



MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2016/2017

**MODELO DE CALIBRAÇÃO PARA SENSORES ‘*LOW-COST*’ NA CIDADE
DO PORTO**

HUGO BAGANHA BAPTISTA GONÇALVES

Dissertação submetida para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Presidente do Júri: Manuel Fernando Ribeiro Pereira
(Professor Associado do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia
da Universidade do Porto)

Orientador académico: Cecília Alexandra Abreu Coelho da Rocha
(Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da
Universidade do Porto)

Outubro de 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA DO AMBIENTE 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

Tel. +351 22 508 1673

✉ 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 - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017.*

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

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

Este documento não foi escrito ao abrigo do novo acordo ortográfico.

À minha Avó Maria Isabel

“Escolhe um trabalho de que gostes e não terás que trabalhar nem um dia na tua vida”

Confúcio

AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento é meritório que seja dirigido à Professora Cecília Rocha que, desde o início, que comigo tem lutado pelo melhor desfecho deste capítulo da minha vida académica. Pelo trabalho incansável, dedicação incomensurável, horas e noites perdidas apenas pelo simples acto de ajudar e levar esta dissertação a bom porto o meu muito obrigado! Obrigado pela simpatia, paciência para todas as perguntas e dúvidas colocadas e pelo sorriso que sempre a acompanha. Foi acima de tudo um prazer poder trabalhar e partilhar o conforto do seu gabinete com a Professora.

De seguida, mas não menos importante pelo papel que desempenhou nestes meses, o meu profundo e sincero agradecimento, pelo envolvimento particular, à minha amiga Filipa Santos Silva. Graças à Filipa fiquei muito mais perto de efectivar este rito de passagem que é o de terminar o curso. Pelo envolvimento simples e genuíno, gratuito e altruísta ficou muito mais fácil chegar ao ponto a que me encontro. Obrigado por tudo e pela alegria e energia que carregas contigo a cada dia.

Ao Engenheiro Costa por todo o apoio e suporte no decorrer desta tese.

Ao Professor Doutor António P. O. Carvalho pelo apoio e disponibilidade para esclarecer dúvidas relativas a esta dissertação e pelo despertar do interesse pela Acústica.

Ao ISQ, Instituto de Soldadura e Qualidade, na pessoa da Engenheira Ana Bicker e Engenheira Cristina pelo empréstimo de equipamento de medição.

A todos os professores que ao longo do meu percurso académico me ajudaram a chegar até este momento.

A toda a minha família, em particular e destacando o papel determinante e fundamental da minha mãe, pai, o meu irmão Nelson, o meu avô Manuel e a minha avó Maria Isabel (*in memorium*) que também me criou e contribuiu com muitos dos valores que hoje possuo e muitos dos sonhos que tenho.

A todos os meus amigos que comigo partilharam esta caminhada e que me ajudaram a celebrar nos momentos de vitória e a levantar a cabeça nos momentos mais de maior dificuldade. Um obrigado especial aos meus dois '*comrades*' de curso Sérgio Pereira e João Prata.

Por último, mas sem dúvida a primeira, à pessoa que mudou a minha vida e que se tornou na pessoa que me é o mais importante: a Francisca. Acredito que um agradecimento nesta página não demonstra tudo o que significas para mim nem o que tens feito por mim nesta minha última fase. Mas tenho a certeza que o teu envolvimento foi decisivo para este momento em que me encontro. Sem ti nada disto seria possível da maneira boa que está a ser. O meu profundo obrigado pela paciência, compreensão, dedicação e acima de tudo o apoio e o amor incondicional!

RESUMO

Na cidade do Porto, tal como em muitas outras cidades e meios urbanos, a qualidade de vida da população é constantemente ameaçada por diversos factores. Um deles, e talvez o mais grave, é o proveniente do tráfego rodoviário. A crescente construção e melhoria das infra-estruturas de transporte levou a um aumento do tráfego que tem vindo a deteriorar a qualidade de vida. A poluição sonora gerada pelo tráfego rodoviário coloca assim em causa o bem-estar das populações. Importa, por isso, avaliar medidas de mitigação que tenham na sua base processos de monitorização.

Os processos de monitorização podem ser de dois tipos: *tradicional*, com limitações em termos de localização, uma vez que são escassos os locais onde são realizadas as medições, e pelo grande custo associado; ou de baixo-custo, '*low-cost*', com a utilização de tecnologias mais acessíveis permitindo a sua disseminação por diversos locais possibilitando uma monitorização mais pormenorizada da cidade.

No caso da cidade do Porto, a plataforma *UrbanSense* foi desenvolvida com o intuito de monitorizar ambientalmente, zonas fortemente influenciadas por ruído e poluição atmosférica, tendo também em conta a afluência do público nestes locais. Esta plataforma surge com a aplicação de tecnologia *low-cost* nos sensores e nos equipamentos de medição.

Uma vez que os sensores *low-cost* não possuem a mesma exactidão na recolha dos dados, quando comparados com os equipamentos de precisão, foi proposto obter um modelo de calibração adequado a este tipo de sensores. Durante os meses de Junho, Julho e Agosto de 2017 foram recolhidos os dados dos equipamentos de medição *low-cost*, ao mesmo tempo que foram realizadas diversas medições de campo para o mesmo intervalo temporal, recorrendo ao uso de um sonómetro integrador da classe I.

A relação entre os dois grupos de dados permitiu constatar que a melhor relação em termos de intervalo de tempo de medição se situa nos 15 minutos. Isto porque quanto maior for o período de integração maior é a atenuação dos picos de ruído medidos ao longo do tempo. As unidades *low-cost* devem ser corrigidas individualmente uma vez que não foi possível recolher dados de todas e porque cada unidade de recolha de dados *low-cost* apresenta particularidades e estímulos característicos dos locais em que estão inseridos e que obrigam a este estudo individual. Esta correcção faz-se em dB(A) e em relação ao que mede o sonómetro na realidade. Desta forma, é possível obter o modelo de calibração para este tipo de sensores colocados na cidade do Porto. Assim, e utilizando o modelo de calibração, é possível com os sensores *low-cost* saber o que na realidade está a ser medido em qualquer momento.

Neste caso, as DCUs da Avenida dos Combatentes, da Trindade e da Casa da Música devem corrigir entre -6,0 e 18 dB(A) para que possam medir valores próximos dos medidos pelo sonómetro.

PALAVRAS-CHAVE: Ruído Ambiente, Modelo de Calibração, Sensores *low-cost*, Plataforma *UrbanSense*, Porto.

ABSTRACT

As in many other cities and urban areas, and the city of Porto is no exception, the quality of life of the population is constantly threatened by several factors. One of them, and perhaps the most serious one, is the road traffic noise. The growing construction and improvement of transport infrastructures leads to an increase in traffic that promotes the deterioration of the quality of life. Noise pollution generated by road traffic, thus, puts at risk the well-being of the population. It is therefore important to evaluate mitigation measures based on monitoring processes.

The monitoring processes can be of two types: the traditional one, with limitations in terms of location since there are scarce places where the measurements are carried out and the elevated costs associated; or the low-cost one, with the use of more accessible technologies allowing their dissemination through various locations enabling a detailed monitoring of the city.

In the case of the city of Porto, the *UrbanSense* platform was developed with the purpose of monitoring the environment in areas highly influenced by different sources of noise and air pollution taking into account the amount of people in those areas. This platform comes with the application of low-cost technology in sensors and measuring equipment.

Since the low-cost sensors do not have the same accuracy in the data collection when compared with the precision equipment it was proposed to obtain a calibration model suitable for this type of sensors. During the months of June, July and August of 2017, and whenever possible, the data of low-cost measurement equipment were collected at the same time that several field measurements were taken for the same time period using a class I sound level meter.

The relationship between the two data sets showed that the best ratio in terms of the measurement time interval is 15 minutes. This is because the longer the integration period, the greater the attenuation of the noise peaks measured over time. The low-cost units must be individually corrected since it was not possible to collect data of all units and because each Data Collecting Unit presents peculiarities and stimuli characteristic of the places in which they are inserted and that compel this individual study. This correction is done in dB(A) and in relation to what the sound level meter actually measures. In this way, it is possible to obtain the calibration model for this type of sensors placed in the city of Porto. Thus, using the calibration model, it is possible with the low-cost sensors to know what is actually being measured at any time.

In this case, DCUs from Avenida dos Combatentes, Trindade and Casa da Música should correct between -6.0 and 18 dB (A) so that they can measure values close to those actually measured by the sound level meter.

Keywords: Environmental Noise, Calibration Model, UrbanSense Platform, Low-cost Sensors, Porto.

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ANA – Aeroportos de Portugal

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

c - Celeridade ou velocidade de propagação do som no ar, em m/s

CCDR - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional

CCZ – Carta de Classificação de Zonas

CE – Comissão Europeia

dB - decibel

dB(A) - decibel ponderado com o filtro A

DCU - *Data Collecting Unit*

DL - Decreto-Lei

DRA - Directiva de Ruído Ambiente

EAE - Agência Europeia do Ambiente

EP – Estradas de Portugal

f - Frequência

FP7 – *7th Framework Programme for Research and Technological Development*

GIS – Sistema de Informação Geográfica

GIT – Grandes Infra-estruturas de Transporte

HR - humidade relativa

Hz - Hertz, unidade de frequência

IP – Infraestruturas de Portugal, S.A.

L_d - indicador de ruído diurno (7h às 20h), em dB(A)

L_{den} - indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno, em dB(A)

L_e - indicador de ruído do período entardecer (20h às 23h), em dB(A)

L_{eq} - nível de pressão sonora contínua equivalente, em dB

L_n - indicador de ruído nocturno (23h às 7h), em dB(A)

L_N - nível de pressão estatístico, em dB

L_p - nível de pressão sonora, em dB

MMCS - Mapa Municipal de Conflito Sonoro

MR – Mapas de Ruído

NUTS - Nomenclatura das Unidades Territoriais

OMS - Organização Mundial de Saúde

p - Pressão, em Pa

p_0 - pressão sonora de referência, 2×10^{-5} Pa

Pa - Pascal, unidade de pressão

PDM – Plano Director Municipal

PMRR – Plano Municipal de Redução Ruído

REFER – Rede Ferroviária Nacional

RGR - Regulamento Geral do Ruído

RLPS - Regime Legal sobre a Poluição Sonora

RRAE - Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios

T - Período, em segundos

UE - União Europeia

λ - comprimento de onda, em metros

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO.....	III
ABSTRACT	V
SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS.....	VII
ÍNDICE GERAL	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE QUADROS	XIII
INTRODUÇÃO.....	1
1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.2. OBJECTIVOS	3
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2 PARÂMETROS AMBIENTAIS	5
2.1. INTRODUÇÃO.....	5
2.2. CONCEITOS E TERMINOLOGIA	5
2.3. RUÍDO AMBIENTAL	9
2.4. ENQUADRAMENTO LEGAL	12
3 ESTADO DE ARTE	15
3.1. INTRODUÇÃO.....	15
3.2. PROJETO <i>FUTURE CITIES</i>	25
3.3. PLATAFORMA DE SENSORIZAÇÃO <i>URBANSense</i>	26
3.4. OUTROS PROJECTOS DE MONITORIZAÇÃO AMBIENTAL EM PORTUGAL	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
4.1. INTRODUÇÃO.....	31
4.2. PROCEDIMENTO INICIAL DE CALIBRAÇÃO DAS DCUS.....	35
4.3. DESCRIÇÃO DOS LOCAIS DE MEDIÇÃO	36
4.3.1. INTRODUÇÃO	36
4.3.2. AVENIDA DOS COMBATENTES	36
4.3.3. TRINDADE	37

4.3.4. CASA DA MÚSICA	38
4.4. METODOLOGIA DE CONCEPÇÃO DO MODELO DE CALIBRAÇÃO	39
4.5. ANÁLISE DE RESULTADOS.....	41
4.5.1. INTRODUÇÃO	41
4.5.2. AVENIDA DOS COMBATENTES.....	41
4.5.3. TRINDADE	44
4.5.4. CASA DA MÚSICA.....	47
4.5.4.1. Introdução	47
4.5.4.2. Dia 1 de Junho de 2017	49
4.5.4.3. Dia 2 de Agosto de 2017	50
4.5.4.4. Dia 3 de Agosto de 2017	51
4.5.4.5. Dia 4 de Agosto de 2017	52
5 CONCLUSÃO	55
5.1. PRINCIPAIS CONCLUSÕES.....	55
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
ANEXOS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo do que pode ser um som e um ruído para dois indivíduos, adaptado de [9].	5
Figura 2– Exemplo de um som puro e de um som complexo, adaptado de [10].	6
Figura 3 – Ilustração da amplitude e comprimento de uma onda sonora, adaptado de [11].	7
Figura 4 – Gamas de frequências para seres humanos, adaptado de [13].	7
Figura 5 – Pressão sonora (μPa) e níveis de pressão sonora (dB), adaptado de [11], [14].	8
Figura 6 – Impactes da poluição sonora na população, adaptado de [15].	9
Figura 7 – Efeitos do ruído na saúde humana, adaptado de [9], [21].	10
Figura 8 – Problemas associados ao aumento de tráfego urbano, adaptado de [23].	11
Figura 9 – Ruído gerado pelo tráfego rodoviário, adaptado de [14].	11
Figura 10 – Exemplo da variação horária com índice <i>HARMONICA</i> para um período de 24h, adaptado de [60].	24
Figura 11 – Localização de algumas das DCUs constituintes da Plataforma <i>UrbanSense</i> . A verde-claro estão as <i>DCU</i> 's de monitorização de ruído e poluição atmosférica; a verde-escuro as unidades de monitorização ambiental e estação meteorológica; e a vermelho as unidades desactivadas e transferidas para novas localizações, adaptado de [8], [68].	26
Figura 12 – Unidade móvel instrumentada junto a uma unidade de monitorização em Braga, adaptado de [70].	27
Figura 13 – Sistema de monitorização de ruído acoplado a um veículo em Vila Real, adaptado de [71].	28
Figura 14 – Sistema de monitorização de ruído no telhado de um dos edifícios do Parque da Ciência em Matosinhos, adaptado de [73].	29
Figura 15 – DCU “completa” existente na Rua das Flores e respectivas características. Os componentes A, B, C e F pertencem às DCUs completas, adaptado de [7], [74].	31
Figura 16 – a) Relação entre valores médios em dB(A) obtidos no sensor do Bolhão e os obtidos com o sonómetro; b) Diferença entre os valores médios em dB(A) obtidos no sensor do Bolhão e os obtidos com o sonómetro; [8].	34
Figura 17 – a) Relação entre valores médios em dB(A) obtidos no sensor da Praça da Galiza e os obtidos com o sonómetro; b) Diferença entre os valores médios em dB(A) obtidos no sensor da Praça da Galiza e os obtidos com o sonómetro; [8].	34
Figura 18 – a) Relação entre valores médios em dB(A) obtidos no sensor da Praça da Galiza e os obtidos com o sonómetro; b) Diferença entre os valores médios em dB(A) obtidos no sensor da Praça da Galiza e os obtidos com o sonómetro; [8].	34
Figura 19 – Medição com sonómetro de precisão na Avenida dos Combatentes.	37
Figura 20 – Medição com sensor <i>low-cost</i> na Avenida dos Combatentes.	37
Figura 21 - Medição com sonómetro de precisão na Trindade.	38
Figura 22 - Medição com sensor <i>low-cost</i> na Trindade.	38

Figura 23 - Medição com sonómetro de precisão na Casa da Música.....	39
Figura 24 - Medição com sensor <i>low-cost</i> na Casa da Música	39
Figura 25 –Representação esquemática da metodologia adoptada para definição do modelo de calibração dos resultados obtidos nas DCUs colocadas na cidade do Porto	40
Figura 26 – Comparação dos dados recolhidos com equipamentos de precisão no local da DCU da Avenida dos Combatentes (campanha realizada no âmbito da dissertação anterior, 28 de Setembro de 2016, a azul) e no âmbito da presente dissertação (31 de Maio de 2017, a laranja), para o mesmo período horário.	42
Figura 27 – Comparação dos dados de $L_{Aeq, 1s}$ recolhidos com o sonómetro (a azul) e com a DCU (a laranja), para a DCU da Avenida dos Combatentes, no dia 31 de Maio de 2017.....	42
Figura 28 – Dados do sonómetro para a Trindade na campanha realizada no âmbito da dissertação anterior (1 de Junho 2016, a azul e a cinzento) e no âmbito da presente dissertação (1 de Junho de 2017, laranja e amarelo)	45
Figura 29 – Dados do sonómetro, minuto a minuto, para a Casa da Música na campanha realizada no âmbito da dissertação anterior (29-Set-16) e no âmbito da presente dissertação (restantes datas).....	47
Figura 30 – Dados do sonómetro e da DCU, minuto a minuto, para a Casa da Música na campanha realizada no âmbito da presente dissertação	48
Figura 31 – Dados integrados do sonómetro e logarítmicos da DCU, minuto a minuto, para a Casa da Música na campanha realizada no âmbito da presente dissertação	48

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Valores-limite máximos de Exposição em função da Classificação Acústica da zona, RGR ₂₀₀₇ [12].	13
Quadro 2 – Programas e projectos em cidades europeias cujo trabalho incidiu sobre o ruído.....	15
Quadro 3 - Projectos de investigação em cidades europeias cujo trabalho incidiu sobre o ruído.....	19
Quadro 4 – Projectos baseados em informação disponibilizada por dispositivos móveis.	21
Quadro 5 – Linhas orientadoras sobre gestão (comunicação e previsão) do ruído.	24
Quadro 6 – Características do local da Avenida dos Combatentes, dos sensores e das medições realizadas.	36
Quadro 7 – Características do local Trindade, dos sensores e das medições realizadas.....	37
Quadro 8 – Características do local Casa da Música, dos sensores e das medições realizadas.....	38
Quadro 9 – Quadro-resumo das diferenças entre o L_{Aeq} obtido a partir da DCU e o valor obtido com o sonómetro DUO, em dB, para os diferentes locais.	41
Quadro 10- Análise da aplicação do modelo de calibração aos dados recolhidos pela DCU da Avenida dos Combatentes (L_{Aeq}), para os diferentes períodos de tempo de reporte de informação, para o dia 31-Maio-2017.	43
Quadro 11 – Resumo do valor do L_{Aeq} do sonómetro DUO, para a medição de 31 de Maio de 2017 na Avenida dos Combatentes, e dos correspondentes L_{Aeq} obtidos para a DCU por aplicação dos modelos de calibração seleccionados, incluindo os respectivos desvios.	44
Quadro 12 – Análise logarítmica para os diferentes períodos de tempo para a Trindade no dia 1 de Junho de 2017.....	46
Quadro 13 – Média do L_{Aeq} do sonómetro e da DCU corrigida e comparação de resultados com e sem correcção para a Trindade para 1 de Junho de 2017.....	46
Quadro 14 – Análise logarítmica para os diferentes períodos de tempo na Casa da Música para 1 de Junho de 2017.....	49
Quadro 15 – Média do L_{Aeq} do sonómetro e da DCU corrigida e comparação de resultados com e sem correcção para a Casa da Música para 1 de Junho de 2017.....	50
Quadro 16 – Análise logarítmica para os diferentes períodos de tempo na Casa da Música para 2 de Agosto de 2017	50
Quadro 17 – Média do L_{Aeq} do sonómetro e da DCU corrigida e comparação de resultados com e sem correcção para a Casa da Música para 2 de Agosto de 2017.	51
Quadro 18 – Análise logarítmica para os diferentes períodos de tempo na Casa da Música para 3 de Agosto de 2017	52
Quadro 19 – Média do L_{Aeq} do sonómetro e da DCU corrigida e comparação de resultados com e sem correcção para a Casa da Música para 3 de Agosto de 2017.	52
Quadro 20 – Análise logarítmica para os diferentes períodos de tempo na Casa da Música para 4 de Agosto de 2017	53

Quadro 21 – Média do L_{Aeq} do sonómetro e da DCU corrigida e comparação de resultados com e sem correção para a Casa da Música para 4 de Agosto de 2017.....	54
--	----

1

INTRODUÇÃO

1.1. Considerações gerais

Estima-se que a população mundial, em 2016, tenha atingido os 7 400 milhões de habitantes sendo que, destes, 54%, ou seja, cerca de 4 000 milhões, vive e trabalha em áreas urbanas. Em Portugal, estima-se que existam cerca de 10,3 milhões de habitantes, dos quais 64%, ou seja, 6,6 milhões, vivem e trabalham em cidades. No entanto, prevê-se que, em 2050, a população mundial atinga os 9 900 milhões de habitantes, acabando por atingir os 10 000 milhões em 2053 [1], altura em que aproximadamente 80% da população viverá em centros urbanos.

As cidades desempenham um importante papel na sociedade pelas condições que proporcionam aos seus habitantes, como a proximidade aos grandes centros de negócios, locais de trabalho e grandes superfícies de comércio, lazer e desporto. No entanto, o seu crescimento acelerado associado a um planeamento urbanístico e paisagista que se poderá classificar como algo rudimentar e deficiente, em longa parte do processo, leva a que os consumos praticados nas cidades sejam ainda mais desproporcionais e insustentáveis. Num outro nível, considera-se que também é necessário actuar ao nível das emissões de poluentes, para que seja possível diminuir o contributo que as cidades têm no que se refere, por exemplo, ao carbono e ao ruído.[2].

Estima-se também que as cidades contribuam com cerca de 75% das emissões de gases com efeito de estufa a nível global [3] e que na União Europeia cerca de 20% da população esteja exposta a níveis de ruído inaceitáveis para a manutenção de um estilo de vida saudável [4]. Por estes motivos, é necessário coordenar esforços para que as cidades diminuam o seu impacto, tanto na questão das emissões de gases com efeitos de estufa e na perturbação causada pelo ruído ambiente.

A monitorização de uma série de parâmetros ambientais, que permite o acompanhamento da evolução dos mais diversos factores ambientais, possibilita que, posteriormente, possa ser indicado um conjunto de medidas de actuação com vista à mitigação dos que estiverem em incumprimento legal ou normativo.

Uma forma de conseguir acompanhar e manter um sistema de monitorização de poluentes do ar e de ruído é através de uma rede inteligente de monitorização que pode assumir duas realidades distintas: “pontual” com a utilização de sensores de elevada precisão ou “extensiva” com a utilização de sensores de baixo custo, como a que foi instalada na cidade do Porto.

A monitorização, em contínuo, dos parâmetros ambientais permite avaliar o seu impacto na população e constitui uma mais-valia na gestão da cidade, uma gestão mais eficiente dos seus recursos, e a melhoria da qualidade de vida, uma vez que tem por base um sistema focado nas pessoas, nos habitantes. Este é o ponto de partida para tornar uma cidade *smart*.

A própria definição de *smart city*, ou cidade inteligente, é de difícil explicação. No entanto, o conceito pode ser compreendido se se concordar que, e assumindo a abordagem académica de Anthony Townsend [2], uma *smart city* “fornece as condições e os recursos necessários para a mudança. É um organismo vivo, de mudança e constante adaptação, focado em ser um ecossistema urbano de inovação, um laboratório vivo.”. E por essa razão é necessário recolher e tratar dados que possibilitem a concretização deste conceito numa determinada região.

No que à recolha de dados diz respeito e como já mencionado, foram abordadas duas possibilidades: a recolha pelo método tradicional, que envolvia a utilização de equipamentos de elevada precisão ou a recolha de dados mais extensiva, em termos de localização e temporais, usando equipamentos *low-cost*. Relativamente ao método tradicional de recolha de dados, este apresenta algumas limitações. Logo à partida, o custo do investimento e a necessidade de assegurar que os equipamentos ficarão em segurança [5] o que dificulta, em muito, a opção por esta solução e, como tal, mantendo-a fora do alcance de muitos municípios.

Uma solução para superar a existência de limitações desta natureza, passa por adoptar uma alternativa que envolve a utilização de soluções de custo mais reduzido – por exemplo, com sensores *low-cost* para uma vigilância ambiental constante e, ao mesmo tempo, criteriosamente dispersa no território.

Contudo, estes sistemas dado o tipo de equipamentos que utilizam estão predispostos a fornecer dados de qualidade inferior (sonómetros do tipo II). Por outro lado, o seu custo mais reduzido, permite que sejam utilizados em inúmeros locais, permitindo, um “mapeamento” de alta resolução da exposição ao ruído e demais parâmetros ambientais em monitorização. Assim, a utilização de sensores do tipo *low-cost* proporciona um maior grau de pormenorização, que o método tradicional não permite, identificando, por exemplo, locais onde as fontes de poluição existentes possam justificar estudos mais aprofundados acerca dos efeitos causados na população e, por consequência, na qualidade de vida.

Assim, e inserida no projecto *Future Cities*, surge a plataforma *UrbanSense*, financiado pelo FP7 (*7th Framework Programme for Research and Technological Development*) que tem como um dos seus objectivos principais o conhecimento da realidade portuguesa no que se refere à qualidade do ambiente na cidade e como propósito a utilização dos resultados recolhidos para contrariar a deterioração da qualidade de vida dos habitantes, com a utilização de tecnologias de informação e comunicação *low-cost*, incluindo a cidade do Porto no grupo das cidades do futuro [6].

Uma das estruturas criadas no campo de acção do projecto *Future Cities* foi realmente a plataforma *UrbanSense* que consiste na combinação de diversos sensores ambientais e meteorológicos *low-cost*, incorporados numa DCU (*Data Collecting Unit*), que foram distribuídos em pontos estratégicos da cidade para recolher e monitorizar dados provenientes de fenómenos ambientais.

No caso deste trabalho em específico, estas unidades estáticas estão já colocadas em locais relevantes na cidade do Porto, em zonas de influência tais como fontes de ruído, fontes de poluição atmosférica e também em áreas públicas, de lazer, e espaços verdes da cidade. Cada unidade compacta apresenta um conjunto de sensores que mede o ruído, poluentes atmosféricos, luminosidade, temperatura e humidade relativa.

Todos os dados recolhidos têm como objectivo a respectiva análise, local e temporal, para se perceber e conhecer melhor os fenómenos ambientais nos locais envolventes à sua posição, assim como eventuais análises comportamentais das populações que residem ou tiram partido dos espaços em análise. Assim, estes dados podem ser utilizados para ajudar a identificar áreas críticas e danos ambientais induzidos pelas opções urbanísticas e de ordenamento do território tomadas pelo município, e para promover a

investigação ao nível de planeamento urbano e dos transportes, saúde, meio ambiente e clima desta região [7].

O trabalho desenvolvido no âmbito desta dissertação dá continuidade a um estudo iniciado numa dissertação já realizada, na qual se fazia a validação dos dados provenientes dos sensores de ruído existentes na cidade do Porto [8]. Essa análise contemplava o tratamento de dados recolhidos desde a entrada em funcionamento da maioria dos sensores *low-cost* na cidade do Porto, a partir do segundo semestre de 2015, e a recolha e tratamento de novos dados recorrendo aos mesmos sensores e aos dados obtidos usando um sonómetro integrador da classe I, para comparação. A presente dissertação, considera esse estudo de validação como um ponto de partida e procura evoluir no sentido de encontrar um modelo de calibração que, partir desta informação recolhida e analisada, consiga “corrigir” os valores indicados pelos sensores *low-cost*, de modo a que representem mais fielmente a realidade em presença.

1.2. Objectivos

O presente trabalho teve como principal objectivo analisar a informação recolhida ao nível do ruído, desde meados de 2015 até período homólogo de 2017, na cidade do Porto. O propósito final é desenvolver um modelo de calibração para os sensores colocados na cidade e dar continuidade ao processo já iniciado, para que a cidade do Porto possa ser mais “inteligente” nas suas tomadas de decisão e assim ser mais eficiente na utilização dos seus recursos e, por consequência, consiga melhorar a qualidade de vida dos seus habitantes, tal como deverá ser uma *smart city*, numa aposta concreta na utilização deste tipo de sensores.

Ao ser cumprido o principal objectivo deste trabalho estão também abrangidas algumas metas secundárias tais como a verificação da existência de fontes sonoras características nas zonas em análise, a apreciação do cumprimento da legislação em vigor e sugestões de correcção para o cumprimento da mesma, e a investigação acerca da viabilidade de cumprimento legal, atendendo ao tipo de fontes identificadas, como é exemplo a poluição sonora tratada neste trabalho.

1.3. Estrutura do trabalho

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos.

O primeiro capítulo –

Introdução, é dedicado à introdução do trabalho realizado bem como à descrição dos objectivos que se pretendem atingir.

No segundo capítulo – **Parâmetros Ambientais**, são abordados os conceitos e terminologias relativos ao parâmetro ambiental em estudo, o ruído, e algumas considerações acerca do enquadramento legislativo referente ao mesmo.

O terceiro capítulo – **Estado de Arte**, são apresentados os projectos europeus que também adoptaram estratégias de medição e redução do ruído com o objectivo de comparar com o trabalho desenvolvido nesta dissertação. São também apresentados o projecto *Future Cities* e a plataforma *UrbanSense*, e projectos exclusivamente realizados em Portugal. Todos estes com o auxílio das tecnologias *low-cost*, a inclusão dos *smartphones* e o seu contributo nos projectos participativos.

No quarto capítulo – **Resultados e Discussão**, são apresentados os dados recolhidos pelos sensores *low-cost* e pelo sonómetro bem como a análise dos resultados obtidos, a metodologia utilizada, a

proposta para modelo de calibração e a discussão dos mesmos. É também realizada a comparação com dados recolhidos em trabalhos anteriores.

No quinto capítulo – **Conclusão**, são apresentadas as principais conclusões deste trabalho sendo também sugeridas algumas recomendações para trabalhos e estudos futuros.

2 PARÂMETROS AMBIENTAIS

2.1. Introdução

Cada vez mais o ambiente tem um papel preponderante e decisivo nas tomadas de decisão de governos e municípios. No sentido de melhorar a qualidade de vida dos seus habitantes, sem prejudicar o meio ambiente e os escassos recursos disponíveis, importa recolher e medir dados que possam identificar e quantificar as fontes poluidoras e auxiliar a decisão sobre a melhor forma possível de os mitigar, com vista a valorizar a qualidade ambiental da região.

Assim, e considerando a rede de monitorização inteligente da cidade do Porto, de entre todos os parâmetros que os sensores *low-cost* podem medir, como a temperatura, luminosidade, humidade relativa, poluentes atmosféricos e alguns também a pluviosidade e a radiação solar por via de uma instalação meteorológica, irá ser neste trabalho apenas estudado o **ruído**.

2.2. Conceitos e terminologia

O *som* é um auxiliar indispensável do nosso dia-a-dia, permitindo a comunicação entre pessoas, estar alerta para diversos perigos e também para situações de lazer. Trata-se de uma sensação que é interpretada pelo cérebro devida à captação, através do sistema auditivo, das alterações de pressão que se difundem pelo ar.



Figura 1 – Exemplo do que pode ser um som e um ruído para dois indivíduos, adaptado de [9].

Dadas as características do som este pode ser distinguido de um outro que pode ser identificado como *ruído*. Esta distinção prende-se com o facto de o ruído ter uma conotação negativa e estar associado a um sentimento desagradável e indesejável. Ao invés, um *som* tem uma conotação agradável ou desejável. No entanto, esta aceção implica uma apreciação de cariz pessoal de tal forma que o “som” para um indivíduo pode ser “ruído” para outro, conforme se pode observar na Figura 1.

O *som* (ou ruído) corresponde a uma alteração física e rápida da pressão do ar acima e abaixo da pressão atmosférica propagando-se sob a forma de ondas esféricas concêntricas sendo o seu centro a fonte. Assim, é possível afirmar que a geração de som ocorre com a variação da pressão do meio de propagação das ondas sonoras.

Um som que contenha apenas uma frequência é considerado um *som puro*. No entanto, a maioria dos sons contém diversas frequências e por isso são denominados *sons complexos* ou compostos, sendo a sua amplitude ou magnitude a *pressão sonora*, ou seja, a variação da pressão do ar a partir da pressão atmosférica, tal como ilustrado na Figura 2.

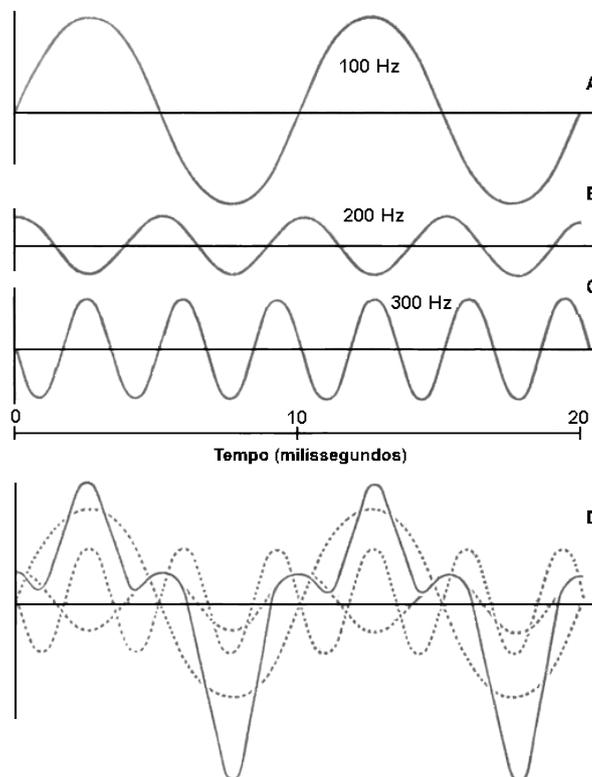


Figura 2– Exemplo de um som puro e de um som complexo, adaptado de [10]

Na Figura 2, é possível constar vários exemplos de *sons puros* (A, B e C) cuja combinação resulta num *som complexo* ilustrado em D.

A distância que um som percorre num *período*, ou ciclo, é dado pelo *comprimento de onda*, obtido pela seguinte equação:

$$\lambda = c \times T = \frac{c}{f} \quad \text{Eq. 1}$$

onde,

- λ – Comprimento de onda (m);
- c – Celeridade ou velocidade de propagação do som no ar (m/s);
- T – Período (s);
- f – Frequência (Hz).

estando estes conceitos ilustrados na Figura 3.

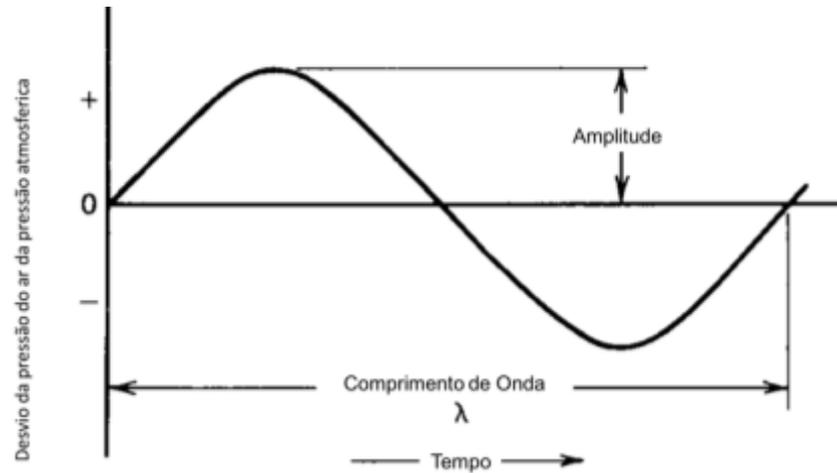


Figura 3 – Ilustração da amplitude e comprimento de uma onda sonora, adaptado de [11].

A *frequência*, neste caso, corresponde ao número de vezes que, num segundo, esse fenómeno se repete e tem uma unidade de grandeza associada, o *hertz* (Hz). Os seres humanos ouvem entre os 20 Hz e os 20 kHz, existindo três grandes zonas de frequências [12]:

- Infra-sons, inferior a 20 Hz;
- Gama audível, entre os 20 Hz e os 20 kHz;
- Ultra-sons, superior a 20 kHz.

Estas gamas estão ilustradas na Figura 4.

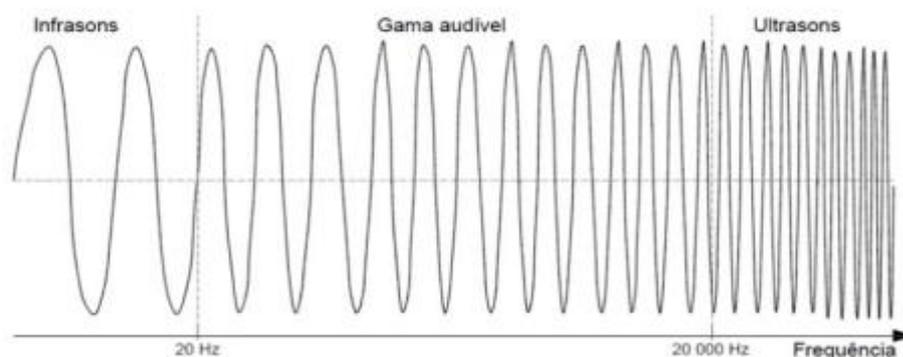


Figura 4 – Gamas de frequências para seres humanos, adaptado de [13].

No que diz respeito aos limites superiores e inferiores associados ao que o ser humano consegue ouvir estes estão situados nos 10^2 Pa , também designado como *limiar da dor*, e nos 10^{-5} Pa , conhecido por *limiar da audição*. Por conseguinte, a gama de audibilidade humana é de 10^7 Pa .

A *pressão sonora* trata-se da variação entre a pressão ambiente instantânea e a pressão atmosférica a partir da qual o ouvido consegue captar, que se situa aproximadamente nos $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$. Uma vez que a escala linear de pressões, em Pa, é muito alargada, utiliza-se outra unidade, o decibel (dB) numa escala logarítmica de uso muito mais funcional [12] e próxima da resposta do nosso ouvido ao estímulo sonoro, tal como ilustrado na Figura 5.

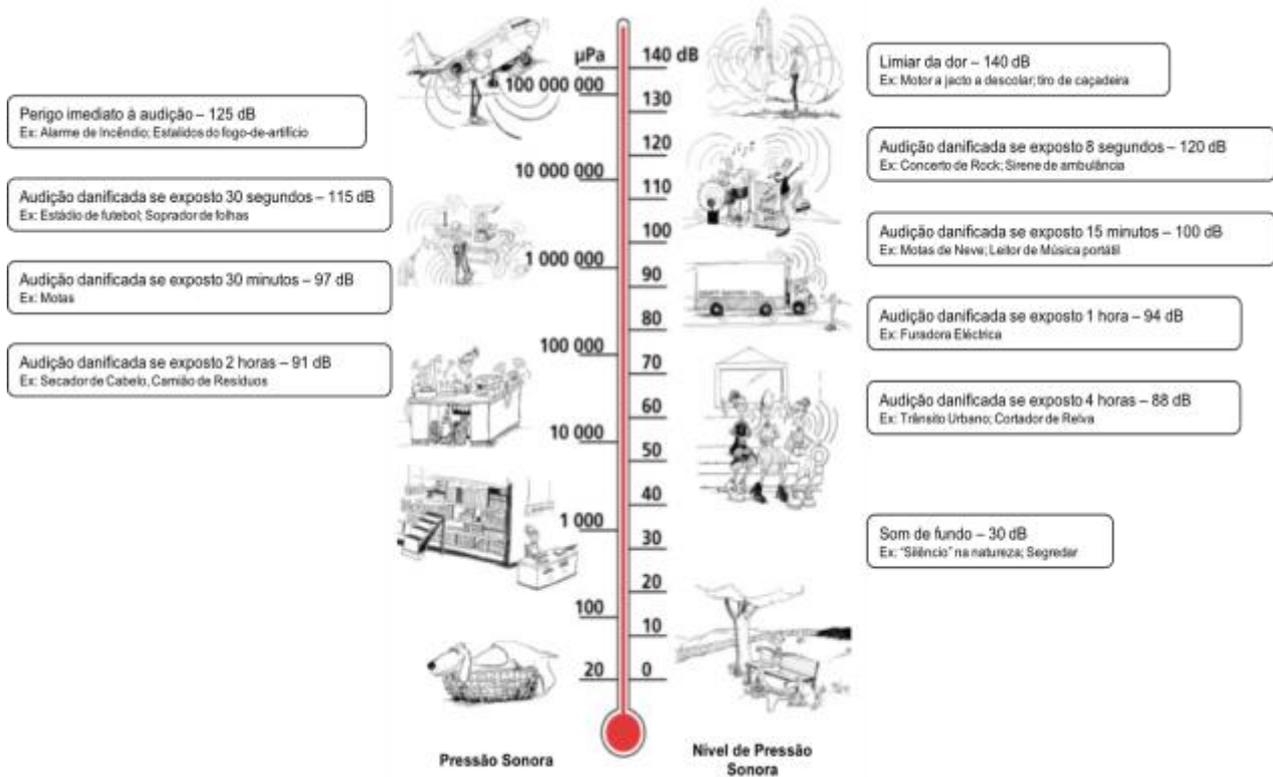


Figura 5 – Pressão sonora (μPa) e níveis de pressão sonora (dB), adaptado de [11], [14]

A conversão de *pressão sonora* (Pa) para *nível de pressão sonora* (dB), ocorre tendo em conta a Eq. 2:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad \text{ou} \quad L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad \text{Eq. 2}$$

onde,

$$p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa, valor de pressão sonora de referência.}$$

Como o ouvido humano, é pouco sensível principalmente a frequências muito baixas, o nível da pressão sonora deve ser ajustado tendo em conta essa limitação. Como tal, foram desenvolvidos filtros electrónicos que, inseridos nos equipamentos de medição, corrigem os valores medidos através de curvas de ponderação. A curva de ponderação mais corrente, por ser a que melhor representa a audição humana, é denominada por Filtro A ou Curva A [12]. A partir daqui deve-se então apresentar os

resultados em dB(A). Esta consideração vai ser determinante aquando da medição de ruído num determinado período de tempo, ou seja, tendo em conta a sua duração.

Assim sendo, é necessário converter os dados recolhidos/medidos em *nível de pressão sonora contínuo equivalente* (L_{eq}) que se define como o nível que se este actuasse constante num determinado intervalo de tempo produziria a mesma energia que o som que se pretende avaliar [12]. Este parâmetro é obtido pela Eq. 3.

$$L_{eq} = 10 \log \left[\left(\frac{1}{T} \right) \sum_{i=1}^N t_i \times 10^{\frac{L_i}{10}} \right] \quad \text{Eq. 3}$$

Outro parâmetro, este agora estatístico, é o L_N , ou seja, o nível que num dado intervalo de tempo é excedido em $N\%$ da duração temporal desse intervalo, estando por isso associados a quantis de densidade de probabilidade de ocorrência. Pode ser expresso por L_{50} ou L_{95} , por exemplo.

2.3. Ruído Ambiental

Segundo dados da União Europeia [15] e da Organização Mundial de Saúde (OMS) [16], o ruído é o segundo factor ambiental mais nefasto para a saúde, logo a seguir aos poluentes atmosféricos no que diz respeito às partículas. Estima-se que anualmente e associados à exposição ao ruído, cerca de 20 milhões de europeus se sentem constantemente incomodados, ocorram cerca de 900 000 casos de hipertensão, 43 000 internamentos hospitalares e pelo menos 10 000 mortes prematuras relacionadas com doenças coronárias e acidentes vasculares cerebrais. No entanto, os valores reais poderão ser muito superiores [17]. Estes dados podem ser consultados na Figura 6 divulgados pela Agência Europeia do Ambiente (EEA – Environmental European Agency).



Figura 6 – Impactes da poluição sonora na população, adaptado de [15].

Neste contexto e atendendo às orientações da OMS para os níveis de ruído ambiente máximos recomendados, a classificação do território municipal em termos acústicos é muito relevante, assim como o respeito pelos limites máximos de exposição respectivos.

O ruído ambiental é hoje um dos parâmetros fundamentais na análise da qualidade de vida continuando a estar no topo das preocupações dos cidadãos e, por isso, deve também ser uma preocupação permanente de governantes, arquitectos e engenheiros das diversas áreas de intervenção, assim como profissionais de saúde, de domínios relacionados com o ambiente e ainda grandes investidores.

Estima-se que o prejuízo anual da União Europeia varia entre 10 e 40 mil milhões de euros, no que ao ruído ambiental diz respeito, uma vez que o valor imobiliário é afectado negativamente, assim como a produtividade em horário laboral das populações, agravando por sua vez a despesa pública com saúde. Estima-se, por sua vez, que para a cidade do Porto o custo do ruído se situe quase nos 7 milhões de euros, o equivalente a cerca de 30 euros por pessoa, para o ano de 2014 [18]–[20].

O ruído afecta o quotidiano e o bem-estar das populações e da sociedade moderna, de tal forma que pode causar problemas de audição, distúrbios no sono, problemas cardiovasculares, dificuldades na comunicação, tal como ilustrado na Figura 7.



Figura 7 – Efeitos do ruído na saúde humana, adaptado de [9], [21].

Estima-se que mais de metade da população europeia esteja exposta a níveis de ruído excessivo sendo que, em último caso, pode mesmo causar a morte, estimando-se que cerca de 50 000 pessoas morrem prematuramente na União Europeia devido ao ruído gerado por tráfego [22]. Apesar deste facto, é o tráfego rodoviário que mais tem aumentado trazendo efeitos nefastos para a população

Dois dos principais problemas associados ao tráfego urbano e rodoviário são o ruído e a vibração provocada pela deslocação dos veículos e a poluição atmosférica gerada pela combustão dos combustíveis. Todos os impactes negativos que este tipo de actividade tem na qualidade de vida das populações e principalmente nos habitantes das cidades estão exemplificados na Figura 8.



Figura 8 – Problemas associados ao aumento de tráfego urbano, adaptado de [23].

As fontes de ruído são cada vez mais diversas, mais disseminadas e dispersas tornando a população mais propensa aos seus efeitos, sendo o tráfego rodoviário a fonte mais preponderante e por esse motivo mais preocupante (ver Figura 9) [17], [24].

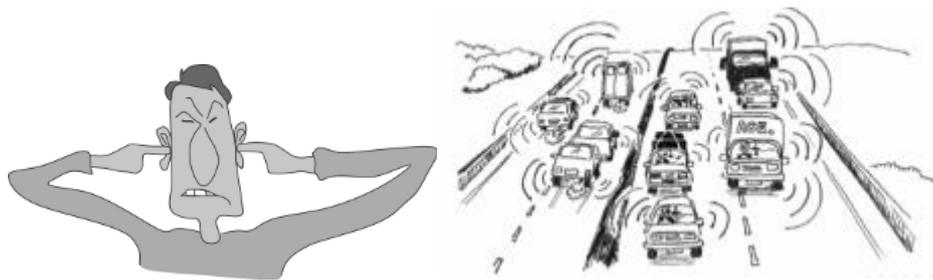


Figura 9 – Ruído gerado pelo tráfego rodoviário, adaptado de [14].

Motivada por esta crescente preocupação foi elaborada legislação e uma série de normas por forma a regulamentar o ruído e combater os seus efeitos nefastos. Este tipo de postura teve origem, em 1987, com a primeira Lei de Bases do Ambiente [25] e com a aprovação do primeiro Regulamento Geral do Ruído [26].

2.4. Enquadramento Legal

Em 1987, Portugal iniciou o processo do desenvolvimento de um corpo legislativo no âmbito da Acústica Ambiental começando pelo Regulamento Geral do Ruído de 1987, RGR₁₉₈₇ [26], onde são estabelecidas algumas regras sobre condições acústicas a que os imóveis devem obedecer e a aglutinação de leis dispersas noutros documentos em relação a esta área. Todavia, foi em 2000, com a aprovação do Regime Legal sobre a Poluição Sonora (RLPS) [27] e com a revisão do RGR₁₉₈₇ que a ligação entre o ruído e o ordenamento e planeamento urbano se tornou mais evidente. Surge assim a definição e classificação do território municipal em Zonas Sensíveis e Zonas Mistas devendo estas estar indicadas no Plano Director Municipal (PDM) processo de elaboração de Mapas de Ruído para melhor identificação do estado actual da poluição sonora e identificação das zonas a serem intervencionadas com o Plano Municipal de Redução de Ruído. Este tipo de mapa caracteriza-se por serem compostos por isófonas, ou seja, linhas de igual nível de ruído, às quais corresponde um valor expresso em dB(A) – decibel ponderado pelo filtro A. Os mapas de ruído de então eram associados aos indicadores diurno (L_d) e nocturno (L_n), cujos valores limite de exposição para o nível sonoro, também conhecidos por critérios de exposição, associados às zonas definidas, garantem a existência de uma política de ordenamento do território e urbanismo assegurando a qualidade do ambiente sonoro em função de espaços de habitação, lazer ou trabalho.

Em 2007, foi aprovado um novo Regulamento Geral do Ruído (RGR₂₀₀₇) entrando em vigor na sua totalidade em 2008 [28], e decorreu nova alteração ao RLPS, principalmente ao nível dos indicadores utilizados que passaram a ser o indicador de ruído diurno-entardecer-nocturno (L_{den}) e o indicador de ruído nocturno (L_n), o que implicou a elaboração de novos mapas de ruído e planos municipais de redução de ruído, segundo as directrizes emanadas pela APA (Agência Portuguesa do Ambiente). Assim, os municípios passaram a ser os responsáveis pela elaboração e execução dos planos municipais de redução de ruído sempre que, e independentemente do tipo de zona, esta estiver exposta a um nível de ruído ambiente exterior que exceda os valores limite fixados no artigo 11º do RGR₂₀₀₇.

O desenvolvimento de mapas de ruído implica assim a identificação e classificação das zonas a serem intervencionadas no município. Para tal, os municípios devem aprovar a respectiva Carta de Classificação de Zonas. A união destes dois documentos dá origem ao Mapa Municipal de Conflito Sonoro. As zonas identificadas nesse mapa deverão ser objecto de um Plano Municipal de Redução de Ruído a elaborar de acordo com as recomendações da APA.

Começa assim a ser possível conhecer o nível de ruído ambiente no território e, após analisados os dados, minimizar os efeitos prejudiciais da exposição ao mesmo, assim como a incomodidade, que se traduz na diferença entre o L_{Aeq} do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular da actividade em avaliação e o valor do L_{Aeq} do ruído ambiente a que se exclui aquele ruído ou ruídos particulares. O valor atribuído à incomodidade não poderá exceder 5 dB(A) no período diurno (L_d), 4 no período do entardecer (L_e) e 3 dB(A) no período nocturno (L_n).

Assim pretende-se contribuir para a melhoria da qualidade do ambiente sonoro e um melhor planeamento do território e alocação das diferentes actividades. O objectivo passa a ser:

- As actividades passam a ser consideradas elementos activos de contribuição para o decréscimo do nível de ruído ambiente;
- As actividades permitem o normal crescimento da economia local e promovem a qualidade de vida da população residente;
- Potenciar o desenvolvimento de novas actividades económicas associadas à redução do nível de ruído ambiente, de base tecnológica ou de base industrial.

Assim, e em complemento e reforçando o propósito estabelecido pelo RGR₂₀₀₇, a Directiva de Ruído Ambiente [29] aprovada pela Comissão Europeia e transposta para o corpo legislativo nacional, é um instrumento que permite a avaliação e gestão do ruído ambiente, caracterizando-o como sendo “um som externo indesejado ou prejudicial, criado por actividades humanas, incluindo o ruído emitido por tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo e instalações utilizadas na actividade industrial” não considerando os “ruídos produzidos pela própria pessoa exposta, a ruídos provenientes de actividades domésticas, a ruídos produzidos por vizinhos, a ruídos em locais de trabalho ou dentro dos meios de transporte ou ainda devidos a actividades militares em zonas militares”. Este documento torna obrigatória a recolha de dados acústicos, a elaboração de relatórios sobre o ambiente acústico e a disponibilização da informação ao público através de mapas estratégicos de ruído, com enfoque nas grandes infra-estruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo e nas maiores aglomerações populacionais.

A identificação das zonas sensíveis e das zonas mistas nos planos municipais de ordenamento do território é uma responsabilidade dos municípios, prevista no RGR₂₀₀₇, que classifica estas zonas da seguinte forma:

- **Zona Sensível** - a área definida em plano municipal de ordenamento do território como vocacionada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos, podendo conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem funcionamento no período noturno;
- **Zona Mista** - a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja afeta a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível.

Todas estas considerações são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Valores-limite máximos de Exposição em função da Classificação Acústica da zona, RGR₂₀₀₇ [12].

Tipo de Zona	L _{den} (dB(A))	L _n (dB(A))
Zonas Mistas	65	55
Zonas Sensíveis	55	45
Zonas Sensíveis na proximidade de GIT* existente	65	55
Zonas Sensíveis na proximidade de GIT* não aéreo em projecto	60	50
Zonas Sensíveis na proximidade de GIT* aéreo em projecto	65	55
Receptores Sensíveis em Zonas não classificadas	63	53

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

Decorrente desta avaliação surgem os Planos de Acção cujo principal objectivo é o de gerir o ruído ambiente e os problemas associados ao mesmo, mormente em situações em que os níveis sonoros se revelam excessivos [21].

A gestão do ruído deve por isso inicialmente ser de carácter preventivo, servindo para conhecer os níveis de exposição ao ruído a que a população está sujeita, verificar a sua fonte e, posteriormente, promover e desenvolver um plano municipal de redução de ruído que permita atingir os objectivos desejados de

nível sonoro de acordo com a classificação acústica que o município atribuiu ao seu território, através da implementação das medidas de minimização necessárias.

3

ESTADO DE ARTE

3.1. Introdução

Ao longo dos últimos anos, na Europa, centenas de projectos foram realizados ao abrigo de programas e fundos com o objectivo de monitorizar o ruído ambiental, como são exemplo o Programa-Quadro de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico (2007-2013) e hoje por via do Programa Horizonte 2020 (2014-2020).

A área da acústica através de temas como o ruído ambiental e da poluição sonora, e por consequência pela crescente preocupação que estes temas têm na saúde e qualidade de vida da população, foi alvo de alguns projectos de investigação que assentam nos mesmo princípios que o trabalho apresentado nesta dissertação.

Importa por isso apresentá-los para que seja possível fazer o devido enquadramento do trabalho que já foi realizado por outros grupos de investigação e o que existe actualmente nesta área, e principalmente responder às seguintes questões:

- Que projectos existem semelhantes ao estudado nesta dissertação?
- Que métodos foram utilizados para a recolha de dados?
- Que equipamento foi utilizado na recolha directa de dados?
- Onde é que foi realizado o estudo?
- A que tipo de calibração os equipamentos de medição foram sujeitos?
- Quais as principais conclusões e sugestões?

Por toda a Europa, e ao abrigo de diversos programas de incentivo como o programa LIFE [30] ou das *frameworks* para o desenvolvimento tecnológico e científico, existem cidades que abraçaram projectos relacionados com a poluição sonora, a sua caracterização e estratégias de redução, tal como apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Programas e projectos em cidades europeias cujo trabalho incidiu sobre o ruído.

Berlim – 2001 – Município de Berlim

Em Berlim foi seguida a metodologia mais consensual para a recolha de dados relativos ao tráfego, tendo sido utilizado o modelo RLS90 [31]. Este modelo não mede directamente o ruído gerado pelos veículos necessitando apenas da introdução de dados como o fluxo de tráfego com distinção entre motas, veículos leves e pesados, a velocidade média destes e as dimensões e características da estrada e os seus obstáculos (naturais ou artificiais). A avaliação é realizada para dois períodos de um dia, entre as 22h00 e as 06h00 e as 06h00 e as 22h00. O ruído é avaliado a 3,5 m de altura a partir do piso.

<p>A contagem de veículos é estimada para as 24 h não havendo distinção entre o dia e a noite [32].</p>
<p>Município de Birmingham, Departamento de Ambiente - 2005</p> <p>À semelhança do caso em Berlim, o município de Birmingham optou por recolher os dados de tráfego (tipo de veículo, tipo de estrada, entre outros) para produzir estudos acerca do ruído. Neste caso, o parâmetro utilizado não foi a velocidade média dos veículos, mas sim o tempo que o veículo demorava para percorrer um determinado percurso. A partir dos dados foram calculados o L_{Aeq} e o L_{A10}. A avaliação é realizada para 1 período de um dia, entre as 23h00 e as 07h00.</p> <p>No sentido de calibrar e validar os valores calculados pelo modelo utilizados (RLS90 [31] e CRTN [33]) foram realizadas algumas medições. Cada medição teve a duração de 1 semana e foram recolhidos os dados a 4 metros de altura a partir do piso [32].</p>
<p>Município de Dublin - 2006</p> <p>O município de Dublin utilizou o método sugerido pelo CRTN [33] onde é necessário introduzir no modelo alguns parâmetros como o tipo de veículo, tipo de estrada, entre outros. Algumas medições que foram realizadas para efeitos de validação dos resultados ocorreram a 4 metros de altura a partir do piso. Foram calculados o L_{10}, $L_{10,18H}$, L_{den} e L_n.</p>
<p>Grande Lyon, Ministério do Desenvolvimento Ecológico e Sustentável - 2005</p> <p>A cidade de Lyon optou por seguir os procedimentos existentes em modelos de cálculos de ruído seguindo o modelo francês NF S 31-085. Para isso, forneceu dados relativos ao número de veículos por hora, velocidade, fluxo de tráfego, e percentagem de veículos pesados. Para algumas estradas as contagens dos veículos dizem respeito às médias diárias (24h) e não ao dia, entardecer e noite. Os resultados obtidos são os L_n, L_{day}, L_{eq}, L_{10} e L_{50} sendo o período diurno entre as 06h00 e as 22h00 e o período nocturno entre as 22h00 e as 06h00.</p> <p>Foram usados modelos de cálculos utilizados pelo <i>Cadna-A</i>, que calcula o nível de pressão sonora, cuja associação ao programa ArcView permite a sua visualização em mapa [32].</p>
<p>Município de Londres – 2003/2004</p> <p>Londres optou por seguir os procedimentos existentes em modelos de cálculos de ruído, neste caso utilizando a metodologia do CRTN [33] fornecendo dados relativos ao número de veículos, à velocidade média de veículos, percentagem de veículos pesados, fluxo de tráfego (entre as 06h00 e as 00h00), tipos de estrada e as suas características. A partir daqui são apresentados o $L_{A10,18H}$ e o $L_{A10,1h}$. Os resultados para os L_{den} e L_n são calculados a partir de formulas empíricas, ou seja, os resultados apresentados relativos ao L_n são estimativas baseadas do fluxo de tráfego diurno. Os resultados são apresentados recorrendo ao <i>NoiseMap</i> 2000 para 4 metros de altura a partir do piso [32].</p>
<p>Município de Estocolmo – 2000/2001</p> <p>Em Estocolmo optou-se por se seguirem os procedimentos existentes em modelos de cálculos de ruído, neste caso utilizando a metodologia do <i>Nordic Calculation Model</i>. Este modelo usa como parâmetro de referência o $L_{Aeq, 24h}$ que pode ser complementado com o L_{AFmax}. Este modelo tem como tipo de dados preferenciais aqueles que são calculados em detrimento daqueles que são medidos pelos encargos financeiros associados às medições reais.</p> <p>Foram fornecidos dados relativos ao fluxo de tráfego, velocidade e percentagem de veículos pesados. Os valores foram calculados em 2000/2001 para os dias da semana e mais tarde foram extrapolados para os dias de fim-de-semana. Para os cálculos do L_{den} foram assumidos que 72% do tráfego</p>

corresponde ao tráfego diurno, 20% corresponde ao tráfego existente ao entardecer e 8% ao período nocturno. Os resultados são apresentados em $L_{eq, 24h}$ e em L_{den} .

Quando são efectuadas medições de curta duração estas são reais sendo que o microfone é colocada entre 1,5m a 2 metros de altura a partir do piso [32].

Município de Viena - 2005

O município de Viena optou por seguir os procedimentos existentes em modelos de cálculos de ruído, neste caso utilizando a metodologia *Environment Protection – Noise Protection* e no *ÖAL-guideline Nr. 28* seguindo mais tarde a metodologia presente no *HARMONOISE* [34] e mais recentemente na metodologia *IMAGINE* [35]. Pretende-se que Viena considere o período diurno das 06h00 às 19h00; o período de entardecer das 19h00 às 22h00; e o período nocturno das 22h00 às 06h00, podendo retirar-se os seguintes indicadores: L_d , L_e e o L_n . Porém, os valores de L_{den} e L_n devem ser obtidos exclusivamente por via computacional [32].

Município de Vitoria-Gasteiz - 2005

A cidade de Vitoria optou por seguir os procedimentos existentes em modelos de cálculos de ruído, neste caso utilizando a metodologia *NMPB-Routes-96* e o *software SoundPLAN®* para produzir os resultados necessários. Como a cidade de Vitoria tem espalhados pela cidade equipamentos de contagem de veículos, os dados de fluxo de tráfego são mais precisos. Outros dados como a percentagem de veículos pesados, velocidade, tipo de estrada e as suas características foram recolhidos para calcular os resultados relativos ao ruído. São apresentados os valores de L_{eq} , L_{10} , L_{90} , L_{max} , L_{den} e L_n , medidos a 4 metros de altura [32].

Município de Madrid - 2003

Madrid apresenta uma rede de estações de medição acústica que para além de medir em continuo o ruído ambiental utiliza também modelos de cálculo para alargar a informação recebida e prever qual o ruído noutras zonas tendo por base o principio da propagação acústica. Isto permite actualizar os dados do ruído em varias zonas da cidade muito mais rapidamente (em cerca de 1 terço) e com menos 25% dos recursos financeiros.

A recolha do ruído é feita por três automóveis que circulam pela cidade e que podem realizar medições de curta duração (4 horas). Estes dados ajudam as estações fixas a corrigir os seus valores e a corrigir os valores de ruído gerados pelos modelos de propagação. Os dados são apresentados em mapas para 4 metros de altura a partir do piso. Os resultados são apresentados na forma de L_{eq} , L_{10} , L_{90} e L_{max} para alturas de microfone geralmente baixas.

A combinação de medições reais com medições calculadas a partir de modelos de calculo permite que menos erros sejam apresentados do que aqueles gerados apenas por cálculo e menos tempo e despesa do que aqueles gerados apenas medições reais.

Os valores de L_{eq} , L_{10} , L_{90} and L_{max} são os mais utilizados [32].

Município da Praga - 2000

A cidade de Praga optou por seguir os procedimentos existentes em modelos de cálculos de ruído, neste caso utilizando cálculos matemáticos para obter dados de ruído tais como o L_{Aeq} . Em 2000, oito locais foram escolhidos para realizar medições reais mas apenas cinco vezes por ano por um período de 24h [32].

Governo da Alemanha - 2004

A Alemanha utiliza um procedimento próprio para calcular o ruído proveniente do tráfego. Para isso necessita apenas de recolher informação relativa ao número de veículos por dia, a velocidade permitida naquele local, percentagem de veículos pesados e outros dados relativos ao tipo de estrada. Os dados são calculados para o período diurno (06h00-22h00) e para o período nocturno (22h00-06h00) [36].

Governo da Grécia - 2004

Na Grécia os índices utilizados são os $L_{A10, 18h}$ sendo que o limite a partir do qual é necessário tomar medidas de redução de ruído é 70 dB(A). As medições reais são realizadas tendo como objectivo a obtenção dos seguintes parâmetros: L_{max} , L_1 , L_{10} , L_{eq} , L_{95} , entre outros.

Para os cálculos a partir de modelos de previsão então é utilizado o modelo aplicado em França para a obtenção do parâmetro L_{Aeq} para o período das 08h00 às 22h00.

Para as auto-estradas um sistema de medição em contínuo (24h) está em operação e permite a obtenção dos seguintes parâmetros: L_{max} , L_1 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95} , L_{eq} em dB(A) e os L_{den} and L_n . Estes parâmetros são medidos por estações de precisão e existem também medidores móveis que medem a 4 metros de altura a partir do piso sendo os parâmetros obtidos os mesmos que os medidos pelas estações de precisão [36].

Município de Vught, Holanda - 2015

Foram colocados sensores *low-cost* para avaliar a relação entre o ruído gerado pelo tráfego e o sentimento de incomodidade criado na população. Os sensores foram colocados sensivelmente a cada 700 metros. Este tipo de sensores é constituído por três componentes: um medidor de ruído do tipo *Rion NL-27* que apresenta os resultados em L_{Aeq} medindo 8 vezes por segundo; um rádio e controlador; e a bateria (pilhas) com autonomia para 30 dias. Os dados são depois enviados para um equipamento mais avançado. Estes sensores têm a capacidade para serem colocados onde e quando forem necessários, a baixo custo, possibilitando a flexibilidade e a escalabilidade [37].

Os sensores colocados na cidade de Vught, apesar de serem considerados *low-cost*, são de tipo 2 e estão avaliados em cerca de €700 a unidade. Não devem por isso ser considerados da mesma natureza que os colocados na cidade do Porto uma vez que estes são cerca 35 vezes mais baratos.

Municípios de Génova, Savona, Vicenza, Prato e Perugia – 2010 a 2013

O projecto NADIA envolveu as províncias de Génova, Savona, Vicenza, Prato e Perugia em Itália surgiu pela necessidade de se implementar ferramentas e procedimentos para a redução do ruído ambiental.

Os objectivos passam por: demonstrar a viabilidade técnica e económica e a eficácia das melhores práticas para reduzir os níveis de ruído do tráfego urbano; demonstrar a eficácia do envolvimento das partes interessadas e a correcta comunicação com o público para aumentar a consciencialização sobre as emissões de ruído do trânsito e os seus efeitos sobre a saúde e a qualidade de vida; realizar um modelo integrado baseado no modelo *NMPB*, considerando a distribuição da população, os dados meteorológicos, a natureza do solo para permitir uma monitorização do ruído mais efectiva do ruído e sua propagação; dar um contributo para a inovação e a fiabilidade dos modelos em cooperação com

grupos de trabalho nacionais e europeus; difundir amplamente os resultados durante e no final do projecto, a nível local, nacional e europeu.

Para este projecto as campanhas de medição duraram cerca de 1 semana e foram obtidos os L_{Aeq} para cada hora e para cada 24 horas, o L_{den} , L_d , L_n assim como as médias semanais para o período diurno e nocturno. Foram também aplicados questionários aos habitantes permitindo perceber se o ruído sentido em ambiente urbano é também percebido pela população [38].

MONICA – 2017 a 2020

O projecto MONICA é um projecto Europeu de larga-escala presente nas cidades de Lyon, Bona, Leeds, Turim, Copenhaga e Hamburgo, que envolve o uso das novas tecnologias e da Internet das Coisas. Tem como objectivo ser uma plataforma que, entre muitas outras coisas, detecta, controla e reduz a emissão de ruído envolvendo a comunidade na criação de soluções. Pretende também avaliar o impacte que determinados eventos, sejam eles culturais ou desportivos, possuem em ambiente aberto e a que níveis de exposição a população está sujeita [39].

Quadro 3 - Projectos de investigação em cidades europeias cujo trabalho incidiu sobre o ruído.

Município de Leicester e Palermo, Projecto MESSAGE – 2008 a 2009

O projecto MESSAGE foi desenvolvido pela Universidade de Newcastle e consistiu no desenvolvimento de cerca de 50 sensores *low-cost* que medem, entre outros parâmetros ambientais, o ruído. Estes sensores *low-cost* foram colocados em momentos distintos nas cidades de Leicester (Reino Unido) e de Palermo (Itália) para medições ao longo de 50 dias. Cada um destes sensores gera dados com um minuto de intervalo e calculam o L_{Aeq} . Antes da sua colocação em ambiente urbano os sensores foram calibrados numa câmara anecoica no intervalo 55-100 dB(A). De seguida, já no terreno, os sensores sofreram novo processo de calibração a 94 dB(A), 1000 Hz e de um processo de validação dos dados através da comparação com um sensor de elevada precisão (Kirkstall, Leeds e em Palermo, Itália). A validação dos dados mostrou que a média de 15 minutos é semelhante à de 1 hora e por isso é a que apresenta melhor correlação. Posteriormente, procedeu-se à efectivação da colocação dos sensores em ambiente urbano em Leicester, Reino Unido. Os sensores foram colocados entre 3 a 4 metros do piso em estruturas urbanas e afastadas da berma entre 0,70 e 2 metros. Os dados eram medidos no sensor a 5 Hz o qual calculava de imediato a integração a 1 segundo e realizava a média para 1 minuto antes de serem enviados para o servidor. Para todos os dados recolhidos foram calculados os parâmetros L_{A10} , L_{A50} e L_{A90} e o parâmetro L_{A50} apenas para o fim-de-semana.

O seu tamanho reduzido e as suas características *low-cost* permitem uma fácil colocação por toda a cidade permitindo escalabilidade e flexibilidade [40].

Município de Oslo, Noruega – 2014 a 2016

Em Oslo, na Noruega, foi implementado um sistema denominado de *CITI SENSE MOB* onde 24 sensores foram distribuídos pela cidade tendo sido colocados em postes de iluminação pública e em infantários. Esta plataforma utiliza tecnologia que mede de forma permanente dados sobre parâmetros ambientais, entre os quais o ruído ambiental.

Os dados são apresentados em médias horárias e os sensores são alimentados por baterias de lítio com capacidade para aproximadamente 6 meses facilitando a sua colocação em qualquer tipo de local.

Este estudo foi conduzido recorrendo a sensores *low-cost*. No entanto, do decorrer deste estudo concluíram que o desempenho dos sensores em ambiente de laboratório em comparação com equipamentos de referência não é mesmo que em ambiente urbano. Os resultados demonstram que a elevada variabilidade dos sensores, mesmo que o fabricante seja o mesmo, torna necessário uma caracterização sensor a sensor ou o desenvolvimento de algoritmos que permita num aumento da eficiência dos dados recolhidos pelo sensor [41].

Município de Paris - em curso

O *Bruitparif* é um observatório especializado em gestão do ruído ambiental observando e avaliando o ruído na Região de Paris relacionado com tráfego rodoviário, aéreo, ferroviário, e também ruído associado a actividades comerciais, industriais ou recreativas [42].

Como parte das iniciativas a favor da cidade inteligente e sustentável, a Câmara Municipal de Paris acompanha um projecto piloto e financiado pela empresa *Cisco* na *Place de la Nation*. O objetivo desta experiência é medir o fluxo dos veículos motorizados, bicicletas e pedestres assim como a poluição atmosférica e sonora usando sensores urbanos *low-cost* comunicando os seus dados em regime *opendata*, ou seja, livre. A partir de Abril de 2016 que 53 sensores se encontram espalhados pela praça a medir, em tempo real, os movimentos de veículos e pedestres, bem como os níveis sonoros e a qualidade do ar. No âmbito desta experiência é o *Bruitparif* que realiza a medição do ruído nesta experiência. Destes 53 sensores, 17 foram fabricados e implantados pelo *Bruitparif* ao redor da *Place de la Nation*, sendo que 4 destes 17 possuem sensores de ruído classe 1, ou seja, são sensores de precisão, que foram acoplados a painéis de informação para dar em tempo real os níveis de ruído e sensibilizar para eventos particularmente ruidosos (ruído de buzinas ou motorizadas modificadas, por exemplo). Assim, estes painéis informativos pretendem que para além da informação em tempo real dada aos cidadãos estes possam também ser incentivados a adoptar boas praticas e a preservar o meio ambiente no que à poluição e ao ruído diz respeito. A informação é dada em dB(A) [42], [43].

Desde Setembro de 2016 que Paris tem instalado um sistema de monitorização em pleno funcionamento constituído por 90 sensores (12 permanentes, 14 complementares em Paris e 64 complementares (30 em Paris e 34 na periferia)). As estações complementares são constituídas por medidores de ruído classe 1 sujeitos a calibração em laboratório a cada 24 meses. O tempo de medição no local é de 1 semana e o equipamento está instalado em postes de iluminação pública a uma altura de 4 metros a partir do piso. As estações permanentes podem possuir medidores de ruído de classe 1 ou classe 2. Estes equipamentos estão instalados em postes de iluminação pública a uma altura de 4 metros a partir do piso e estão equipadas com um dispositivo de telecomunicações para transmissão de dados em tempo real ou transmissão periódica de dados. As estações semipermanentes desenhadas para 1 ano de medições possuem também um módulo de medição da qualidade do ar e estão equipadas com um dispositivo de telecomunicações para transmissão periódica de dados.

São considerados os seguintes períodos de medição: Período diurno (06h-22h); Período nocturno (22h-06h); Período Diário (22h-22h); Período Hora de Ponta da Manhã (8h-10h); e o Período Hora de Ponta da Tarde (18h-20h) [43].

Plataforma *Rumeur*

A plataforma *Rumeur*, desenvolvida pela *Bruitparif*, é uma ferramenta moderna que possibilita a qualquer um consultar, via internet, os dados de medição do ambiente sonoro na Região de Paris. O objectivo é proporcionar a máxima transparência da informação tornando fácil e compreensível o

acesso à informação sobre ruído para um determinado período de tempo (dia, semana, mês, ano ou mais) podendo guardar essa informação [42].

Municípios de Roma e Milão – 2014 a 2019

Em Roma e Milão está em vigor o projecto *DYNAMAP* que surgiu do financiamento do Programa Europeu *LIFE*. Este projecto tem como objectivo de detectar e representar em tempo-real o ruído ambiental gerado pelo tráfego rodoviário desenvolvendo mapas dinâmicos de ruído. Este projecto está a ser aplicado em Roma e Milão. Este tipo de medição é possível através do uso de equipamentos *low-cost* instalados ao longo das estradas. O objectivo é que através dos dados recolhidos pelos sensores *low-cost* este possa ser introduzido em programas de mapeamento por forma a produzir mapas coloridos consoante o ruído, facilitando e aproximando as pessoas da importância que o ruído tem para a saúde devido à exposição a que estas estão expostas.

Para isso o projecto recorreu a medições de curta duração (por medições reais no local) e medições de longa-duração (por avaliações anuais). Os testes foram realizados por 24 horas e os resultados obtidos são os dados segundo-a-segundo, o L_{Aeq} horário e o L_{A95} . Os dados recolhidos são depois integrados para diferentes intervalos de tempos (5, 10, 15, 20, 30 e 60 minutos) [44], [45].

Tal como evidenciado pelos projectos anteriores é possível verificar a tendência que existe em tornar os sistemas *low-cost*, ou seja, cada vez mais baratos mas ao mesmo tempo com a possibilidade de serem o mais escaláveis e flexíveis quanto possível. Por essa razão, e também pela rápida evolução tecnológica, iniciou-se a aposta nos *smartphones* e na possibilidade dos utilizadores destes equipamentos poderem fazer a recolha de dados relacionados com o ruído em qualquer ponto. Assim, surgiram diversos projectos cujo funcionamento se baseia nos dispositivos móveis e nas aplicações instaladas nos mesmos. Nestes dispositivos (*smartphones*), é aplicado um filtro de ponderação A e aplicado ao som gravado onde é calculado o nível de ruído equivalente, em dB(A). A intensidade calculada é exibida em tempo real, usando um gráfico e com um valor em dB(A). Estes exemplos estão apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Projectos baseados em informação disponibilizada por dispositivos móveis.

EVERYWARE & WIDENOISE – 2009 a 2011

Este projecto europeu teve como objectivo a monitorização ambiental, o despertar para as novas problemáticas ambientais na população e promoção para a mudança de comportamentos. Desta forma, foram criadas plataformas tecnológicas que combinaram a utilização de sensores, redes de comunicação e ferramentas de processamento de dados. Através da aplicação desenvolvida para *smartphones* toda a população tem a possibilidade de analisar o ruído à sua volta. Todos estes contributos e participações dos utilizadores da aplicação podem depois ser visualizados num mapa [46].

SOUNDOFTHECITY – 2011 a 2013

Aplicação desenvolvida para *smartphones* que permite através do seu microfone recolher dados do ruído ambiental em tempo-real. É por isso um sistema que se baseia em dados recolhidos a partir da participação dos utilizadores [47].

SOUNDSENSE – 2009

<p>A plataforma <i>SoundSense</i> à semelhança das plataformas anteriores também recolhe dados por parte do <i>smartphone</i> do utilizador. No entanto, em vez de descarregar os dados para uma base de dados utiliza tecnologias de inteligência artificial para perceber e caracterizar o evento que rodeia o utilizador, apresentando-o num mapa [48].</p>
<p><i>NOISESPY – 2009</i></p> <p>A aplicação <i>NoiseSPY</i> mapeia o ruído detectado pelo microfone do <i>smartphone</i> do utilizador. Assim, o telemóvel pode pre-processar dos dados calculando e apresentando de imediato o nível de pressão sonora a que o utilizador está exposto. Os dados são também apresentados em mapa [49].</p>
<p><i>NOISETUBE – 2008 ao presente</i></p> <p>A aplicação <i>NoiseTube</i> caracteriza-se por ser uma ferramenta de participação em massa dos utilizadores da mesma no que diz respeito ao ruído. Conta com participações de mais de 250 locais espalhados pelo mundo. Permite a utilização da aplicação com referência ao espaço em que o utilizador se encontra para melhor enquadramento do ruído medido pelo microfone do <i>smartphone</i> [50].</p>
<p><i>NOISEMAP – em curso</i></p> <p>A aplicação <i>NoiseMap</i> permite a recolha de dados sobre o ruído através do microfone do <i>smartphone</i> do utilizador em tempo-real. Permite também que o utilizador tenha total controlo dos dados recolhidos [51].</p>
<p><i>NOIZCROWD - 2013</i></p> <p>A plataforma <i>NoizCrowd</i> apresenta-se como um sistema que recolhe dados a partir de utilizadores de <i>smartphones</i> a partir dos quais é possível recolher dados sobre o ruído. Este sistema gera depois dados adicionais através de modelos estatísticos. Esta plataforma assenta em quatro componentes: uma aplicação para <i>smartphones</i> que permite a recolha de dados sobre o ruído; uma componente de armazenamento de todos os dados recebidos; um sistema que agrega todos os cenários de modelação gerados por modelos associados ao ruído a partir dos dados recebidos; exportação dos dados e visualização do mapa de ruído por parte dos utilizadores com o objectivo de os ajudar a tomar decisões.</p> <p>Esta plataforma permite que os utilizadores reportem dados relativos a ruído onde quer que estejam e a qualquer momento; gera e trata grandes quantidades de dados no sentido de cobrir diversas regiões e diferentes intervalos de tempo; e permite que os utilizadores reportem detalhes acerca do ruído a que estão expostos.</p> <p>Os modelos usados para a geração dos mapas de ruído são os modelos de interpolação espacial; modelos de interpolação temporal; e modelos de propagação do ruído [52].</p>
<p><i>EAR-PHONE - 2009</i></p> <p>A plataforma <i>Ear-Phone</i> é um sistema baseada na participação em massa dos utilizadores de <i>smartphones</i> no que diz respeito à captação de dados relativos ao ruído através do microfone dos equipamentos com o objectivo de gerar mapas de ruído [53].</p>
<p><i>NOISEWATCH – 2012 a 2013</i></p>

O projecto NoiseWatch criado pela Agencia Europeia do Ambiente tem como objectivo divulgar dados recolhidos por fontes científicas oficiais presentes em algumas cidades europeias e também por participação da população com recurso a uma aplicação para *smartphone* desenvolvida para o efeito. A divulgação acontece através de um portal na internet onde com recurso a um mapa interactivo é possível visualizar os dados em L_{den} recolhidos na Europa [54].

CITI-SENSE – 2012 a 2016

Este projecto Europeu (2012-2016) esteve presente em diversos países com o objectivo de consciencializar a população para os problemas do ambiente tornando-a parte activa na recolha de dados e envolvendo-a na tomada de decisão. Foi fornecido aos cidadãos ferramentas participativas como aplicações para *smartphone* (CityNoise e SENSE-IT-NOW), *widgets* e questionários *Online* os quais transmitem dados relativos ao meio ambiente ao seu redor, sendo um dele o ruído ambiente [55].

URBANCIVIS / SENSE2HEALTH / AMBICITI – em curso

O projecto *URBANCIVIS* caracteriza-se por estabelecer a ponte entre a recolha e a agregação de dados sonoros provenientes de sensores *low-cost* estáticos, sensorização participativa e de bio-sensores. Associadas ao *URBANCIVIS* existem três sistemas que funcionam entre si: a aplicação para *smartphones* *GoFlow* que permitem recolher dados em tempo real; a *Sense2Health* que permite a correlação dos dados recolhidos; e a Assimilação de Dados que ao combinar modelos e observações permite analisar e melhorar as previsões relacionadas com o ambiente urbano. Este projecto começou pela aplicação *SoundCity* que através do microfone dos *smartphones* permitia que o utilizador soubesse em tempo real qual a sua exposição ao ruído a nível horário, diário e mensal e quando associado a bio-sensores permitia detectar os batimentos cardíacos e relaciona-los com níveis de stress. Assim torna-se possível relacionar a exposição ao ruído ambiental a níveis de stress e quantificar a perda da qualidade de vida associada ao ruído [56].

Recentemente este projecto passou a fazer parte da *Ambiciti*.

O objectivo da empresa *Ambiciti* é consciencializar a população para os problemas do meio ambiente e ajudar a criar dados que posteriormente sejam utilizados como ferramentas de apoio à decisão.

A plataforma *Ambiciti* combina e integra dados recolhidos de diversas fontes sobre diversos parâmetros ambientais, sendo um deles a poluição sonora. Os dados são provenientes de sensores localizados em estações fixas e móveis, mas também dos sensores localizados nos *smartphones* dos utilizadores da aplicação, medido em dB(A). É possível posteriormente verificar os resultados através de mapas interactivos quer no telemóvel como na página da internet [57]

Tal como apresentado nos últimos dois quadros, o uso de métodos de cálculo para estimar os níveis de ruído tem ampla aplicação em cidades na Europa. Esta metodologia é baseada no cálculo da propagação de som entre a fonte e o receptor. De acordo com o tipo de fonte (rodoviário, ferroviário, industrial ou aéreo), é implementado um modelo que calcula a emissão de ruído e a respectiva propagação considerando fenómenos como a absorção e atenuação do ruído pelo meio ambiente. A principal vantagem desta técnica reside na possibilidade de simular cenários hipotéticos, nos quais é possível avaliar as propostas de mitigação mesmo antes da sua implementação. Por sua vez, esses modelos de previsão podem ser integrados em programas que fazem parte de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Simultaneamente, e dado o crescimento iniciativas relativas à comunicação de informação relativa ao ruído surgiram, por consequência e por necessidade natural, linhas orientadoras sobre a comunicação e previsão do ruído cujo objectivo é a normalização e a consolidação dos dados e da informação. Estes modelos estão apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Linhas orientadoras sobre gestão (comunicação e previsão) do ruído.

HARMONICA – 2011 a 2014

O projecto europeu *HARMONICA* surgiu pela necessidade que existe em conseguir consciencializar a população e as autoridades publicas para o problema do ruído ambiental. Este projecto pretende, por isso, criar um índice simples, adimensional, próximo daquilo que as pessoas sentem no que diz respeito ao ruído. Este índice é constituído por uma escala de 0 a 10, sendo o 10 o ambiente mais nefasto em termos de poluição sonora. Este índice é demonstrado em forma de gráfico em que as barras são constituídas por duas partes: a zona a rectângulo diz respeito ao ruído ambiente; e a zona triangular no topo diz respeito ao número de picos de ruído acima do ruído ambiente e ao ruído dinâmico (ver Figura 10) [58]–[60].

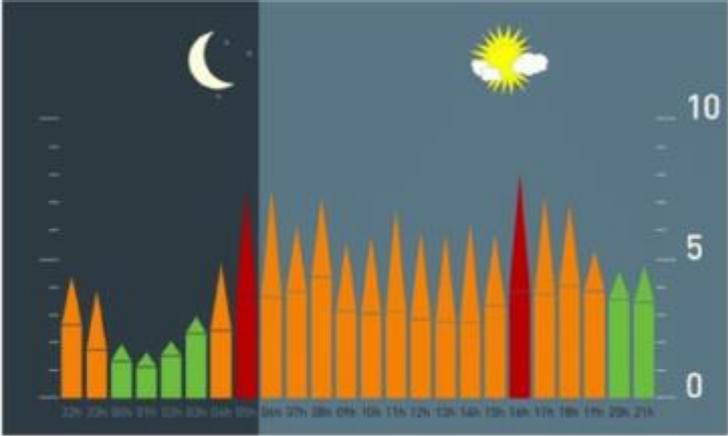


Figura 10 – Exemplo da variação horária com índice *HARMONICA* para um período de 24h, adaptado de [60].

QUADMAP – 2011 a 2015

O projecto *QUADMAP* (**QU**iet **A**reas **D**efinition and **M**anagement in **A**ction **P**lans) teve como objectivo desenvolver um método e um procedimento com a finalidade de identificar, delinear, caracterizar, melhorar e gerir áreas urbanas tal como previsto na Directiva Europeia do Ruído [61].

Neste sentido o projecto apresenta dois tipos de campanha para a recolha de dados relativos ao ruído: medições de curta duração e medição de longa duração. No que diz respeito às medições de curta duração estas são caracterizadas por terem uma duração de cerca de 30 minutos; o microfone é colocado entre 1,5 e 1,8 metros de altura; e pelo complemento através da realização de questionários às pessoas que passam ou frequentam um determinado espaço. Por outro lado, as medições de longa duração caracterizam-se por apresentarem medições iguais ou superiores a 1 semana; o microfone é colocado a 4 metros de altura; os resultados são expressos em $L_{Aeq, 1s}$, L_{den} , $L_{d,1s}$, L_{10} e L_{90} ; e pelo complemento através da realização de questionários às pessoas que passam ou frequentam um determinado espaço [62].

A calibração dos microfones ocorre antes da sua colocação nos locais usando um equipamento de precisão, classe 1.

Participaram neste projecto a Holanda, Bélgica, Noruega, Reino Unido, Itália, Alemanha, Espanha, Portugal e a França [63].

CNOSSOS-EU – 2010 a 2015

O projecto europeu *CNOSSOS* consiste em melhorar a consistência e a comparabilidade das avaliações acústicas na Europa. Estas avaliações surgem das campanhas de recolha de dados para o desenvolvimento de mapas de ruído tal como previsto pela Directiva Europeia do Ruído. Este projecto tem como objectivo tornar disponível informação relativa ao ruído e de que forma este influencia a saúde humana tendo em conta a exposição da população à poluição sonora; e sugerir planos de acção de carácter preventivo e de mitigação à exposição sonora em níveis excessivos através de estratégias sustentáveis e eficientes [64], [65].

3.2. Projeto *Future Cities*

O projecto *Future Cities* foi um plano europeu encabeçado pelo Centro de Competência para as Cidades do Futuro da Universidade do Porto, tendo como financiamento o Programa-Quadro de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico, designado como FP7.

O projecto foi predominantemente inter e multidisciplinar combinando diversas instituições de ensino e empresariais, interligando várias tecnologias de informação e comunicação, a psicologia, o urbanismo, a engenharia civil, entre outros, de forma a promover a partilha e troca activa de conhecimentos e experiências. Assim sendo, contou ainda com a colaboração da Universidade de Aveiro e outras universidades internacionais como o *Royal Institute of Technology* ou a *University College London* [6].

A cidade do Porto foi, numa primeira fase, a escolhida para ser transformada num “laboratório vivo” sendo possível fazer experiências à escala urbana e encontrar soluções modernas e desenvolver novos produtos e serviços que fossem inovadores e personalizadas à realidade da cidade. Pelas dimensões que apresenta, o seu elevado número habitantes, infra-estruturas existentes e grande quantidade de cientistas, meio académico de elevada quantidade e qualidade, empresas e novas *startups*, a cidade do Porto foi a escolhida para acolher este projecto.

Ainda no âmbito deste projecto foram instaladas e desenvolvidas diversas plataformas de partilha de informação e geração de dados para que se possa conhecer melhor a cidade do Porto e actuar sobre esses dados. Assim sendo, e no campo de acção já explanado, foi:

- Desenvolvida aquela que é considerada a maior plataforma de redes veiculares. A *BusNet* é composta por 600 nós, incluindo os mais de 400 autocarros da STCP ligados em rede que, além de fornecerem *Wi-Fi* aos passageiros, recolhem dados da cidade para melhorar consumos energéticos, impacte ambiental, gestão das vias e transportes públicos [66];
- Criada a aplicação *SenseMyCity* tratando-se de uma aplicação para telemóveis inteligentes onde o utilizador grava os dados da sua rotina utilizando os sensores embutidos no seu telemóvel podendo posteriormente descarregar os mesmo numa página na internet criada para o efeito. O objectivo desta recolha de dados serve para analisar o próprio *stress* do utilizador, otimizar rotas e consumos, e identificar pessoas com o mesmo padrão de deslocamento potenciando, por exemplo, a partilha do automóvel e de boleias [67];
- Criada a plataforma de sensorização *UrbanSense* que consiste numa infra-estrutura de monitorização local do meio ambiente, utilizando sensores heterogéneos, que medem a temperatura, a luminosidade, o ruído e parâmetros relativos à qualidade do ar [7], [68], [69].

3.3. Plataforma de Sensorização *UrbanSense*

A plataforma *UrbanSense* é uma infra-estrutura, à escala urbana, para a monitorização de fenómenos ambientais utilizando sensores *low-cost*.

Na cidade do Porto, a composição da plataforma *UrbanSense* inclui um conjunto de 23 *DCUs* (*Data Collecting Unit*), colocadas em locais seleccionados da cidade. Cada unidade apresenta um conjunto de sensores que medem parâmetros meteorológicos e relativos à qualidade do ar e ao ruído. Existem dois tipos de *DCUs*:

- As “ambientais”, que contém sensores para medição de ruído, poluição atmosférica, luminosidade, temperatura e humidade relativa;
- As “completas” que contém os mesmos sensores das unidades ambientais, aos quais se somam uma estação meteorológica com um pluviómetro e sensores de medição da velocidade e direcção do vento e um sensor para a radiação solar.

Estes sensores foram colocados em locais estratégicos, com influência variadas no que diz respeito às fontes de ruído e de poluição atmosférica e ao tipo de utilização dos espaços, nomeadamente, em áreas públicas da cidade como praças, parques, ruas pedestres ou áreas que pela sua morfologia ou elevado volume de tráfego se revelaram interessantes para o estudo. Na Figura 11 é possível observar a localização de algumas das unidades colocadas na cidade do Porto.

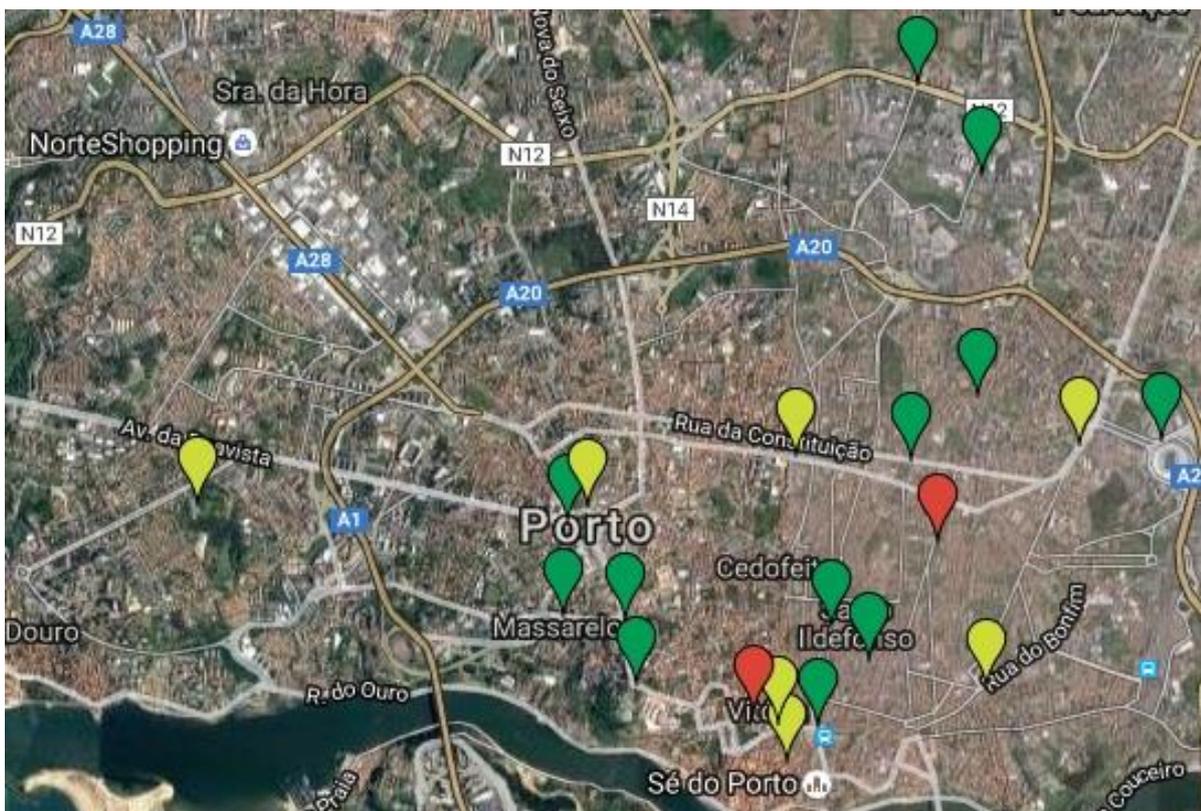


Figura 11 – Localização de algumas das DCUs constituintes da Plataforma *UrbanSense*. A verde-claro estão as DCU's de monitorização de ruído e poluição atmosférica; a verde-escuro as unidades de monitorização ambiental e estação meteorológica; e a vermelho as unidades desactivadas e transferidas para novas localizações, adaptado de [8], [68].

3.4. Outros projectos de monitorização ambiental em Portugal

O *smarBRAGA* é o sistema de informação e monitorização do ambiente urbano da cidade de Braga. Trata-se de um projecto lançado pela AGERE - Empresa de Águas, Efluentes e Resíduos de Braga, EM e integrado no "Balcão Digital de Águas e Ambiente". O projecto foi desenvolvido durante o ano de 2008 no âmbito da iniciativa *BragaDigital* e financiado pela UE através do programa POS_Conhecimento. Com esta plataforma ambiental, Braga passa a dispôr de um serviço inovador de informação ao público. O *smarBRAGA* integra um centro de análise que faz previsões ambientais de longo termo e processamento de dados de medições oriundos de duas unidades móveis instrumentadas. A informação ao cidadão é veiculada através desta plataforma *web*, desenvolvida com recurso à tecnologia. As previsões de longo termo correspondem a situações médias anuais e são calculadas através de um modelo matemático de simulação. Os resultados, em forma de mapa de concentrações de poluentes ou de ruído, são disponibilizados com recurso à tecnologia do *Google Maps*. As medições são efectuadas ao longo da semana em seis pontos da cidade que constituem a rede de monitorização. Na plataforma *smarBRAGA* podem ser consultados os valores para diversos descritores de ruído, poluição atmosférica e variáveis meteorológicas, os quais estão associados a uma data e hora de medição. Com base nas medições ocorridas no período dos últimos cinco dias, é determinada uma etiqueta de qualidade para a qualidade do ar, ruído ambiental e índice de calor na cidade. Esta categorização de qualidade pode assumir cinco níveis, desde Muito Bom (verde forte) até Muito Fraco (Vermelho)" [70].



Figura 12 – Unidade móvel instrumentada junto a uma unidade de monitorização em Braga, adaptado de [70].

Também a Câmara Municipal de Vila Real possui um Sistema Móvel de Monitorização de Ruído Ambiental e Medição de Partículas do Ar Ambiente tendo sido a empresa MRA Instrumentação a conceber o projecto. Desta forma, o automóvel *SMART FOR TWO* foi equipado com toda a instrumentação necessária para monitorizar o concelho de Vila Real a nível de ruído e de partículas atmosféricas. Todo este projecto, designado "Sistema Municipal de Monitorização do Ar, Ruído e Tráfego de Vila Real", concebido e coordenado por uma equipa da unidade UM-Cidades da Universidade do Minho, incluiu a adaptação de um *SMART FOR TWO* (100% eléctrico) com a finalidade de monitorizar o ambiente urbano, bem como o desenvolvimento de uma plataforma *web* de informação ao público. Este veículo está equipado com uma estação de monitorização de ruído *01dB*

CUBE que inclui uma estação meteorológica *Vaisala*, modelo *WXT520*, um medidor de concentração de partículas *TSI 8535*, um medidor portátil de *CO2 Vaisala GM70* e ainda um *tablet* que permite a visualização das medições realizadas em tempo real. O sistema está preparado para efectuar medições sob quaisquer condições atmosféricas o que faz dele um sistema versátil e eficaz [71].



Figura 13 – Sistema de monitorização de ruído acoplado a um veículo em Vila Real, adaptado de [71].

Em 2014 foi concluída a instalação de um Sistema de Monitorização de Ruído Ambiente para o Município de Matosinhos também pela empresa MRA Instrumentação. O Sistema fornecido é constituído por sete sonómetros do modelo *DUO*, da *01dB/ACOEM*, permitindo monitorizar em tempo-real os níveis de ruído ambiente em sete pontos estratégicos definidos pelo município: Feira da Senhora da Hora (Senhora da Hora); Seara (Matosinhos), Quinta do Vieira (Custóias); Araújo (Leça do Balio); Parque da Ciência (Custóias); Casa do Bosque (Leça da Palmeira); e Avenida das Ribeiras (Perafita). As medições acústicas com o sistema *DUO* podem ser visualizadas remotamente, em tempo real, e os seus resultados disponíveis a qualquer momento e em qualquer lugar através de ligações *wireless* (*Wi-Fi*, *3G* e/ou *Internet*). Este sistema possui uma bateria interna que permite ter uma autonomia de cerca de 60 horas de medições, precavendo, assim, eventuais interrupções do fornecimento da energia. Em alternativa, para locais onde não existe rede elétrica, o sistema *DUO* pode ser alimentado por painéis solares [72], [73].



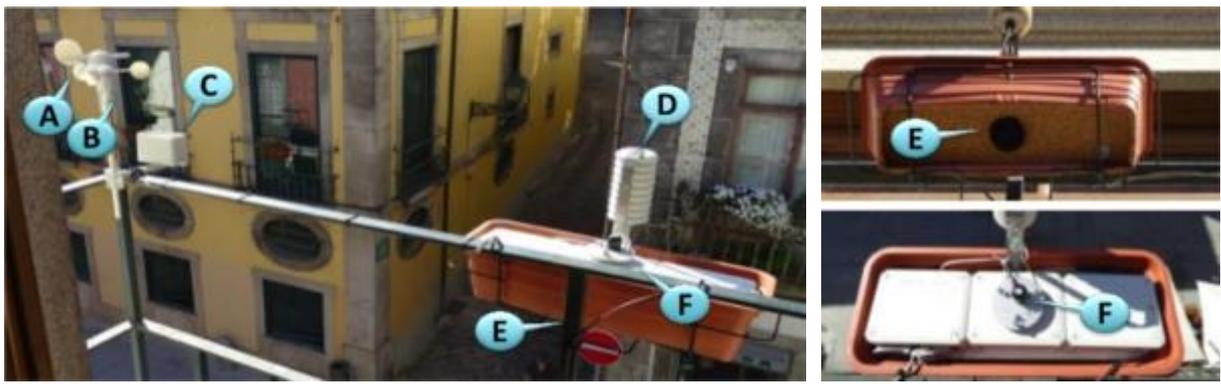
Figura 14 – Sistema de monitorização de ruído no telhado de um dos edifícios do Parque da Ciência em Matosinhos, adaptado de [73].

4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Introdução

A plataforma *UrbanSense* instalada na cidade do Porto é uma infra-estrutura constituída por três componentes: as *DCUs*; o sistema de armazenamento dos dados; e o canal de comunicações entre as *DCUs* e o sistema de armazenamento da informação. A transmissão destes dados pode ser realizada por três formas: por rede veicular, por *Wi-Fi*, ou por 3G, sendo que as duas primeiras soluções são consideradas *low-cost*.



Legenda

A	Direcção do Vento
B	Velocidade do Vento
C	Pluviómetro
D	Temperatura, Humidade Relativa e Luminosidade
E	Ruído
F	Radiação Solar

Figura 15 – DCU “completa” existente na Rua das Flores e respectivas características. Os componentes A, B, C e F pertencem às DCUs completas, adaptado de [7], [74].

Na Figura 15 estão exemplificados dois tipos diferentes de *DCUs*, com os seus respectivos componentes e dimensões do equipamento de base:

- *DCU* completa (poluentes atmosféricos, ruído, temperatura, humidade relativa e luminosidade, acrescida de uma unidade meteorológica que inclui pluviómetro, velocidade e direcção do vento e radiação solar);
- *DCU* ambiental (poluentes atmosféricos, ruído, temperatura, humidade relativa e luminosidade).

Num estudo realizado sobre a plataforma *UrbanSense*, onde foi analisada a razão entre o tempo de actividade de cada sensor e a quantidade de dados que deveriam ter recolhidos para o respectivo tempo de funcionamento, concluiu-se que ocorreram diversas interrupções na recolha devido a problemas diversos, nomeadamente, na placa interna e na memória das *DCUs* e também por ocorrência de falhas de energia e de comunicação. Por todos estes motivos, o tempo total médio de funcionamento dos vários sensores foi cerca de 54%, correspondendo ao parâmetro do ruído, um rácio na ordem dos 40%, o que representa uma relevante falha no que à recolha de dados diz respeito [8], [66]. Esta situação tem-se mantido até à actualidade, com uma grande intermitência na recolha de dados que condicionou de igual forma o decurso da presente dissertação.

Por esta razão, importa não só apostar numa estratégia concreta de manutenção constante das *DCU*'s e do sistema de comunicação e armazenamento, mas também na validação das medições realizadas com os sensores e no desenvolvimento de um modelo de calibração. A validação foi realizada através de equipamento de medição de alta qualidade (sonómetro *DUO*) que, posteriormente, permitiu criar modelos de calibração.

Ainda nesta questão da calibração, e tal como foi possível constatar no capítulo “Estado de Arte”, a recolha dos dados por via participativa dos utilizadores de *smartphones* aparece como uma técnica promissora para realizar o mapeamento e a monitorização do ruído. No entanto, a confiança na qualidade dos dados brutos recolhidos através de medidas participativas, tal como acontece com os sensores *low-cost*, limita a confiança para a utilização destes dados e de um desenvolvimento fidedigno de mapas de ruído e da sua correcta utilização. Para tentar resolver esta questão há trabalhos que propõem um método de calibração cruzada, que visa seleccionar os melhores sensores e melhorar os dados brutos recolhidos. Este método assenta em quatro etapas: (i) uma detecção *outlier*, ou seja, análise dos dados que apresentam um grande afastamento dos restantes ou que são inconsistentes; (ii) correção baseada em sensores de multidão; (iii) uma correção baseada em sensores fixos; e (iv) a estimativa de L_{den} . A eficácia é avaliada na sua capacidade de reconstruir um campo de som de referência artificial, que consiste na evolução de um mês de L_{10s} . Deste estudo em específico foi possível concluir, por exemplo, que: (i) os erros sistemáticos dos sensores podem ser corretamente corrigidos por um método de calibração cruzada e que não afetam a estimativa de L_{den} ; (ii) a rede de sensores fixos ajuda a estimar o erro médio da rede de sensores móveis; (iii) a dispersão em medidas individuais de um sensor representam uma preocupação crítica e devem ser sinalizadas por um método rigoroso de detecção de valores anormais; (iv), embora as medidas individuais sejam melhoradas pela calibração cruzada proposta, alguns erros permanecem na estimativa de L_{den} devido à falta de dados recolhidos; (v) o aumento do número de sensores não melhora a estimativa de L_{den} por muito tempo uma vez que as dispersões dos resultados individuais dos sensores permanecem muito grandes [75].

Por todos estes motivos, existe uma preocupação crescente não só de colocar sensores que possam medir os diversos parâmetros a que se obrigam mas também em perceber se os dados recolhidos são fidedignos e de boa qualidade para que possam ser utilizados e daí retiradas conclusões o mais precisas e exactas possível.

A questão do modelo de calibração é por isso extremamente importante e ainda não muito desenvolvido. Por essa razão é que se pretende com este trabalho identificar que modelo que se aplica à cidade do Porto e aos sensores que nela estão distribuídos por forma a apresentar um modelo de calibração que seja confiável e aplicável. Neste sentido foram despistadas metodologias em que, por exemplo, as correcções eram realizadas directamente pela diferença dos dados entre a DCU e o sonómetro. Através da inspecção visual das representações gráficas geradas verificou-se que pelos métodos lineares, exponenciais, polinomiais, potenciais e de média móvel é pelo método logarítmico que os erros associados entre a correção da DCU e os valores do sonómetro são menores. A metodologia logarítmica escolhida e utilizada é apresentada neste capítulo no ponto 4.4.

Em estudos anteriores a esta dissertação [8] foram realizadas diligências com o objectivo de testar a fiabilidade dos dados recolhidos pelos diferentes sensores *low-cost* de ruído dispersos pela cidade do Porto e para tentar validar os respectivos resultados. Para isso, compararam-se os dados extraídos dos sensores *low-cost* com os valores obtidos a partir de um sonómetro de precisão. Neste caso, aos sensores *low-cost* corresponde um sonómetro digital *SL-814* e o sonómetro de precisão utilizado pertence ao modelo e marca *Briuel & Kjaer 2260 Investigator*. No entanto, e ainda relativo ao estudo anteriormente realizado, verificou-se que apenas os sensores existentes no Bolhão, Praça da Galiza e Trindade é que captaram dados nos mesmos momentos em que foram realizadas as campanhas de medição efectuadas com o sonómetro.

No estudo anterior e com base nos dados fornecidos pelas DCUs e e pelo sonómetro, foram calculadas as médias horárias diárias, tendo-se observado o comportamento diário mensal e as médias horárias, para os diferentes dias da semana, para se verificar a oscilação do nível sonoro de ruído ambiente nos dias de semana e fim-de-semana, assim como para os diferentes meses do ano. No final, foi calculado o nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}), em dB, para cada dia da semana, para o dia da semana 'médio' e para o dia 'médio' mensal, a partir das médias aritméticas. Com estes valores foi possível calcular os correspondentes indicadores de ruído diurno-entardecer-nocturno (L_{den}) e nocturno (L_n).

Os valores recolhidos nesses locais mostraram que, para o sensor colocado no Bolhão, os valores eram superiores aos do sonómetro. Pelo contrário, os sensores colocados na Praça da Galiza e na Trindade registaram valores inferiores aos medidos pelo sonómetro.

Esta situação está resumida na Figura 16, na Figura 17 e na Figura 18.

Tal como referido no anterior estudo [8], nas alíneas a) da Figura 16, da Figura 17 e aa Figura 18 “observa-se a relação entre os valores médios em dB(A) obtidos em cada sensor (Bolhão, Praça da Galiza e Trindade, respetivamente) com os resultados obtidos com a utilização do sonómetro de precisão, considerando a recolha de dados correspondente a 1 minuto.”, já nas alíneas b) das mesmas figuras “... é representada a diferença entre os valores médios em dB(A) de cada sensor e os obtidos com a utilização do sonómetro de precisão, para o mesmo período de medição.”[8].

No caso da Figura 16 a), referente ao sensor *low-cost* do Bolhão, observa-se que este sensor se encontra a sobreavaliar o ruído existente em cerca de 2 dB(A), enquanto que os sensores da Praça da Galiza e da Trindade, Figura 17a) e Figura 18a) respectivamente, demonstram uma diferença média, de 3 dB(A) [8].

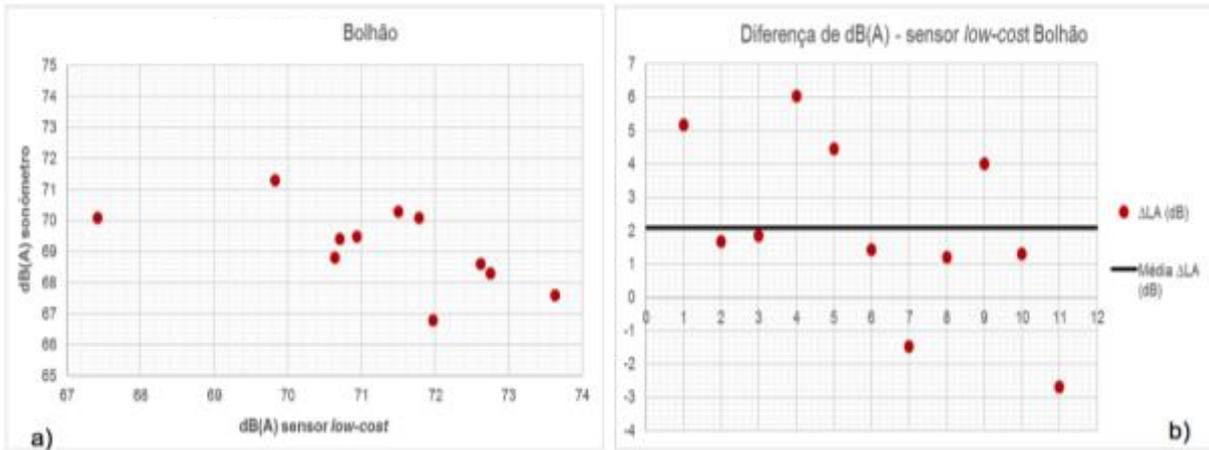


Figura 16 – a) Relação entre valores médios em dB(A) obtidos no sensor do Bolhão e os obtidos com o sonómetro; b) Diferença entre os valores médios em dB(A) obtidos no sensor do Bolhão e os obtidos com o sonómetro; [8].

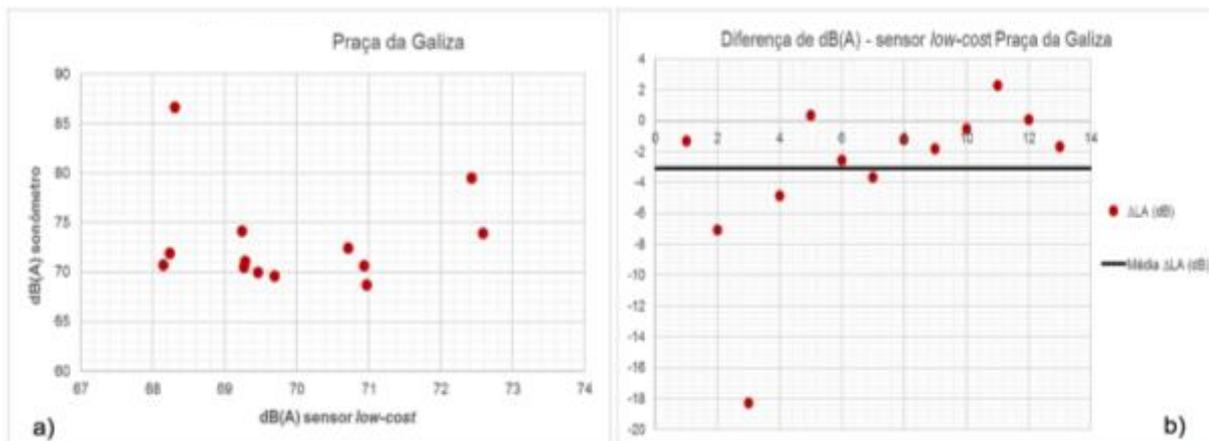


Figura 17 – a) Relação entre valores médios em dB(A) obtidos no sensor da Praça da Galiza e os obtidos com o sonómetro; b) Diferença entre os valores médios em dB(A) obtidos no sensor da Praça da Galiza e os obtidos com o sonómetro; [8].

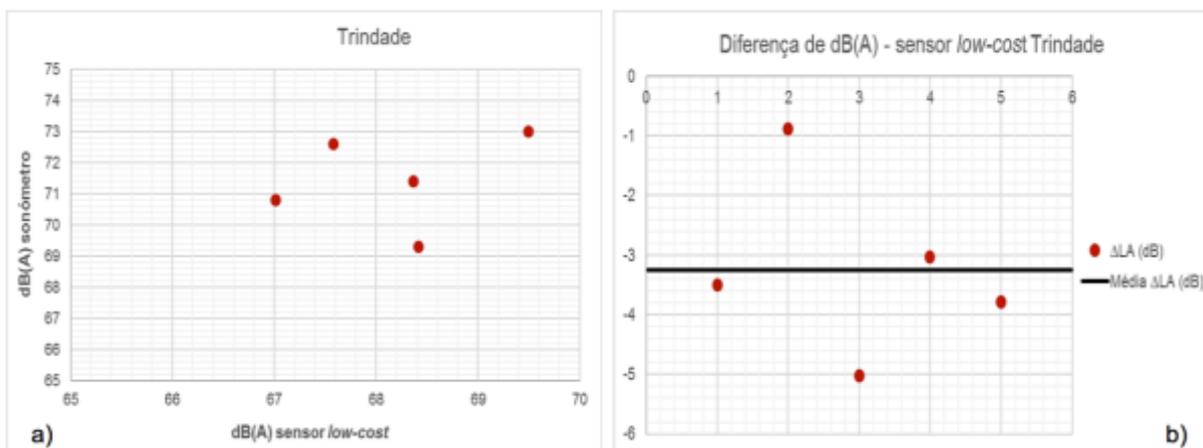


Figura 18 – a) Relação entre valores médios em dB(A) obtidos no sensor da Praça da Galiza e os obtidos com o sonómetro; b) Diferença entre os valores médios em dB(A) obtidos no sensor da Praça da Galiza e os obtidos com o sonómetro; [8].

As figuras apresentadas demonstram, ainda, que não é possível estabelecer uma regressão linear directa entre os valores medidos pelos sensores e os medidos com os equipamentos de precisão.

Tal como referido, os dados apresentam uma diferença entre +2 e -3 dB(A) o que em acústica é uma variação significativa uma vez que se traduz, em termos práticos, em praticamente o “dobro” ou “metade” do ruído. Ou seja, a DCU estaria a medir o equivalente ao dobro do ruído em relação ao sonómetro.

Na presente dissertação optou-se por uma abordagem distinta, uma vez que, em vez de se procurar estabelecer uma relação directa entre os dados obtidos a partir da DCU e com o sonómetro, se procurou perceber qual era o comportamento relativo das curvas de medição de cada um dos equipamentos e, assumindo esse ponto de partida, se procurou perceber qual seria a melhor forma de ‘corrigir’ os valores medidos pela DCU.

O procedimento inicial para a validação dos dados provenientes dos sensores *low-cost* foi semelhante ao do estudo anterior. Já no que se refere ao modelo de calibração das unidades de monitorização *low-cost* foi definida uma metodologia, algo que não tinha sido possível no estudo anterior.

O processo iniciou-se, assim, com a comparação dos valores recolhidos pelos sensores *low-cost* e os do sonómetro. Nesta situação, os sensores *low-cost* são os mesmos que os anteriores, do modelo *SL-814*, mas o sonómetro é do modelo e marca *01dB DUO Smart Noise Monitor*. O objectivo seria percorrer o máximo de DCUs possível com o objectivo de se recolherem tantos dados quanto possível para sustentar o(s) modelo(s) de calibração para os sensores existentes na cidade do Porto. No entanto, vários problemas de ordem técnica e electrónica afectaram os sensores e, por consequência, a recolha de dados, condicionando o desenvolvimento desta dissertação e a obtenção de resultados e de conclusões mais generalizadas.

Os problemas identificados estiveram associados essencialmente a falhas no que diz respeito ao código de programação das próprias DCUs, à dificuldade de acesso às unidades para manutenção, a falhas de comunicação, a falhas de energia nos locais onde estão colocados e a danos nalguns dos sensores (que na maior parte das situações não afectaram o sensor do ruído).

Assim, e no caso da presente dissertação, começaram-se a fazer medições e a recolher dados dos sensores e do sonómetro para a Avenida dos Combatentes, Trindade e Casa da Música, porque eram os locais que estavam operacionais na altura. No entanto, e com o decorrer dos trabalhos, apenas a estação de monitorização da Casa da Música se manteve funcional, tendo incidido nesta a recolha dos restantes dados que esta dissertação se propôs a recolher, analisar e a avaliar.

4.2. Procedimento inicial de calibração das DCUs

Em qualquer tipo de projecto existe a necessidade de calibrar os respectivos instrumentos de trabalho. E neste projecto esse facto não foi excepção. Os sensores *low-cost* utilizados tiveram que ser submetidos a um processo de calibração antes de serem colocados no terreno onde iriam finalmente recolher os dados pretendidos.

Inicialmente, os sensores *low-cost* foram avaliados individualmente no Laboratório de Acústica da FEUP, na frequência dos 1000 Hz, com 94 dB. Posteriormente, foram avaliados, em ambiente controlado e expostos a ruído ambiente variado tendo-se comparado os seus resultados com os de um equipamento de precisão. Já nessa altura se notou que seria necessária uma avaliação no terreno dada a variação demonstrada consoante os estímulos recebidos, sendo frequentes discrepâncias iguais ou superiores a 2 dB(A).

Tendo-se detectado que os sensores *low-cost* tendem a devolver resultados com menor precisão, considerou-se necessário proceder, primeiro, à validação dos resultados e, posteriormente, à definição de um ou vários modelos de calibração.

O procedimento de validação foi realizado com auxílio de equipamento de precisão, nomeadamente com o uso de um sonómetro que mediu em paralelo com as DCUs analisadas no âmbito desta dissertação.

4.3. Descrição dos Locais de Medição

4.3.1. INTRODUÇÃO

Inicialmente, o objectivo nesta dissertação consistia em percorrer o número máximo de locais para se obter a maior quantidade de dados possível, que permitissem validar os dados de múltiplas DCUs e, posteriormente contribuir para a definição dos respectivos modelos de calibração.

No entanto, e atendendo à experiência anterior, antes da equipa se deslocar ao terreno para efectuar a medição foi realizada o levantamento das DCU's que estariam a funcionar para que fosse possível, posteriormente, comparar com os respectivos resultados com os do sonómetro.

Na altura, para os dias 31 de Maio e 1 de Junho de 2017, apenas os sensores colocados na Avenida dos Combatentes, Trindade e Casa da Música estavam a funcionar, pelo que se optou incluir na descrição dos locais de medição, estas três localizações, apesar de, mais tarde, em Julho e Agosto, apenas o sensor colocado na Casa da Música se encontrar operacional. Os problemas associados a esta falha dos sensores foram já explicados na introdução.

4.3.2. AVENIDA DOS COMBATENTES

As características do local onde se encontra a DCU, montado no centro de um cruzamento, encontram-se ilustradas e reportadas no Quadro 6. Neste local, na Avenida dos Combatentes, foi realizada apenas uma campanha de recolha de dados. uma vez que o sensor *low-cost* ficou inoperacional para recolhas futuras.

Quadro 6 – Características do local da Avenida dos Combatentes, dos sensores e das medições realizadas.

Avenida dos Combatentes	
Nome da DCU	Avenida dos Combatentes (CO)
Data de Implantação	26 de Maio de 2015
Local	Rua de Costa Cabral e Av. dos Combatentes da Grande Guerra, Porto
Coordenadas	Latitude: 41.165523; Longitude: -8.598721
Principal fonte de poluição sonora	Tráfego rodoviário
Zona envolvente	Residencial e local de entrada e saída para o metro
Data de medição	31 de Maio de 2017, quarta-feira
Hora de medição	17h46:00 às 18h46:00

Avenida dos Combatentes



Figura 19 – Medição com sonómetro de precisão na Avenida dos Combatentes



Figura 20 – Medição com sensor *low-cost* na Avenida dos Combatentes

4.3.3. TRINDADE

No caso desta localização e à semelhança do que acontece na Avenida dos Combatentes, a localização da DCU também é marginal a uma via rodoviário, no centro de um cruzamento. Aqui, também só foi possível realizar uma campanha de recolha de dados, uma vez que o sensor *low-cost* deixou de recolher dados de ruído pouco tempo após a realização desta campanha de monitorização inicial. As características desta localização encontram-se ilustradas e reportadas no Quadro 7.

Quadro 7 – Características do local Trindade, dos sensores e das medições realizadas.

Trindade	
Nome da DCU	Trindade (TR)
Data de Implantação	3 de Agosto de 2015
Local	Rua de Camões e Rua do Alferes Malheiro, Porto
Coordenadas	Latitude: 41.151943; Longitude: -8.609973
Principal fonte de poluição sonora	Tráfego rodoviário
Zona envolvente	Turística; Comércio e serviços; Entrada e saída do metro da Trindade; Igreja; e Hospital
Data de medição	1 de Junho de 2017, quinta-feira
Hora de medição	17h51:53 às 18h51:53

Trindade



Figura 21 - Medição com sonómetro de precisão na Trindade



Figura 22 - Medição com sensor *low-cost* na Trindade

4.3.4. CASA DA MÚSICA

No que se refere à localização denominada como Casa da Música, a DCU está posicionada do lado da Praça Mouzinho da Silveira, no alinhamento da Avenida da Boavista. Todas as características do local da Casa da Música encontram-se ilustradas e reportadas no Quadro 8.

Quadro 8 – Características do local Casa da Música, dos sensores e das medições realizadas.

Casa da Música	
Nome da DCU	Casa da Música (CM)
Data de Implantação	14 de Julho de 2015
Local	Av. da Boavista e Praça de Mouzinho de Albuquerque, Porto
Coordenadas	Latitude: 41.158091; Longitude: -8.63041
Principal fonte de poluição sonora	Tráfego rodoviário
Zona envolvente	Residencial; Turística; e de lazer
Data de medição	<ol style="list-style-type: none"> 1. 1 de Junho de 2017, quinta-feira 2. 7 de Julho de 2017, sexta-feira 3. 2 de Agosto de 2017, quarta-feira 4. 3 de Agosto de 2017, quinta-feira 5. 4 de Agosto de 2017, sexta-feira
Hora de medição	<ol style="list-style-type: none"> 1. 16:00:00 às 17:00:00 2. 10h48:00 às 12h48:00 e 14h50:00 às 16h00:00 3. 17h22:00 às 19h22:00 4. 10h40:00 às 13h00:00 5. 18h20:00 às 20h30:00

Casa da Música

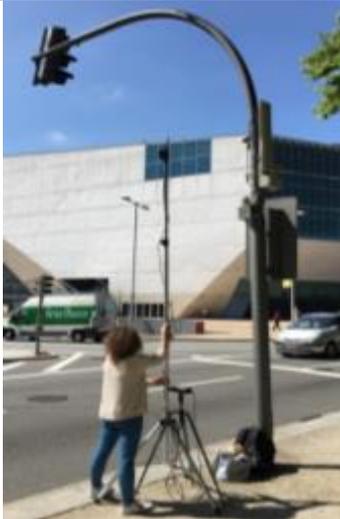


Figura 23 - Medição com sonómetro de precisão na Casa da Música



Figura 24 - Medição com sensor *low-cost* na Casa da Música

O sensor da Casa da Música foi aquele que se manteve operacional durante todo o período de recolha de dados e, por essa razão, foi possível realizar mais campanhas neste local.

4.4. Metodologia de concepção do modelo de calibração

Após a selecção dos locais onde se iria proceder à realização das medições de monitorização das DCUs, considerou-se que seria necessário estabelecer a sequência de etapas a desenvolver para se definir um modelo de calibração que permitisse ajustar os valores recolhidos com as DCUs à realidade de cada um desses locais.

Tal sequência de operações está esquematizada na Figura 25 e o contexto de cada etapa passa a ser descrito de seguida.

1ª etapa: Monitorização

- Realização de campanhas de monitorização, em contínuo, nas localizações seleccionadas com avaliação do nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, ou seja, L_{Aeq} , com equipamento de precisão (sonómetro DUO);

2ª etapa: Análise de dados

- Recolha dos dados da DCU correspondentes ao mesmo período de medição;
- Retirada dos dados do equipamento de precisão, com a mesma informação temporal da DCU, ou seja, $L_{Aeq, 1s}$.
- Representação gráfica dos dados obtidos com os dois equipamentos, em função da variável *tempo* (hora da medição);
- Representação gráfica dos dados obtidos com os dois equipamentos, tendo como objectivo observar uma eventual correlação entre os mesmos;
- Análise, por inspecção visual, das representações gráficas obtidas para orientação na pesquisa do modelo de calibração mais adequado.

3ª etapa: Definição do modelo de calibração

- Determinação e representação gráfica dos dados obtidos (na DCU e no equipamento de precisão) para diferentes períodos de integração temporal, ou seja:
 - $L_{Aeq, 1\text{min}}$;
 - $L_{Aeq, 5\text{min}}$;
 - $L_{Aeq, 10\text{min}}$;
 - $L_{Aeq, 15\text{min}}$.
- Avaliação das diferenças entre os dois equipamentos com a Eq. 4, para os diferentes períodos de reporte de informação acima referidos:

$$\Delta L_{Aeq} = L_{Aeq,DUO} - L_{Aeq,DCU} \quad \text{Eq. 4}$$

- Pesquisa do ajuste mais adequado para os dados recolhidos pela DCU;
- Para o tipo de modelo seleccionado, identificação da constante de harmonização de valores a adoptar:
 - Média aritmética;
 - Média logarítmica.
- Definição do modelo a considerar, do tipo indicado na Eq. 5:

$$L_{Aeq\text{ corrigido } Ti} = L_{Aeq,DCU\ Ti} + \Delta L_{Aeq\ Ti\ seleccionado} \quad \text{Eq. 5}$$

sendo Ti , o período de tempo de reporte seleccionado.

4ª etapa: Aplicação do modelo de calibração

- Determinação do $L_{Aeq, Ti}$ para cada um dos tempos de reporte considerados;
- Determinação do L_{Aeq} correspondente à duração total da medição e comparação com o resultado do equipamento de precisão (DUO), para todos os períodos de reporte anteriormente referidos;
- Inspeção visual e análise da representação gráfica dos resultados obtidos;
- Identificação do erro associado a cada tempo de reporte;

5ª etapa: Identificação do modelo de calibração que se considera mais adequado (não representada no esquema da Figura 25)

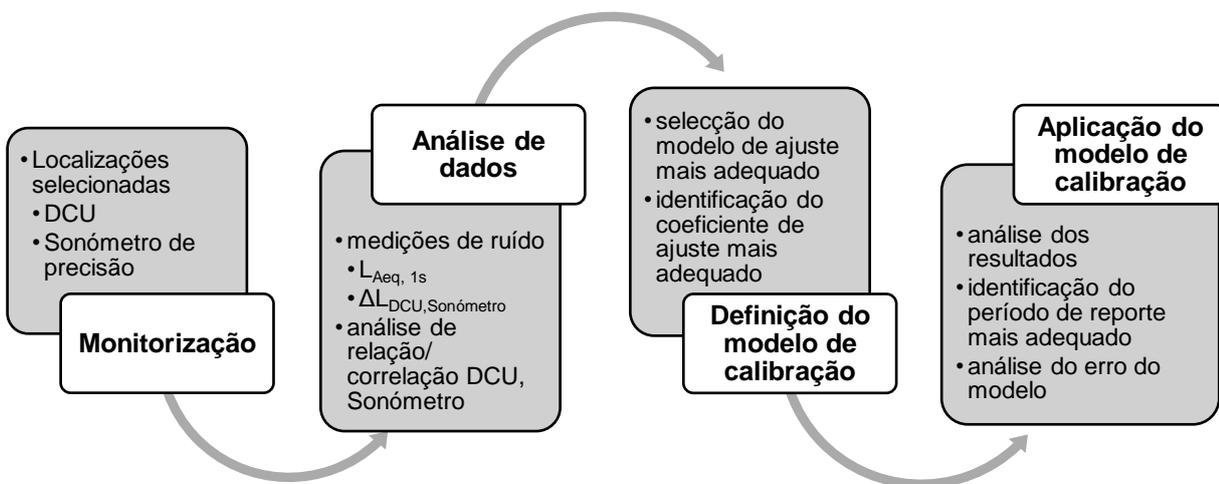


Figura 25 –Representação esquemática da metodologia adoptada para definição do modelo de calibração dos resultados obtidos nas DCUs colocadas na cidade do Porto

4.5. Análise de resultados

4.5.1. INTRODUÇÃO

Após o descarregamento dos dados provenientes dos sensores *low-cost* e do sonómetro de precisão procedeu-se ao acerto temporal para que os dados fossem coincidentes para o mesmo tempo. Posteriormente, e tal como mencionado na metodologia, calculou-se para os dados da DCU e obtiveram-se do programa do DUO os valores do L_{Aeq} , para os diferentes intervalos de tempo de reporte, o que permitiu a representação gráfica dos resultados, para cada um dos locais. Sempre que possível, tentou-se comparar os dados actuais com os da dissertação anterior.

Da análise dos dados recebidos e recolhidos e das diversas experiências realizadas com os mesmos, conclui-se que, a realidade actual demonstra um desfasamento entre os resultados da DCU e do sonómetro (DUO), apesar de ambos apresentarem a mesma tendência no seu desenvolvimento ao longo do tempo. O mesmo é dizer que, ao longo do tempo, a resposta dos dois equipamentos segue a mesma tendência, embora o nível sonoro reportado seja significativamente diferente, no caso dos valores instantâneos.

Concluiu-se, ainda e numa primeira abordagem, que a determinação da constante de desfasamento através da média aritmética (das diferenças entre as várias medições por ponto) conduziria a resultados muito satisfatórios com erros inferiores a 1 dB(A). No entanto, quando se determinava o nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) da medição total, o diferencial para a realidade (valores medidos com o sonómetro DUO) era significativo, conforme se pode observar no Quadro 9.

Quadro 9 – Quadro-resumo das diferenças entre o L_{Aeq} obtido a partir da DCU e o valor obtido com o sonómetro DUO, em dB, para os diferentes locais.

Locais de Medição	$\Delta L_{Aeq, DUO-DCU}$, em dB(A)
Avenida dos Combatentes	16,2
Trindade	2,4
Casa da Musica	-1,5

4.5.2. AVENIDA DOS COMBATENTES

Na dissertação anterior [8], para o local da Avenida dos Combatentes, apenas foi possível realizar a medição do ruído com recurso ao sonómetro, uma vez que a DCU não se encontrava a funcionar aquando da deslocação da equipa de medição, no dia 28 de Setembro de 2016. Assim, com o sonómetro, foram realizadas 30 medições de 1 minuto cada, tendo sido por isso realizado um estudo para sensivelmente 30 minutos neste único momento de recolha de dados neste local.

Na presente dissertação foi realizada igualmente uma campanha de medição para este local uma vez que o local da Avenida dos Combatentes fazia parte dos três locais cuja DCU se encontrava em funcionamento. Para o caso desta dissertação todos os dados acerca dos detalhes de medição para este local estão apresentados no Quadro 6.

O sonómetro DUO recolheu os dados em contínuo, retirando-se depois a informação por segundo para comparação com os resultados da DCU e, também os dados integrados de minuto a minuto para que fosse possível comparar com os resultados da primeira campanha com o sonómetro B&K.

O desenvolvimento das curvas de L_{Aeq} para o local da Avenida dos Combatentes, minuto a minuto, correspondente aos dois sonómetros, o relativo ao trabalho desenvolvido anteriormente e o da presente dissertação encontra-se ilustrado na Figura 26.

Pela análise da Figura 26 é possível constatar que, em condições normais, o ruído captado pelos sonómetros se desenvolve maioritariamente entre os 60 e os 72 dB(A). O pico registado às 17h53:00 no dia 28 de Setembro de 2016 pode ser explicado por um evento pontual que possa ter ocorrido como, por exemplo, a passagem de um veículo de emergência.

Avenida dos Combatentes - Sonómetros

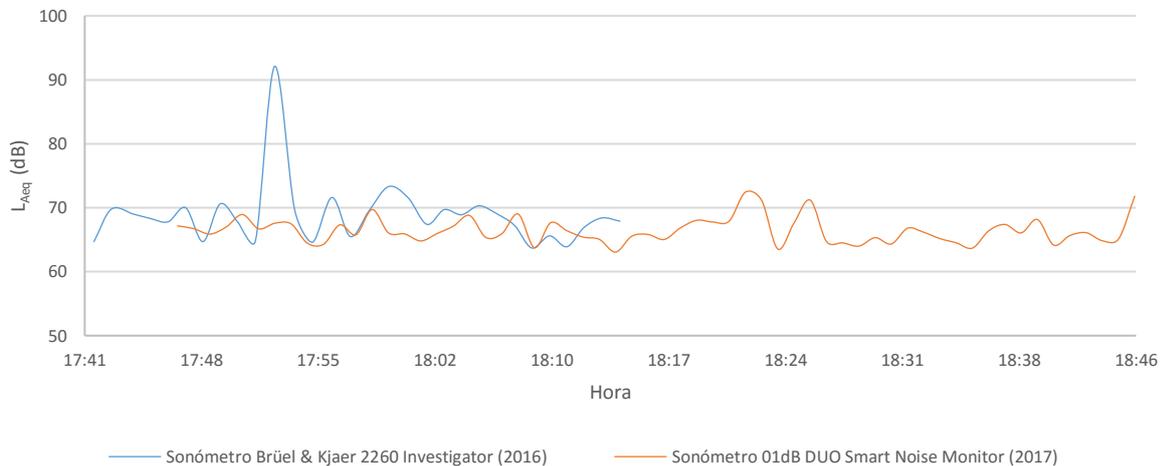


Figura 26 – Comparação dos dados recolhidos com equipamentos de precisão no local da DCU da Avenida dos Combatentes (campanha realizada no âmbito da dissertação anterior, 28 de Setembro de 2016, a azul) e no âmbito da presente dissertação (31 de Maio de 2017, a laranja), para o mesmo período horário.

Relativamente ao presente trabalho foi possível realizar a recolha de dados da DCU e do sonómetro DUO, em simultâneo, estando os resultados apresentados na Figura 27.

Sonómetro vs DCU

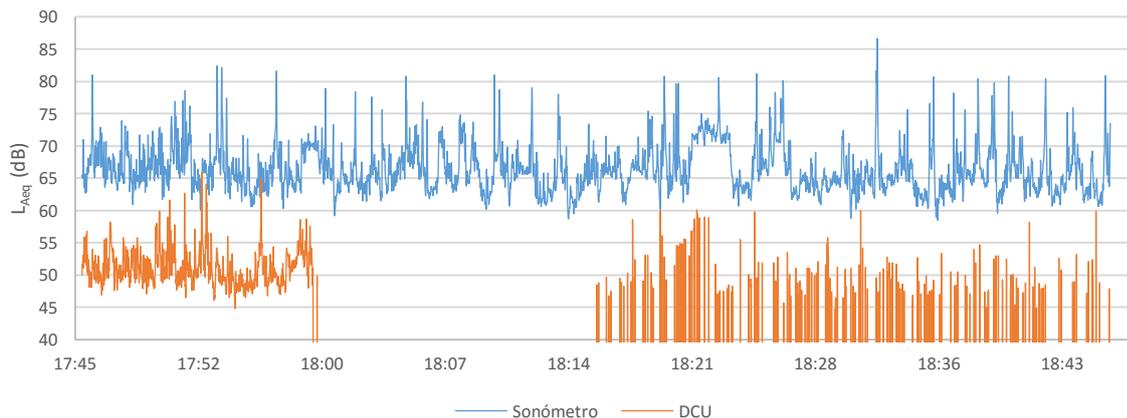


Figura 27 – Comparação dos dados de $L_{Aeq, 1s}$ recolhidos com o sonómetro (a azul) e com a DCU (a laranja), para a DCU da Avenida dos Combatentes, no dia 31 de Maio de 2017.

Pela observação da Figura 27 torna-se visível a necessidade de efectuar um estudo mais aprofundado dos dados recolhidos. Tal como mencionado na metodologia, e para a DCU, foi calculado o L_{Aeq} para os períodos de análise de 1, 5, 10 e 15 minutos e foram retirados os valores do DUO para os mesmos períodos. Observa-se também que existiu um período em que a DCU deixou de funcionar, entre as 17h59 e as 18h15, para depois regressar à normalidade ainda que com alguns períodos esporádicos de inactividade.

Da análise dos resultados obtidos foi possível encontrar as curvas correspondentes ao modelo de calibração que se considerou mais adequado (por eliminação de soluções que se julgaram menos apropriadas) e que são as indicadas nas equações seguintes:

$$\mathbf{1 \text{ minuto}} \quad L_{Aeq \text{ corrigido}, 1 \text{ min}} = L_{Aeq, DCU, 1 \text{ min}} + 17,9 \quad \text{Eq. 6}$$

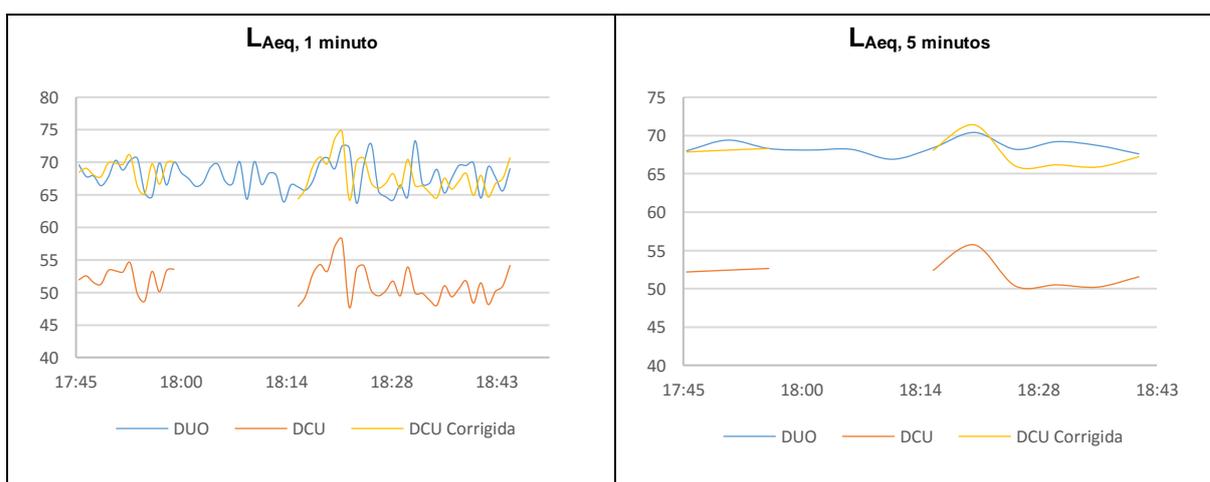
$$\mathbf{5 \text{ minutos}} \quad L_{Aeq \text{ corrigido}, 5 \text{ min}} = L_{Aeq, DCU, 5 \text{ min}} + 16,9 \quad \text{Eq. 7}$$

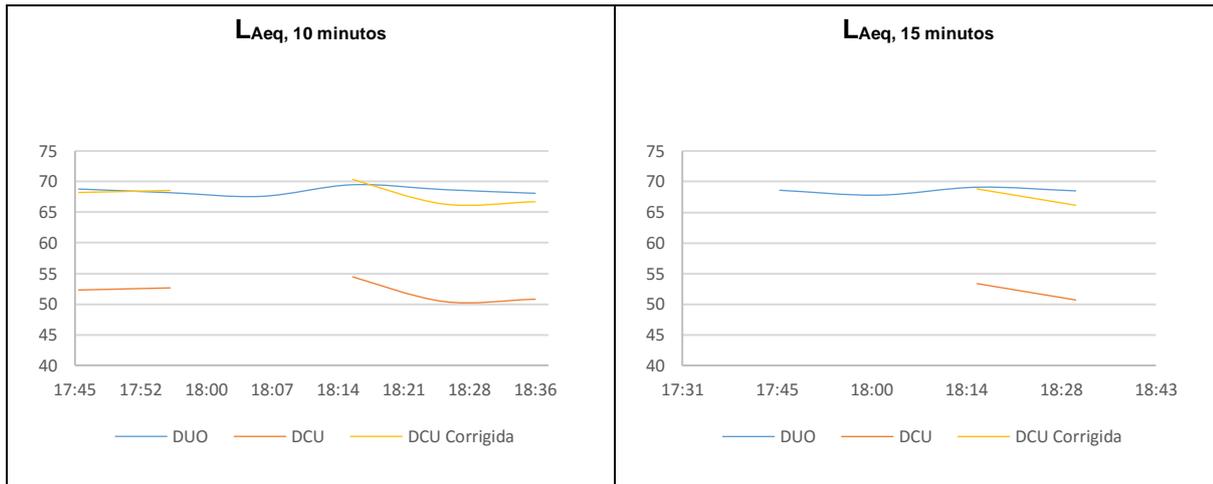
$$\mathbf{10 \text{ minutos}} \quad L_{Aeq \text{ corrigido}, 10 \text{ min}} = L_{Aeq, DCU, 10 \text{ min}} + 16,7 \quad \text{Eq. 8}$$

$$\mathbf{15 \text{ minutos}} \quad L_{Aeq \text{ corrigido}, 15 \text{ min}} = L_{Aeq, DCU, 15 \text{ min}} + 16,7 \quad \text{Eq. 9}$$

No Quadro 10 estão apresentadas as várias curvas do L_{Aeq} , tendo em conta os dados recolhidos com os dois equipamentos de medição (DCU e sonómetro DUO). Foi, ainda, representada a curva obtida pela aplicação do modelo de calibração aos resultados da DCU, para o nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) correspondente aos períodos referidos. No eixo das ordenadas está representado o L_{Aeq} (dB) e no eixo das abcissas as horas correspondentes à campanha de medição.

Quadro 10- Análise da aplicação do modelo de calibração aos dados recolhidos pela DCU da Avenida dos Combatentes (L_{Aeq}), para os diferentes períodos de tempo de reporte de informação, para o dia 31-Maio-2017.





Pelos dados que deram origem ao Quadro 10 foi possível constatar que a diferença entre os dados recolhidos pela DCU e pelo sonómetro de precisão é de **16,2 dB (A)** antes de ser aplicado o modelo de calibração. Após a aplicação do modelo de calibração, para esta situação, a diferença passou a ser de **-0,8 dB(A)**, tal como apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 – Resumo do valor do L_{Aeq} do sonómetro DUO, para a medição de 31 de Maio de 2017 na Avenida dos Combatentes, e dos correspondentes L_{Aeq} obtidos para a DCU por aplicação dos modelos de calibração seleccionados, incluindo os respectivos desvios.

Tempo (minutos)	Sonómetro (L_{Aeq} , dB)	$\Delta L_{Aeq} =$ Sonómetro-DCU	DCU* (L_{Aeq} , dB)	$\Delta L_{Aeq} =$ Sonómetro-DCU*
1 minuto	68,5	16,3	70,1	-1,5
5 minutos	68,5	16,2	69,2	-0,7
10 minutos	68,5	16,2	69,1	-0,5
15 minutos	68,5	16,2	69,0	-0,4
Média Log.	68,5	16,2	69,3	-0,8

DCU* - Valores do nível sonoro de ruído ambiente recolhidos na DCU e corrigidos com o modelo de calibração adoptado, consoante o tempo de reporte indicado

4.5.3. TRINDADE

No trabalho anteriormente realizado [8], para o local da Trindade, no dia 1 de Junho de 2016, foi realizada uma medição do ruído com recurso a um sonómetro de precisão e à DCU existente no local. Assim, com o sonómetro, foram realizadas 15 medições de 1 minuto cada, tendo sido por isso realizado um estudo para sensivelmente 15 minutos neste único momento de recolha de dados neste local.

Para o caso desta dissertação foi realizada igualmente uma campanha de medição para este local, por um período de 1 hora, uma vez que a Trindade fazia parte dos três locais cuja DCU se encontrava em funcionamento. Neste caso, sonómetro recolheu os dados segundo a segundo tendo sido depois convertidos os dados para minuto a minuto para que fosse possível comparar com os dados da primeira campanha. Para o caso desta dissertação todos os dados acerca dos detalhes de medição para este local estão apresentados no Quadro 4.

Assim sendo, o desenvolvimento das curvas de L_{Aeq} para o local da Avenida dos Combatentes, minuto a minuto, pelos dois sonómetros relativos ao trabalho desenvolvido anteriormente e à presente dissertação encontram-se ilustradas na Figura 28.

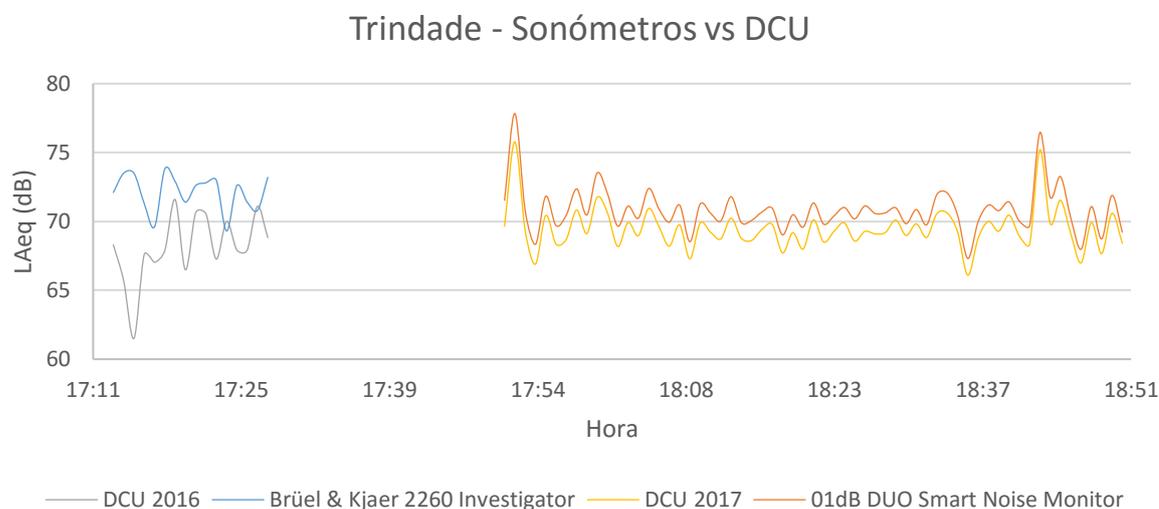


Figura 28 – Dados do sonómetro para a Trindade na campanha realizada no âmbito da dissertação anterior (1 de Junho 2016, a azul e a cinzento) e no âmbito da presente dissertação (1 de Junho de 2017, laranja e amarelo)

Pela análise à Figura 28 é possível constatar que em condições normais o ruído captado pelos sonómetros se desenvolve maioritariamente entre os 68 dB(A) e os 74 dB(A). Também os dados recolhidos pela DCU em 2016 e 2017 oscilaram entre os 62 dB(A) e os 71 dB(A) sendo que em 2017 os valores acompanharam sensivelmente os do sonómetro para esse ano. Os picos registados às 17h52 e às 18:43 em 2017 pode ser explicado por um evento pontual que possa ter ocorrido como, por exemplo, a passagem de um veículo de emergência, a passagem de veículos pesados e as buzinas.

Da análise dos resultados obtidos foi possível encontrar as curvas correspondentes ao modelo de calibração que se considerou mais adequado (por eliminação de soluções que se julgaram menos apropriadas) e que são as indicadas nas equações seguintes:

$$\mathbf{1 \text{ minuto}} \quad L_{Aeq \text{ corrigido}, 1 \text{ min}} = L_{Aeq, DCU, 1 \text{ min}} + 1,5 \quad \text{Eq. 10}$$

$$\mathbf{5 \text{ minutos}} \quad L_{Aeq \text{ corrigido}, 5 \text{ min}} = L_{Aeq, DCU, 5 \text{ min}} + 1,7 \quad \text{Eq. 11}$$

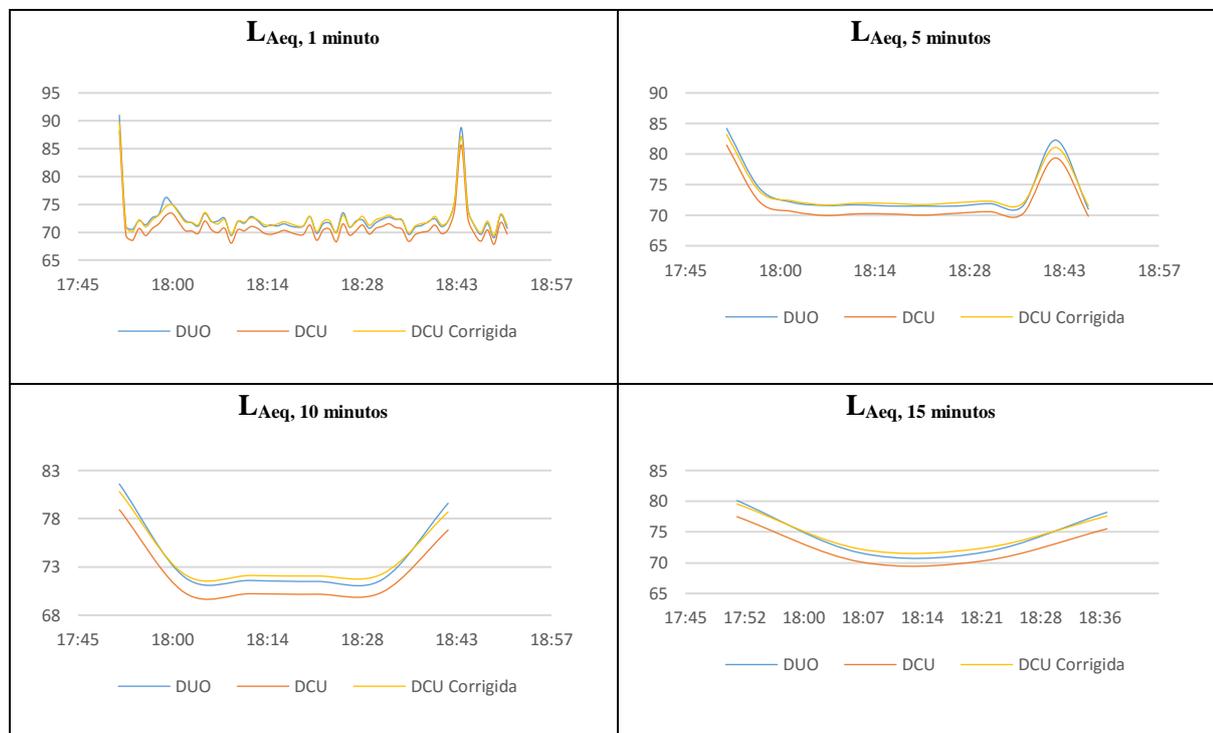
$$\mathbf{10 \text{ minutos}} \quad L_{Aeq \text{ corrigido}, 10 \text{ min}} = L_{Aeq, DCU, 10 \text{ min}} + 1,9 \quad \text{Eq. 12}$$

$$\mathbf{15 \text{ minutos}} \quad L_{Aeq \text{ corrigido}, 15 \text{ min}} = L_{Aeq, DCU, 15 \text{ min}} + 2,1 \quad \text{Eq. 13}$$

No Quadro 12 estão apresentadas as curvas tendo em conta os dados recolhidos pelos equipamentos de medição (DCU e sonómetro) onde se mostra o cálculo do nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) para os períodos referidos. É também apresentada a curva dos dados da DCU com os valores corrigidos pelo modelo de calibração.

No eixo das ordenadas está representado o L_{Aeq} (dB) e no eixo das abcissas as horas correspondentes à campanha de medição.

Quadro 12 – Análise logarítmica para os diferentes períodos de tempo para a Trindade no dia 1 de Junho de 2017



Pelos dados que deram origem ao Quadro 12 foi possível constatar que a diferença entre os dados recolhidos pela DCU e pelo sonómetro de precisão é de **2,4 dB(A)** antes de ser aplicado o modelo de calibração. Após a aplicação do modelo de calibração, para esta situação, a diferença passou a ser de **0,6 dB(A)**, tal como apresentado no Quadro 13.

Quadro 13 – Média do L_{Aeq} do sonómetro e da DCU corrigida e comparação de resultados com e sem correcção para a Trindade para 1 de Junho de 2017.

	Sonómetro (L_{Aeq} ,)	Δ = Sonómetro-DCU (dB(A))	DCU* (L_{Aeq})	Δ = Sonómetro-DCU* (dB(A))
1 minuto	76,9	2,4	76,0	0,9
5 minutos	76,9	2,4	76,2	0,7
10 minutos	76,9	2,4	76,4	0,5
15 minutos	76,9	2,4	76,6	0,4
Média Log.	76,9	2,4	76,3	0,6

DCU* - Valores do nível sonoro de ruído ambiente recolhidos na DCU e corrigidos com o modelo de calibração adoptado, consoante o tempo de reporte indicado

4.5.4. CASA DA MÚSICA

4.5.4.1. Introdução

Para o caso da Casa da Música foram realizadas, no âmbito da presente dissertação, um total de 5 medições uma vez que esta unidade de recolha de dados era a única em funcionamento na altura. Nos trabalhos realizados anteriormente foi realizada uma campanha de medição com sonómetro no dia 29 de Setembro de 2016, por um período de 30 minutos, que equivale a 30 medições de 1 minuto cada, e que irá ser alvo de análise na Figura 16.

Para o caso da presente dissertação todos os dados acerca dos detalhes de medição para este local estão apresentados Quadro 8. De uma maneira geral o estudo neste caso ocorreu por um período mais largo de tempo por comparação com o trabalho anterior tendo sido recolhidos dados entre 1 a 2 horas de medição.

Assim sendo, o desenvolvimento das curvas de L_{Aeq} para o local da Casa da Música, minuto a minuto, pelos dois sonómetros relativos ao trabalho desenvolvido anteriormente e à presente dissertação encontram-se ilustradas na Figura 29.

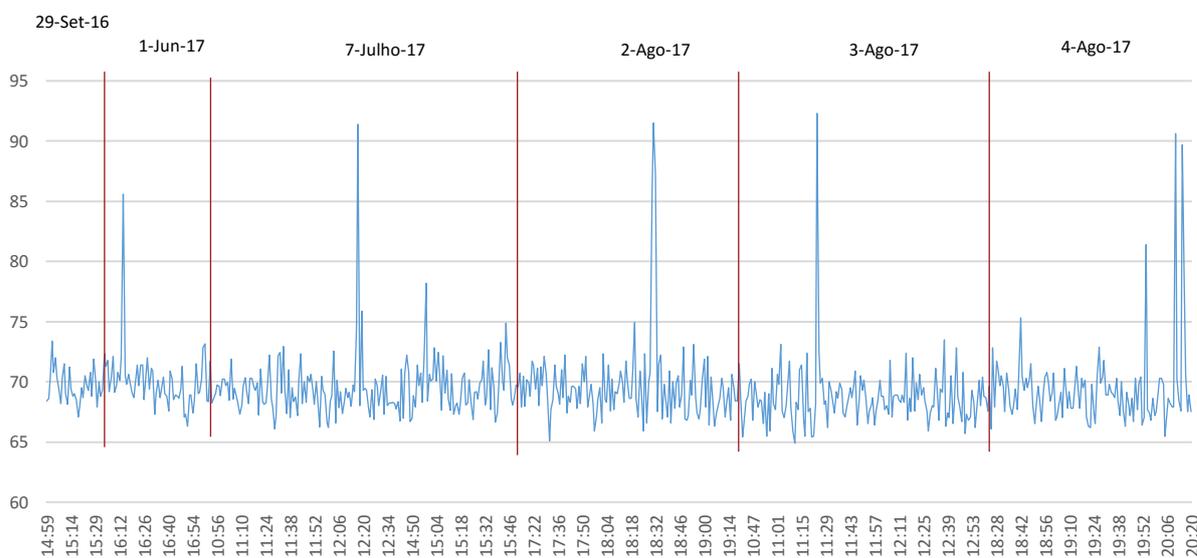


Figura 29 – Dados do sonómetro, minuto a minuto, para a Casa da Música na campanha realizada no âmbito da dissertação anterior (29-Set-16) e no âmbito da presente dissertação (restantes datas)

Pela análise à Figura 29 é possível constatar que em condições normais o ruído captado pelos sonómetros se desenvolve maioritariamente entre os 65 dB(A) e os 75 dB(A). No entanto, os picos registados em vários momentos ao longo dos diversos dias de campanha traduzem a passagem de veículos de emergência e de buzinas dos automóveis.

No que diz respeito à actual dissertação, e dado que para o dia 7 não foi possível recolher qualquer tipo de dados da DCU aí instalada, irá ser feita uma análise para os restantes dias na Figura 30.

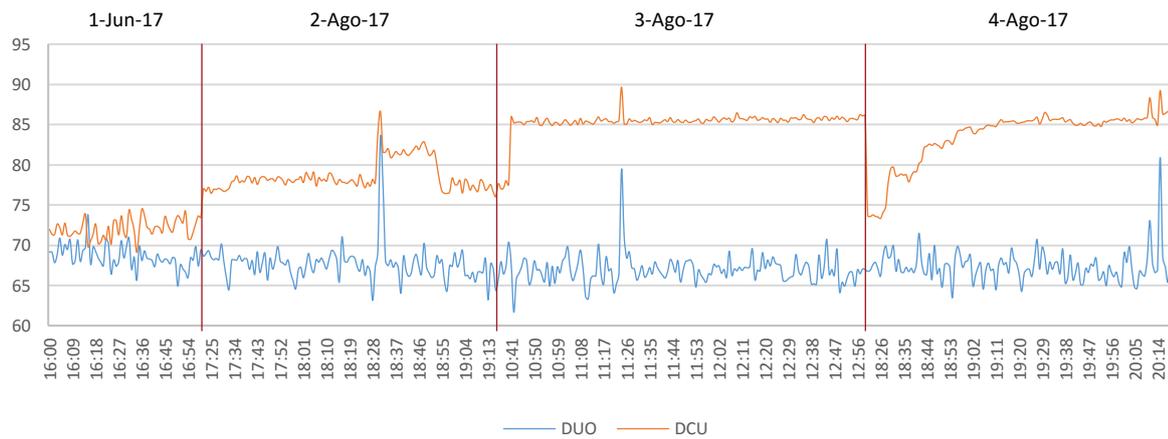


Figura 30 – Dados do sonómetro e da DCU, minuto a minuto, para a Casa da Música na campanha realizada no âmbito da presente dissertação

Tendo em conta esta comparação interessou igualmente fazer o estudo entre o comportamento das curvas quando estes são dados integrados e as médias calculadas logaritmicamente. Estes tipos de curvas estão apresentados na Figura 31.

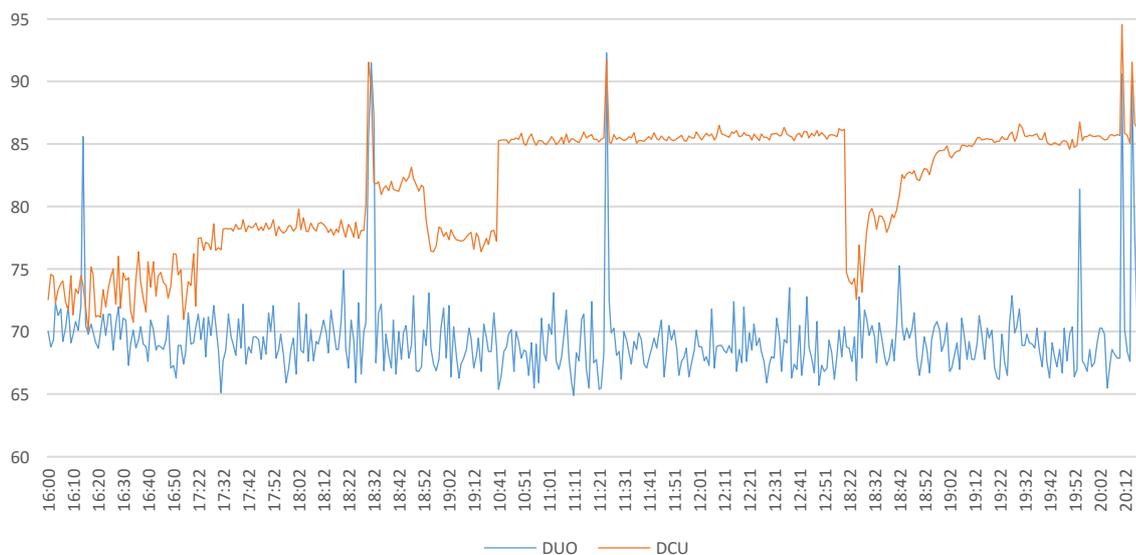


Figura 31 – Dados integrados do sonómetro e logarítmicos da DCU, minuto a minuto, para a Casa da Música na campanha realizada no âmbito da presente dissertação

Como é possível verificar pela Figura 30 e Figura 31 as curvas representadas logaritmicamente são aquelas em que existe mais relação concordante. Iremos por isso verificar se o mesmo se mantém para os diferentes intervalos de tempo.

4.5.4.2. Dia 1 de Junho de 2017

Da análise dos resultados globais, e para este caso, obtidos foi possível encontrar as curvas correspondentes ao modelo de calibração que se considerou mais adequado (por eliminação de soluções que se julgaram menos apropriadas) e que são as indicadas nas equações seguintes:

1 minuto $L_{Aeq\ corrigido,1\ min} = L_{Aeq,DCU,1\ min} + (-1,4)$ Eq. 14

5 minutos $L_{Aeq\ corrigido,5\ min} = L_{Aeq,DCU,5\ min} + (-1,6)$ Eq. 15

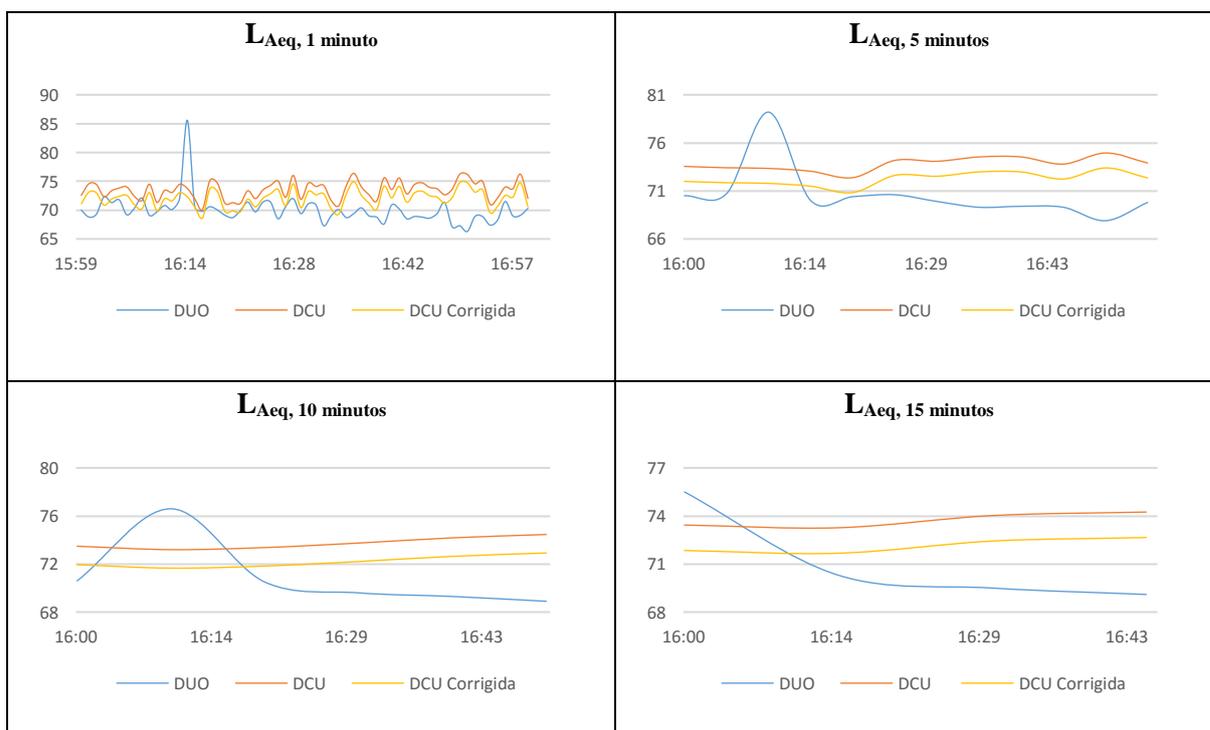
10 minutos $L_{Aeq\ corrigido,10\ min} = L_{Aeq,DCU,10\ min} + (-1,5)$ Eq. 16

15 minutos $L_{Aeq\ corrigido,15\ min} = L_{Aeq,DCU,15\ min} + (-1,6)$ Eq. 17

No Quadro 14 estão apresentadas as curvas tendo em conta os dados recolhidos pelos equipamentos de medição (DCU e sonómetro) onde se mostra o cálculo do nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) para os períodos referidos. É também apresentada a curva dos dados da DCU com os valores corrigidos pelo modelo de calibração.

No eixo das ordenadas está representado o L_{Aeq} (dB) e no eixo das abcissas as horas correspondentes à campanha de medição.

Quadro 14 – Análise logarítmica para os diferentes períodos de tempo na Casa da Música para 1 de Junho de 2017



Pelos dados que deram origem ao Quadro 14 foi possível constatar que a diferença entre os dados recolhidos pela DCU e pelo sonómetro de precisão é de **1,8 dB(A)** antes de ser aplicado o modelo de calibração. Após a aplicação do modelo de calibração, para esta situação, a diferença passou a ser de **0,6 dB(A)**, tal como apresentado no Quadro 15.

Quadro 15 – Média do L_{Aeq} do sonómetro e da DCU corrigida e comparação de resultados com e sem correção para a Casa da Música para 1 de Junho de 2017.

	Sonómetro (L_{Aeq} ,)	Δ = Sonómetro-DCU (dB(A))	DCU* (L_{Aeq})	Δ = Sonómetro-DCU* (dB(A))
1 minuto	72,0	-1,4	72,3	-0,4
5 minutos	72,0	-1,6	72,3	-0,3
10 minutos	71,9	-1,5	72,2	-0,3
15 minutos	72,0	-1,6	72,2	-0,2
Média Log.	72,0	-1,5	72,3	-0,3

DCU* - Valores do nível sonoro de ruído ambiente recolhidos na DCU e corrigidos com o modelo de calibração adoptado, consoante o tempo de reporte indicado

4.5.4.3. Dia 2 de Agosto de 2017

Da análise dos resultados globais, e para este caso, obtidos foi possível encontrar as curvas correspondentes ao modelo de calibração que se considerou mais adequado (por eliminação de soluções que se julgaram menos apropriadas) e que são as indicadas nas equações seguintes:

$$1 \text{ minuto} \quad L_{Aeq \text{ corrigido}, 1 \text{ min}} = L_{Aeq, DCU, 1 \text{ min}} + (-7,6) \quad \text{Eq. 18}$$

$$5 \text{ minutos} \quad L_{Aeq \text{ corrigido}, 5 \text{ min}} = L_{Aeq, DCU, 5 \text{ min}} + (-7,3) \quad \text{Eq. 19}$$

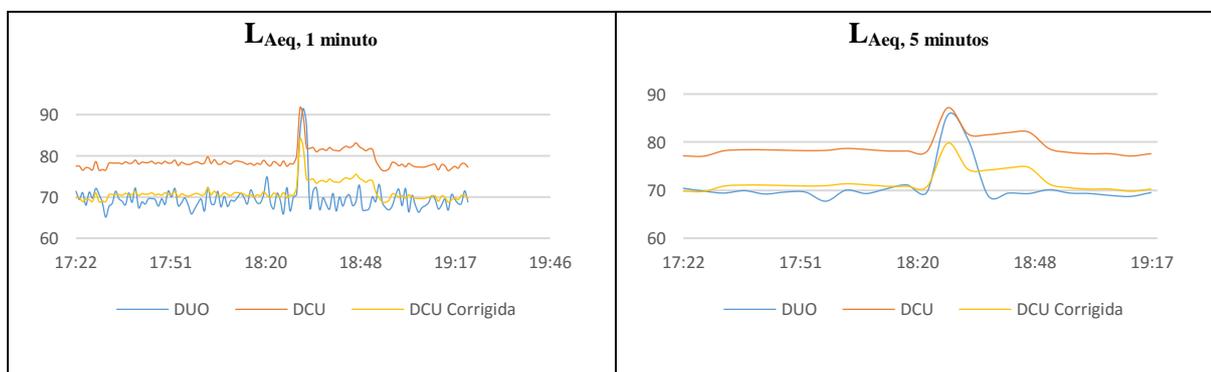
$$10 \text{ minutos} \quad L_{Aeq \text{ corrigido}, 10 \text{ min}} = L_{Aeq, DCU, 10 \text{ min}} + (-6,9) \quad \text{Eq. 20}$$

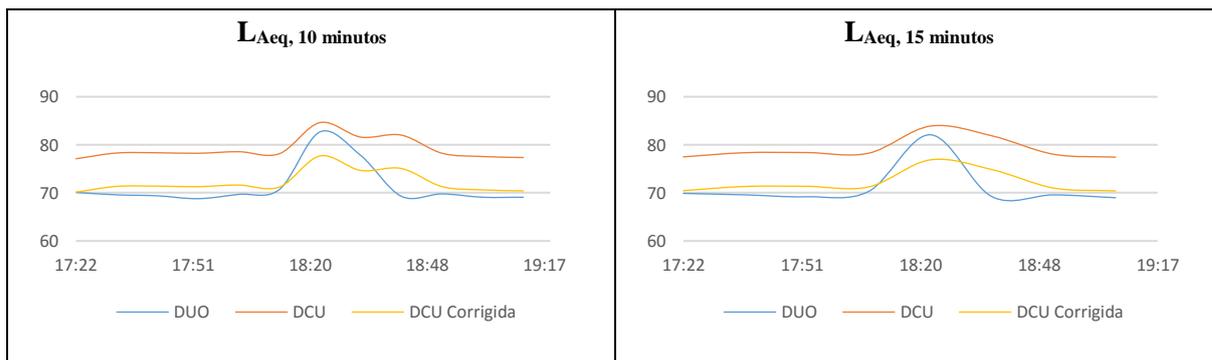
$$15 \text{ minutos} \quad L_{Aeq \text{ corrigido}, 15 \text{ min}} = L_{Aeq, DCU, 15 \text{ min}} + (-7,0) \quad \text{Eq. 21}$$

No Quadro 16 estão apresentadas as curvas tendo em conta os dados recolhidos pelos equipamentos de medição (DCU e sonómetro) onde se mostra o cálculo do nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) para os períodos referidos. É também apresentada a curva dos dados da DCU com os valores corrigidos pelo modelo de calibração.

No eixo das ordenadas está representado o L_{Aeq} (dB) e no eixo das abcissas as horas correspondentes à campanha de medição.

Quadro 16 – Análise logarítmica para os diferentes períodos de tempo na Casa da Música para 2 de Agosto de 2017





Pelos dados que deram origem ao Quadro 16 foi possível constatar que a diferença entre os dados recolhidos pela DCU e pelo sonómetro de precisão é de **-7,2 dB(A)** antes de ser aplicado o modelo de calibração. Após a aplicação do modelo de calibração, para esta situação, a diferença passou a ser de **1,9 dB(A)**, tal como apresentado no Quadro 17.

Quadro 17 – Média do L_{Aeq} do sonómetro e da DCU corrigida e comparação de resultados com e sem correção para a Casa da Música para 2 de Agosto de 2017.

	Sonómetro ($L_{Aeq,}$)	$\Delta =$ Sonómetro-DCU (dB(A))	DCU* (L_{Aeq})	$\Delta =$ Sonómetro-DCU* (dB(A))
1 minuto	74,5	-7,6	72,2	2,2
5 minutos	74,5	-7,3	72,5	2,0
10 minutos	74,5	-6,9	72,9	1,6
15 minutos	74,5	-7,0	72,9	1,6
Média Log.	74,5	-7,2	72,6	1,9

DCU* - Valores do nível sonoro de ruído ambiente recolhidos na DCU e corrigidos com o modelo de calibração adoptado, consoante o tempo de reporte indicado

4.5.4.4. Dia 3 de Agosto de 2017

Da análise dos resultados globais, e para este caso, obtidos foi possível encontrar as curvas correspondentes ao modelo de calibração que se considerou mais adequado (por eliminação de soluções que se julgaram menos apropriadas) e que são as indicadas nas equações seguintes:

$$\mathbf{1\ minuto} \quad L_{Aeq\ corrigido,1\ min} = L_{Aeq,DCU,1\ min} + (-15,3) \quad \text{Eq. 22}$$

$$\mathbf{5\ minutos} \quad L_{Aeq\ corrigido,5\ min} = L_{Aeq,DCU,5\ min} + (-13,5) \quad \text{Eq. 23}$$

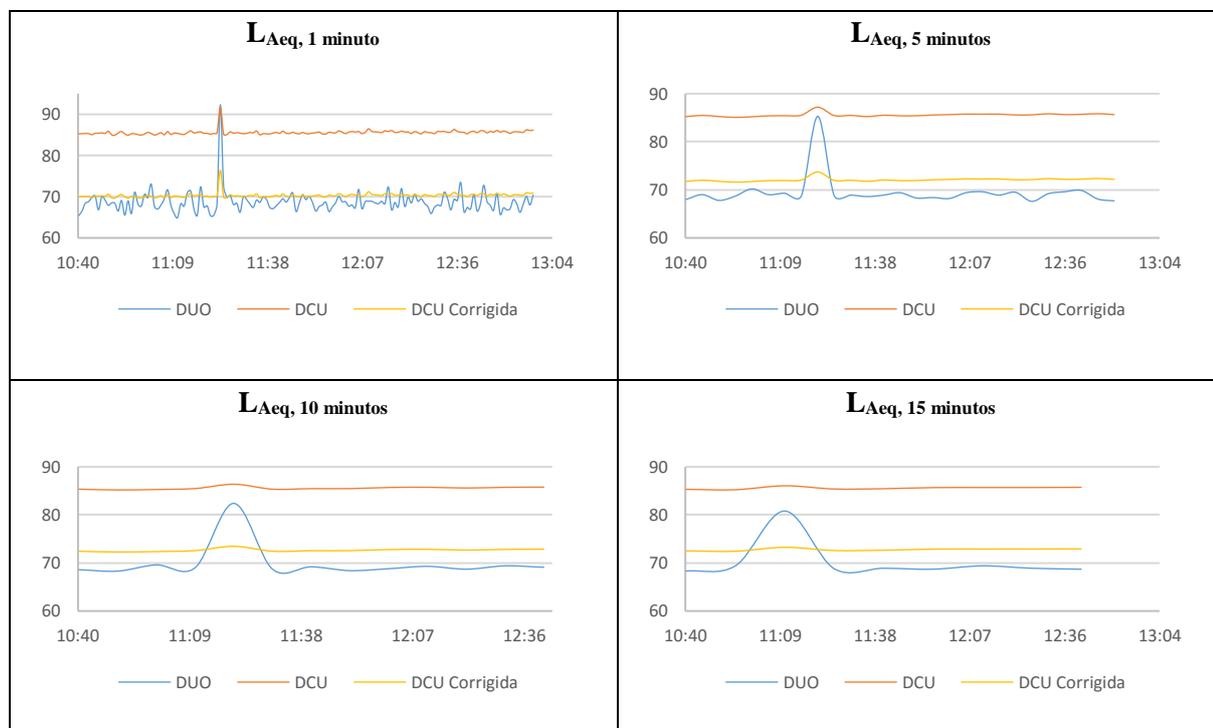
$$\mathbf{10\ minutos} \quad L_{Aeq\ corrigido,10\ min} = L_{Aeq,DCU,10\ min} + (-12,9) \quad \text{Eq. 24}$$

$$\mathbf{15\ minutos} \quad L_{Aeq\ corrigido,15\ min} = L_{Aeq,DCU,15\ min} + (-12,8) \quad \text{Eq. 25}$$

No Quadro 18 estão apresentadas as curvas tendo em conta os dados recolhidos pelos equipamentos de medição (DCU e sonómetro) onde se mostra o cálculo do nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) para os períodos referidos. É também apresentada a curva dos dados da DCU com os valores corrigidos pelo modelo de calibração.

No eixo das ordenadas está representado o L_{Aeq} (dB) e no eixo das abcissas as horas correspondentes à campanha de medição.

Quadro 18 – Análise logarítmica para os diferentes períodos de tempo na Casa da Música para 3 de Agosto de 2017



Pelos dados que deram origem ao Quadro 18 foi possível constatar que a diferença entre os dados recolhidos pela DCU e pelo sonómetro de precisão é de **-13,6 dB(A)** antes de ser aplicado o modelo de calibração. Após a aplicação do modelo de calibração, para esta situação, a diferença passou a ser de **1,1 dB(A)**, tal como apresentado no Quadro 19.

Quadro 19 – Média do L_{Aeq} do sonómetro e da DCU corrigida e comparação de resultados com e sem correção para a Casa da Música para 3 de Agosto de 2017.

	Sonómetro (L_{Aeq} ,)	Δ = Sonómetro-DCU (dB(A))	DCU* (L_{Aeq})	Δ = Sonómetro-DCU* (dB(A))
1 minuto	73,0	-15,3	70,4	2,6
5 minutos	73,0	-13,5	72,1	0,9
10 minutos	73,1	-12,9	72,7	0,5
15 minutos	73,1	-12,8	72,8	0,3
Média	73,1	-13,6	72,0	1,1

DCU* - Valores do nível sonoro de ruído ambiente recolhidos na DCU e corrigidos com o modelo de calibração adoptado, consoante o tempo de reporte indicado

4.5.4.5. Dia 4 de Agosto de 2017

Da análise dos resultados globais, e para este caso, obtidos foi possível encontrar as curvas correspondentes ao modelo de calibração que se considerou mais adequado (por eliminação de soluções que se julgaram menos apropriadas) e que são as indicadas nas equações seguintes:

1 minuto $L_{Aeq\ corrigido,1\ min} = L_{Aeq,DCU,1\ min} + (-11,7)$ Eq. 26

5 minutos $L_{Aeq\ corrigido,5\ min} = L_{Aeq,DCU,5\ min} + (-11,4)$ Eq. 27

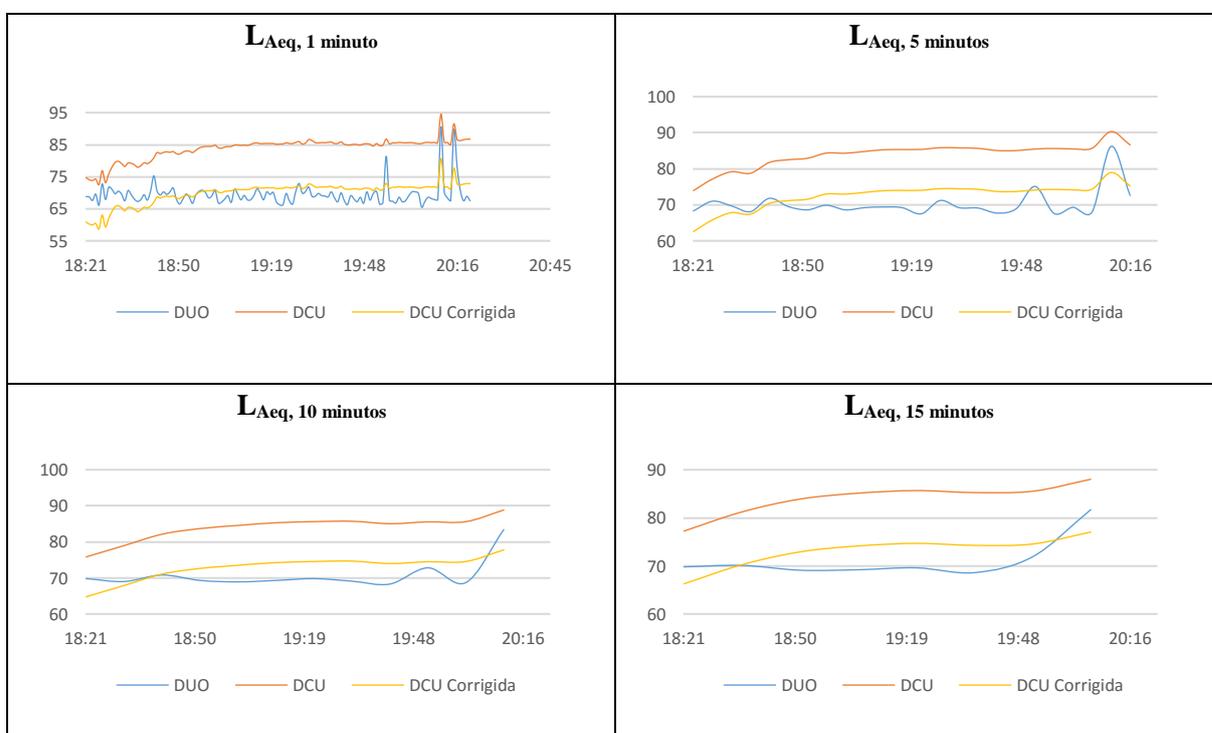
10 minutos $L_{Aeq\ corrigido,10\ min} = L_{Aeq,DCU,10\ min} + (-11,1)$ Eq. 28

15 minutos $L_{Aeq\ corrigido,15\ min} = L_{Aeq,DCU,15\ min} + (-11,0)$ Eq. 29

No Quadro 20 estão apresentadas as curvas tendo em conta os dados recolhidos pelos equipamentos de medição (DCU e sonómetro) onde se mostra o cálculo do nível sonoro contínuo equivalente (L_{Aeq}) para os períodos referidos. É também apresentada a curva dos dados da DCU com os valores corrigidos pelo modelo de calibração.

No eixo das ordenadas está representado o L_{Aeq} (dB) e no eixo das abcissas as horas correspondentes à campanha de medição.

Quadro 20 – Análise logarítmica para os diferentes períodos de tempo na Casa da Música para 4 de Agosto de 2017



Pelos dados que deram origem ao Quadro 20 foi possível constatar que a diferença entre os dados recolhidos pela DCU e pelo sonómetro de precisão é de **-11,3 dB(A)** antes de ser aplicado o modelo de calibração. Após a aplicação do modelo de calibração, para esta situação, a diferença passou a ser de **0,7 dB(A)**, tal como apresentado no Quadro 21.

Quadro 21 – Média do L_{Aeq} do sonómetro e da DCU corrigida e comparação de resultados com e sem correção para a Casa da Música para 4 de Agosto de 2017.

	Sonómetro (L_{Aeq})	$\Delta =$ Sonómetro-DCU (dB(A))	DCU* (L_{Aeq})	$\Delta =$ Sonómetro-DCU* (dB(A))
1 minuto	74,3	-11,7	73,1	1,2
5 minutos	74,3	-11,4	73,5	0,8
10 minutos	74,3	-11,1	73,8	0,5
15 minutos	74,3	-11,0	73,9	0,4
Média	74,3	-11,3	73,6	0,7

DCU* - Valores do nível sonoro de ruído ambiente recolhidos na DCU e corrigidos com o modelo de calibração adoptado, consoante o tempo de reporte indicado

Dado que para a Casa da Música se realizaram quatro campanhas de medição é necessário apresentar um único modelo de calibração para este local. Tendo em conta os dados recolhidos para cada um dos dias tal como já apresentado, e para este caso, foi possível encontrar as curvas correspondentes ao modelo de calibração que se considerou mais adequado (por eliminação de soluções que se julgaram menos apropriadas) e que são as indicadas nas equações seguintes:

$$\mathbf{1\ minuto} \quad L_{Aeq\ corrigido,1\ min} = L_{Aeq,DCU,1\ min} + (-6,1) \quad \text{Eq. 30}$$

$$\mathbf{5\ minutos} \quad L_{Aeq\ corrigido,5\ min} = L_{Aeq,DCU,5\ min} + (-6,0) \quad \text{Eq. 31}$$

$$\mathbf{10\ minutos} \quad L_{Aeq\ corrigido,10\ min} = L_{Aeq,DCU,10\ min} + (-5,9) \quad \text{Eq. 32}$$

$$\mathbf{15\ minutos} \quad L_{Aeq\ corrigido,15\ min} = L_{Aeq,DCU,15\ min} + (-5,9) \quad \text{Eq. 33}$$

Importa também constatar que aquando de uma análise em contínuo as diferenças entre o sonómetro e as DCU's são mais significativas quando comparadas com uma análise integrada. Com os valores integrados as diferenças são atenuadas e o mesmo é válido para quanto maior for o período de integração. Neste caso, foram escolhidos os períodos de 1, 5, 10 e 15 minutos de integração para analisar o ruído medido pelo sonómetro e pela DCU. É possível constatar que é para o período dos 15 minutos que as diferenças se esbatem e são mais atenuadas uma vez que os valores de pico, pontuais, são mascarados pelos outros valores inferiores a esse, mais constantes ao longo do tempo.

É possível verificar tendo em conta a distinção dos locais a recolha de dados é também díspar entre si. Na Avenida dos Combatentes e na Casa da Música o meio em que as DCU's estão colocadas é similar tendo em conta o pára-arranca dos automóveis nos semáforos e alguma distância da DCU aos edifícios que a circundam. Na Trindade o meio é caracterizado por maior volume de tráfego em todo o redor da DCU e uma maior proximidade aos edifícios envolventes.

Por todos estes motivos não é possível generalizar um modelo de calibração que englobe todos estes locais e que se aplique da mesma maneira a todos. Terá de se aplicar e desenvolver um modelo de calibração feito à medida para cada DCU.

5 CONCLUSÃO

5.1. Principais Conclusões

Dado que as estações de medição tradicional, pelos elevados custos associados, não são viáveis uma vez que não apresentam flexibilidade nem escalabilidade, a solução passa pela aposta em estratégias *low-cost* como são os sensores colocados pela cidade do Porto. Desta forma é possível a criação de mapas de alta resolução de exposição ao ruído com um encargo financeiro reduzido. É também possível a criação de uma rede de sensores *low-cost* com aptidão para a medição de diversos parâmetros ambientais e com capacidade itinerante.

Antes da colocação dos sensores *low-cost* no terreno é necessário que estes sejam sujeitos a um processo de calibração junto a uma estação de referência para que os dados recolhidos tenham qualidade. No entanto, é igualmente importante efectuar calibrações periódicas aos sensores *low-cost* para que a qualidade dos dados recolhidos possa ser mantida. Isto porque a resposta do sensor pode ser afectada por vários motivos como o desgaste da membrana, avarias electrónicas, factores atmosféricos e o próprio desgaste do material.

Dado que é possível tratar os dados tendo em conta duas abordagens: aritmética e logaritmicamente, os resultados obtidos permitem concluir que pelo método logarítmico existe um melhor ajuste das curvas corrigidas em relação aos valores de referência, quando comparados face à aritmética. Isto acontece porque aritmeticamente os dados do sonómetro encontram-se distantes daquilo que na realidade é medido, em cerca de 2 dB(A) para a Avenida dos Combatentes e em cerca de 6 dB(A) para a Trindade e Casa da Música. E por esse motivo teriam de ser realizadas duas operações: correcção dos valores do sonómetro e dos valores da DCU. Pelo método logarítmico apenas é necessário corrigir os valores da DCU, uma vez que os dados do sonómetro já se encontram correctos, sendo esta a melhor abordagem.

Pelos resultados obtidos das medições realizadas nos meses de Maio, Junho, Julho e Agosto é possível concluir que os locais de medição em estudo no âmbito desta dissertação, nomeadamente a Avenida dos Combatentes, Trindade e Casa da Música, cada um deles apresenta particularidades face à sua localização, tipo de estímulos e resposta por parte da DCU.

Por isso, a análise acerca da aplicação do modelo de calibração deve ser feita individualmente, para cada um dos locais. Para a Avenida dos Combatentes, antes da aplicação do modelo de calibração a diferença entre o sonómetro e a DCU era de 16,2 dB(A) passando para **-0,8 dB(A)** depois da aplicação do modelo. Para a Trindade, antes da aplicação do modelo de calibração a diferença entre o sonómetro e a DCU era de 2,4 dB(A) passando para **0,6 dB(A)** depois da aplicação do modelo. O mesmo aconteceu para a Casa da Música onde antes da aplicação do modelo de calibração a diferença entre o sonómetro e a DCU era de -1,8 dB(A) passando para **-0,3 dB(A)** depois da aplicação do modelo.

Dentro do domínio da acústica esta diferença entre o valor da DCU que agora está corrigido e o valor do sonómetro é aceitável pelo que o modelo pode ser aplicado.

Nos resultados estão apresentadas seis das sete medições realizadas num total de três de dezoito DCUs com sensor de ruído. Isto aconteceu porque as restantes quinze DCU não estavam a recolher dados de ruído e uma não recolheu aquando da deslocação da equipa para a recolha de informação tendo sido apenas recolhidos dados do sonómetro.

A tentativa de elaborar um modelo de calibração das DCUs para a cidade do Porto não foi alcançada pela elevada escassez de dados e pela indisponibilidade operacional das restantes DCUs dispersas pelo Porto e pelas especificidades de cada uma delas e dos locais onde se encontram. Algo que poderá ser atingido numa futura reformulação e optimização da rede de sensores da cidade e da plataforma tecnológica que a sustenta.

5.2. Recomendações para trabalhos futuros

Futuramente será necessário consolidar os dados apresentados nesta dissertação com mais recolhas de informação para os mesmos locais uma vez que neste caso existem quatro campanhas de recolha de dados para a Casa da Música e apenas uma campanha para a Avenida dos Combatentes e para a Trindade antes das DCUs ficarem indisponíveis.

É indispensável investigar as causas da interrupção da recolha de dados por parte das DCUs e quais as dificuldades técnicas que originam o não funcionamento dos sensores por forma a resolver esta situação.

Caso não seja possível recolher dados de todas as DCU dispersas pelo Porto, com o objectivo de determinar um modelo de calibração para a cidade, torna-se necessário desenvolver um modelo de calibração individual para cada DCU, por localização e por tipo de estímulo a que está sujeita. Será necessário estudar se para períodos de integração mais alargados (30 minutos, ou 1 hora) o erro entre o sonómetro e a DCU diminui ainda mais que o máximo verificado nesta dissertação para 15 minutos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Population Reference Bureau, «2016 World Population Data Sheet», *2015 World Popul. Data Sheet*, p. 23, 2016.
- [2] E. Bent, M. Crowley, e M. Nutter, *Getting Smart About Smart Cities: USDN Resource Guide*. 2014.
- [3] UNEP, «United Nations Environment Program», 1991.
- [4] «Environmental noise affects a large number of Europeans», 2016.
- [5] N. Maisonneuve, M. Stevens, e P. Hanappe, «Citizen Noise Pollution Monitoring», *10th Int. Digit. Gov. Res. Conf.*, pp. 96–103, 2009.
- [6] «FutureCities.UP». [Página na Internet]. Disponível em: <http://futurecities.up.pt/site/>. [Acedido: 01-Fev-2017].
- [7] T. Calçada, «UrbanSense Platform Porto Living Lab UrbanSense platform».
- [8] A. F. dos S. Silva, «Avaliação do Ambiente Sonoro da Cidade do Porto», Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016.
- [9] Ministère de l'Équipement et de L'Aménagement du Territoire, *Le bruit et la ville*, 01–2004.^a ed. 2004.
- [10] P. Ladefoged, «Elements of Acoustic Phonetics», 1962.
- [11] J. a Salvato, N. L. Nemerow, e F. J. Agrady, *Environmental Engineering Fifth Edition*. 2003.
- [12] A. P. Oliveira de Carvalho, *Acústica Ambiental e de Edifícios*, 8.9. 2015.
- [13] T. Pardal, «Consequências da Exposição ao Ruído de Baixa Frequência (RBF)».
- [14] Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, «Environmental Noise», 2001.
- [15] EC; European Comission, «European Comission - Environment - Noise Health Effects». [Página na Internet]. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/noise/health_effects_en.htm. [Acedido: 01-Fev-2017].
- [16] W. H. Organization, «Night Noise Guidelines for Europe», 2009.
- [17] «World Health Organization - Regional Office for Europe». [Página na Internet]. Disponível em: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/noise>. [Acedido: 30-Jan-2017].
- [18] F. M. T. Cruz, «CONTA PÚBLICA DE DESLOCAÇÕES: APLICAÇÃO PRÁTICA», Universidade do Porto, 2016.
- [19] P. Bickel *et al.*, «HEATCO - Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment - Deliverable 5 - Proposal for Harmonised Guidelines», *IER Univ. Stuttgart*, n. February 2005, pp. 1–193, 2005.
- [20] P. Bickel *et al.*, «HEATCO - Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment - Deliverable 6 - Case Study Results», *IER Univ. Stuttgart*, n. January, 2006.
- [21] A. Carvalho e C. Rocha, *Manual técnico para elaboração de planos municipais de redução de ruído*. 2008.
- [22] L. den Boer e A. Schrotten, «Traffic Noise Reduction in Europe», 2007.
- [23] European Commission; Directorate-General for the Environment, «Reclaiming city streets for

- people: Chaos or quality of life», 2004.
- [24] «Understanding Noise Pollution - Causes and Effects of Noise Pollution». [Página na Internet]. Disponível em: <http://www.conserve-energy-future.com/causes-and-effects-of-noise-pollution.php>. [Acedido: 30-Jan-2017].
- [25] A. da República, «Lei de Bases do Ambiente - Decreto Lei n.º 11/87, de 7 de Abril», *Diário da República*, vol. 81, n. 1.ª Série-A. pp. 1386–1397, 1987.
- [26] M. do P. e da A. do Território, «Regulamento Geral do Ruído - Decreto-Lei n.º 251/1987 de 24 de Junho», 1987.
- [27] M. do A. e do O. do Território, «Regime Legal sobre a Poluição Sonora - Decreto-Lei n.º 292/2000 de 14 de Novembro», 2000.
- [28] MAOTDR; Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, «Regulamento Geral do Ruído - Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de Janeiro», *Diário da República*, 1.ª série - N.º 12. INCM, Imprensa Nacional Casa da Moeda, Lisboa, pp. 389–398, 2007.
- [29] E. Commission, «Directiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia relativa à Avaliação e Gestão do Ruído Ambiente», *J. Of. das Comunidades Eur.*, vol. L 189/12, p. 48, 2002.
- [30] União Europeia, «Programa LIFE». [Página na Internet]. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/life/index.htm>. [Acedido: 08-Ago-2017].
- [31] D. M. Murillo-Gómez, J. C. Gil-Carvajal, V. Zapata-Rodríguez, e J. J. Téllez-García, «Assessment of the RLS 90 calculation method for predicting road traffic noise in Colombian conditions», *Rev. Fac. Ing.*, vol. 1, n. 75, pp. 175–188, 2015.
- [32] A. Ripoll e A. Bäckman, «State of the art of noise mapping in Europe», 2005.
- [33] Department of Transport Welsh office, «Calculation of Road Traffic Noise», *Traffic*, 1988.
- [34] E. Salomons, D. Van Maercke, J. Defrance, e F. De Roo, «The Harmonoise sound propagation model», *Acta Acust. united with Acust.*, vol. 97, n. 1, pp. 62–74, 2011.
- [35] B. Peeters e G. v. Blokland, «The noise emission model for European road traffic», *IMAGINE Deliv.*, pp. 6–12, 2007.
- [36] S. (AEA T. R. B. Janssen, «Improved Methods for the Assessment of the Generic Impact of Noise in the Environment IMAGINE – State of the Art», Holanda, 2004.
- [37] P. W. Wessels e T. G. H. Basten, «Design aspects of acoustic sensor networks for environmental noise monitoring», *Appl. Acoust.*, vol. 110, pp. 227–234, 2016.
- [38] C. Brescianini, «NADIA - Final Report», 2014.
- [39] MONICA, «MONICA - European Project». [Página na Internet]. Disponível em: <http://www.monica-project.eu/>. [Acedido: 20-Ago-2017].
- [40] F. Carol Bell, Margaret; Galatioto, «Novel wireless pervasive sensor network to improve the understanding of noise in street canyonstle», *Appl. Acoust.*, vol. 74, pp. 169–180, 2013.
- [41] Citi-Sense-Mob, «Citi-Sense-Mob». [Página na Internet]. Disponível em: <http://cwi.unik.no/wiki/CSM:Home>. [Acedido: 17-Ago-2017].
- [42] Bruitparif, «Bilan D ' Activité», 2016.
- [43] Bruitparif, «Dispositif de suivi de l ' environnement sonore suite à la fermeture de la voie sur berge rive droite à Paris - Résultats de la période hivernale novembre 2016 à janvier 2017 Sommaire», 2017.

- [44] R. Benocci, A. Bisceglie, E. Roman, M. Smiraglia, e G. Zambon, «LIFE – DYNAMAP Dynamic Acoustic Mapping – Development of low cost sensors networks for real time noise mapping - Sizing the monitoring network - Technical Report», 2016.
- [45] P. Bellucci, L. Peruzzi, G. Brambilla, G. Zambon, e A. Bisceglie, «Implementing the HARMONICA index in the DYNAMAP Project», 2017.
- [46] EVERYAWARE, «EVEREYAWARE | WideNoise». [Página na Internet]. Disponível em: <http://cs.everyaware.eu/event/widenoise/>. [Acedido: 24-Ago-2017].
- [47] «SoundoftheCity Project». [Página na Internet]. Disponível em: <http://citysound.itm.uni-luebeck.de/>. [Acedido: 24-Ago-2017].
- [48] H. Lu, W. Pan, N. Lane, T. Choudhury, e A. Campbell, «SoundSense: scalable sound sensing for people-centric applications on mobile phones», *Proc. 7th Int. Conf. Mob. Syst. Appl. Serv.*, pp. 165–178, 2009.
- [49] E. Kanjo, «NoiseSPY: A real-time mobile phone platform for urban noise monitoring and mapping», *Mob. Networks Appl.*, vol. 15, n. 4, pp. 562–574, 2010.
- [50] NoiseTube, «NoiseTube». [Página na Internet]. Disponível em: <http://www.noisetube.net/index.html#&panel1-1>. [Acedido: 24-Ago-2017].
- [51] NoiseMap, «NoiseMap». [Página na Internet]. Disponível em: <http://www.noisemap.ltd.uk/wpress/>. [Acedido: 24-Ago-2017].
- [52] M. Wisniewski, G. Demartini, A. Malatras, e P. Cudré-Mauroux, «NoizCrowd : A Crowd-Based Data Gathering», pp. 172–186, 2013.
- [53] R. K. Rana, C. T. Chou, S. S. Kanhere, N. Bulusu, e W. Hu, «Ear-Phone : An End-to-End Participatory Urban Noise Mapping System», *Proc. Int. Conf. Inf. Process. Sens. Networks IPSN*, pp. 105–116, 2010.
- [54] European Environmental Agency, «NoiseWatch». [Página na Internet]. Disponível em: <http://discomap.eea.europa.eu/map/NoiseWatch/>.
- [55] Citi-Sense, «Projecto Citi-Sense». [Página na Internet]. Disponível em: <http://www.citi-sense.eu/>. [Acedido: 17-Ago-2017].
- [56] UrbanCivics, «UrbanCivics». [Página na Internet]. Disponível em: <http://urbancivics.com/>. [Acedido: 24-Ago-2017].
- [57] Ambiciti, «Ambiciti». [Página na Internet]. Disponível em: <http://ambiciti.io/>. [Acedido: 24-Ago-2017].
- [58] F. Mietlicki, B. Vincent, P. Gaudibert, e E. Piotrgaudibertbruitpariffr, «HARMONICA project - General objectives», *Aia-Daga*, pp. 86–89, 2013.
- [59] F. Mietlicki, «How to improve information on noise and operational management in European cities ? METHODOLOGICAL GUIDE Use of tools developed in the Life Harmonica project».
- [60] Bruitparif, «Harmonica - Rapport Simplifié».
- [61] Bartalucci et.al, «Proposal of a Harmonized Method for Selection / Analysis / Management of Quiet Urban Areas and Applicative Tools».
- [62] Bartalucci et.al, «GUIDELINES FOR THE IDENTIFICATION, SELECTION, ANALYSIS AND MANAGEMENT OF QUIET URBAN AREAS. QUADMAP Project», n. March, pp. 0–47, 2015.
- [63] M. Carfagni, «FINAL Report Reporting Date QUIet Areas Definition and Management in Action Plans», pp. 1–66, 2015.

- [64] S. Kephelopoulos, M. Paviotti, e F. Anfosso-Lédée, *Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU)*. 2012.
- [65] P. Cicoira, F. Gerola, M. Clementel, e P. Scaramuzza, «Noise mapping of agglomerations : a comparison of interim standards vs new CNOSSOS-EU method in a real case study», pp. 1356–1366, 2016.
- [66] Y. Luis, P. M. Santos, T. Lourenço, C. Pérez-Penichet, T. Calçada, e A. Aguiar, «UrbanSense: An urban-scale sensing platform for the Internet of Things», *IEEE 2nd Int. Smart Cities Conf. Improv. Citizens Qual. Life, ISC2 2016 - Proc.*, 2016.
- [67] «SenseMyCity - Future Cities». [Página na Internet]. Disponível em: <http://futurecities.up.pt/site/crowdsensor-sensemymcity-prototype-and-testbed/>. [Acedido: 01-Fev-2017].
- [68] C. Rocha e S. Sousa, «Semana da Reabilitação Urbana 2016 - UrbanSense: Monitorização para a Qualidade de Vida», 2016. [Página na Internet]. Disponível em: https://www.slideshare.net/Cecilia_Rocha/sru-2016-urbansense-monitorizacao-para-a-qualidade-de-vida?trk=v-feed. [Acedido: 05-Out-2017].
- [69] C. Rocha e A. F. Silva, «Evaluation of the environmental sound in the city of Porto», Porto, 2017.
- [70] AGERE - Empresa de Águas Efluentes e Resíduos de Braga EM, «SMARBraga - Sistema de monitorização de ar e ruído». [Página na Internet]. Disponível em: <http://www.smarbraga.com/SMARProjecto.aspx>. [Acedido: 03-Set-2017].
- [71] MRA Instrumentação, «Sistema Móvel de Monitorização de Ruído Ambiental e Medição de Partículas do Ar - Vila Real». [Página na Internet]. Disponível em: <http://www.mra.pt/industria/actualidade/sistema-movel-de-monitorizacao-de-ruído-ambiental-e-medicao-de-particulas-do-ar/>. [Acedido: 03-Set-2017].
- [72] MRA Instrumentação, «Sistema de Monitorização de Ruído Ambiente no Município de Matosinhos». [Página na Internet]. Disponível em: <http://www.mra.pt/industria/actualidade/sistema-de-monitorizacao-de-ruído-ambiente-no-municipio-de-matosinhos/>. [Acedido: 03-Set-2017].
- [73] Câmara Municipal de Matosinhos, «Sistema de Monitorização de Ruído Ambiente - Câmara Municipal de Matosinhos». [Página na Internet]. Disponível em: http://sig.cm-matosinhos.pt/sgam/index.php?option=com_content&view=article&id=94&Itemid=242#. [Acedido: 03-Set-2017].
- [74] UrbanSense, «UrbanSense - Adopt an Environmental Sensor», Porto, 2016.
- [75] A. Can, G. Guillaume, e J. Picaut, «Cross-calibration of participatory sensor networks for environmental noise mapping», *Appl. Acoust.*, vol. 110, pp. 99–109, 2016.

ANEXOS

A 1 – Cálculos aritméticos para a Avenida dos Combatentes a 31 de Maio de 2017

Período	Sonómetro (L_{Aeq} , dB)	DCU (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	66,4	50,6	15,7	15,9	66,5	-0,1
5 minutos	66,4	50,7	15,7	15,8	66,5	-0,1
10 minutos	66,4	50,7	15,7	15,8	66,5	-0,1
15 minutos	-	-	-	-	-	-
Média	66,4	50,7	15,7	15,8	66,5	-0,1

A 2 – Cálculos logarítmicos para a Avenida dos Combatentes a 31 de Maio de 2017

Período	Sonómetro (L_{Aeq} , dB)	DCU (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	68,5	52,2	16,3	17,9	70,1	-1,5
5 minutos	68,5	52,3	16,2	16,9	69,2	-0,7
10 minutos	68,5	52,4	16,2	16,7	69,1	-0,5
15 minutos	68,5	52,3	16,2	16,7	69,0	-0,4
Média	68,5	52,3	16,2	17,1	69,4	-0,8

A 3 – Diferença entre os dados logarítmicos e os dados aritméticos para a Avenida dos Combatentes a 31 de Maio de 2017

Período	Sonómetro (L_{Aeq} , dB)	DCU (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	2,2	1,6	0,6	2,0	3,6	-1,4
5 minutos	2,2	1,7	0,5	1,1	2,7	-0,6
10 minutos	2,1	1,7	0,4	0,9	2,6	-0,4
15 minutos	-	-	-	-	-	-
Média	2,2	1,6	0,5	1,2	2,8	-0,7

A 4 – Cálculos aritméticos para a Trindade a 1 de Junho de 2017

Período	Sonómetro (L_{Aeq} , dB)	DCU (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	70,8	69,5	1,4	1,4	70,8	0,0
5 minutos	70,9	69,6	1,4	1,4	70,9	0,0
10 minutos	71,0	69,6	1,4	1,4	71,0	0,0
15 minutos	70,8	69,5	1,3	1,3	70,8	0,0
Média	70,9	69,5	1,4	1,4	70,9	0,0

A 5 – Cálculos logarítmicos para a Trindade a 1 de Junho de 2017

Período	Sonómetro (L_{Aeq} , dB)	DCU (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	76,9	74,5	2,4	1,5	76,0	0,9
5 minutos	76,9	74,5	2,4	1,7	76,2	0,7
10 minutos	76,9	74,5	2,4	1,9	76,4	0,5
15 minutos	76,9	74,5	2,4	2,1	76,6	0,4
Média	76,9	74,5	2,4	1,8	76,3	0,6

A 6 – Diferença entre os dados logarítmicos e os dados aritméticos para a Trindade a 1 de Junho de 2017

Período	Sonómetro (L_{Aeq} , dB)	DCU (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	6,1	5,0	1,1	0,2	5,2	0,9
5 minutos	6,0	4,9	1,1	0,4	5,3	0,7
10 minutos	5,9	4,9	1,1	0,5	5,4	0,5
15 minutos	6,1	5,0	1,1	0,7	5,7	0,4
Média	6,0	5,0	1,1	0,5	5,4	0,6

A 7 – Cálculos aritméticos para a Casa da Música a 1 de Junho de 2017

Período	Sonómetro (L _{Aeq} , dB)	DCU (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	70,8	69,5	1,4	1,4	70,8	0,0
5 minutos	70,9	69,6	1,4	1,4	70,9	0,0
10 minutos	71,0	69,6	1,4	1,4	71,0	0,0
15 minutos	70,8	69,5	1,3	1,3	70,8	0,0
Média	70,9	69,5	1,4	1,4	70,9	0,0

A 8 – Cálculos logarítmicos para a Casa da Música a 1 de Junho de 2017

Período	Sonómetro (L _{Aeq} , dB)	DCU (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	76,9	74,5	2,4	1,5	76,0	0,9
5 minutos	76,9	74,5	2,4	1,7	76,2	0,7
10 minutos	76,9	74,5	2,4	1,9	76,4	0,5
15 minutos	76,9	74,5	2,4	2,1	76,6	0,4
Média	76,9	74,5	2,4	1,8	76,3	0,6

A 9 – Diferença entre os dados logarítmicos e os dados aritméticos para a Casa da Música a 1 de Junho de 2017

Período	Sonómetro (L _{Aeq} , dB)	DCU (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	6,1	5,0	1,1	0,2	5,2	0,9
5 minutos	6,0	4,9	1,1	0,4	5,3	0,7
10 minutos	5,9	4,9	1,1	0,5	5,4	0,5
15 minutos	6,1	5,0	1,1	0,7	5,7	0,4
Média	6,0	5,0	1,1	0,5	5,4	0,6

A 10 – Cálculos aritméticos para a Casa da Música a 2 de Agosto de 2017

Período	Sonómetro (L _{Aeq} , dB)	DCU (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	67,7	78,6	-10,9	-10,9	67,7	0,0
5 minutos	67,7	78,6	-10,9	-10,9	67,7	0,0
10 minutos	67,7	78,5	-10,9	-10,9	67,7	0,0
15 minutos	67,7	78,6	-10,9	-10,9	67,7	0,0
Média	67,7	78,6	-10,9	-10,9	67,7	0,0

A 11 – Cálculos logarítmicos para a Casa da Música a 2 de Agosto de 2017

Período	Sonómetro (L _{Aeq} , dB)	DCU (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	74,5	79,9	-5,4	-7,6	72,2	2,2
5 minutos	74,5	79,9	-5,4	-7,3	72,5	2,0
10 minutos	74,5	79,9	-5,4	-6,9	72,9	1,6
15 minutos	74,5	79,9	-5,4	-7,0	72,9	1,6
Média	74,5	79,9	-5,4	-7,2	72,6	1,9

A 12 – Diferença entre os dados logarítmicos e os dados aritméticos para a Casa da Música a 2 de Agosto de 2017

Período	Sonómetro (L _{Aeq} , dB)	DCU (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	6,8	1,3	5,5	3,2	4,6	2,2
5 minutos	6,8	1,3	5,5	3,5	4,8	2,0
10 minutos	6,8	1,3	5,5	3,9	5,2	1,6
15 minutos	6,8	1,3	5,5	3,9	5,2	1,6
Média	6,8	1,3	5,5	3,6	5,0	1,9

A 13 – Cálculos aritméticos para a Casa da Música a 3 de Agosto de 2017

Período	Sonómetro (L _{Aeq} , dB)	DCU (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	66,9	85,5	-18,6	-18,6	67,3	-0,3
5 minutos	66,9	85,5	-18,6	-18,6	66,9	0,0
10 minutos	66,9	85,5	-18,6	-18,6	66,9	0,0
15 minutos	66,9	85,5	-18,6	-18,6	66,9	0,0
Média	66,9	85,5	-18,6	-18,6	67,0	-0,1

A 14 – Cálculos logarítmicos para a Casa da Música a 3 de Agosto de 2017

Período	Sonómetro (L _{Aeq} , dB)	DCU (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	73,0	85,6	-12,7	-15,3	70,4	2,6
5 minutos	73,0	85,6	-12,6	-13,5	72,1	0,9
10 minutos	73,1	85,6	-12,5	-12,9	72,7	0,5
15 minutos	73,1	85,6	-12,5	-12,8	72,8	0,3
Média	73,1	85,6	-12,6	-13,5	72,1	1,2

A 15 – Diferença entre os dados logarítmicos e os dados aritméticos para a Casa da Música a 3 de Agosto de 2017

Período	Sonómetro (L _{Aeq} , dB)	DCU (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L _{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	6,1	0,1	6,0	3,3	3,1	2,9
5 minutos	6,1	0,1	6,0	5,1	5,2	0,9
10 minutos	6,2	0,1	6,1	5,7	5,7	0,5
15 minutos	6,2	0,1	6,1	5,8	5,9	0,3
Média	6,1	0,1	6,0	5,1	5,1	1,3

A 16 – Cálculos aritméticos para a Casa da Música a 4 de Agosto de 2017

Período	Sonómetro (L_{Aeq} , dB)	DCU (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	67,4	83,6	-16,2	-16,2	69,7	-2,4
5 minutos	67,4	83,6	-16,2	-16,2	69,4	-2,1
10 minutos	67,3	83,6	-16,3	-16,3	69,4	-2,0
15 minutos	67,4	83,6	-16,2	-16,2	69,1	-1,8
Média	67,4	83,6	-16,2	-16,2	69,4	-2,1

A 17 – Cálculos logarítmicos para a Casa da Música a 4 de Agosto de 2017

Período	Sonómetro (L_{Aeq} , dB)	DCU (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	74,3	84,9	-10,5	-11,7	71,0	3,3
5 minutos	74,3	85,6	-11,3	-11,4	73,5	0,8
10 minutos	74,3	84,9	-10,6	-11,1	73,8	0,5
15 minutos	74,3	84,9	-10,6	-11,0	73,9	0,4
Média	74,3	85,1	-10,7	-11,3	73,2	1,4

A 18 – Diferença entre os dados logarítmicos e os dados aritméticos para a Casa da Música a 4 de Agosto de 2017

Período	Sonómetro (L_{Aeq} , dB)	DCU (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU	Constante de correcção	DCU Corrigida (L_{Aeq} , dB)	Δ Sonómetro - DCU corrigida
1 minuto	7,0	1,3	5,7	4,5	1,3	5,7
5 minutos	6,9	2,0	4,9	4,9	4,1	2,8
10 minutos	7,0	1,3	5,7	5,2	4,4	2,5
15 minutos	6,9	1,3	5,7	5,2	4,8	2,2
Média	7,0	1,5	5,5	5,0	3,8	3,5

A 19 – Cálculos para a elaboração do modelo de calibração para a Casa da Música tendo em conta os quatro dias de medição (1 de Junho e 2, 3 e 4 de Agosto de 2017); Os dados a vermelho são os valores que integram o modelo de calibração para a Casa da Música para os diferentes períodos de reporte;

Período	Cálculos realizados pela fórmula logarítmica						Cálculos realizados pela fórmula aritmética					
	1 de Junho	2 de Agosto	3 de Agosto	4 de Agosto			1 de Junho	2 de Agosto	3 de Agosto	4 de Agosto		
1 minuto												
ΔL_{Aeq} = Sonómetro-DCU (sem correcção)	-1,8	-5,4	-12,7	-10,5			-1,8	-5,4	-12,7	-10,5		
ΔL_{Aeq} = Sonómetro-DCU (com correcção)	-0,4	2,2	2,6	1,2	Constante		1,7	3,8	4,2	3,8	Constante	
Diferença entre o sonómetro e DCU_**	4,3	0,7	-6,6	-4,5	-6,1	"log."	6,3	2,7	-4,6	-2,5	-8,1	"log."
Diferença entre o sonómetro e DCU_***	7,2	3,6	-3,6	-1,5	-9,0	"arit."	9,2	5,6	-1,7	0,4	-11,0	"arit."
5 minutos												
ΔL_{Aeq} = Sonómetro-DCU (sem correcção)	-1,9	-5,4	-12,6	-10,6			-1,9	-5,4	-12,6	-10,6		
ΔL_{Aeq} = Sonómetro-DCU (com correcção)	-0,3	2,0	0,9	0,8	Constante		1,4	3,0	3,5	3,0	Constante	
Diferença entre o sonómetro e DCU_**	4,1	0,6	-6,6	-4,6	-6,0	"média log."	5,8	2,3	-5,0	-2,9	-7,6	"média log."
Diferença entre o sonómetro e DCU_***	6,6	3,1	-4,2	-2,1	-8,4	"média arit."	8,5	5,0	-2,3	-0,2	-10,3	"média arit."
10 minutos												
ΔL_{Aeq} = Sonómetro-DCU (sem correcção)	-1,8	-5,4	-12,5	-10,6			-1,8	-5,4	-12,5	-10,6		
ΔL_{Aeq} = Sonómetro-DCU (com correcção)	-0,3	1,6	0,5	0,5	Constante		1,0	2,5	3,2	2,6	Constante	
Diferença entre o sonómetro e DCU_**	4,1	0,5	-6,6	-4,7	-5,9	"média log."	5,4	1,8	-5,3	-3,4	-7,2	"média log."
Diferença entre o sonómetro e DCU_***	6,3	2,7	-4,3	-2,4	-8,1	"média arit."	8,0	4,5	-2,6	-0,7	-9,9	"média arit."
15 minutos												
ΔL_{Aeq} = Sonómetro-DCU (sem correcção)	-1,8	-5,4	-12,5	-10,6			-1,8	-5,4	-12,5	-10,6		
ΔL_{Aeq} = Sonómetro-DCU (com correcção)	-0,2	1,6	0,3	0,4	Constante		0,9	2,7	2,8	2,2	Constante	
Diferença entre o sonómetro e DCU_**	4,1	0,5	-6,6	-4,6	-5,9	"média log."	5,3	1,7	-5,4	-3,5	-7,1	"média log."
Diferença entre o sonómetro e DCU_***	6,3	2,7	-4,4	-2,5	-8,1	"média arit."	7,9	4,3	-2,8	-0,8	-9,7	"média arit."

