

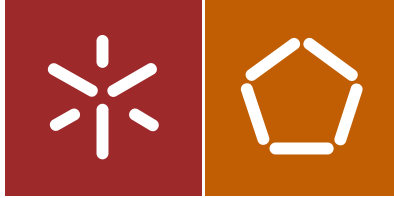


Alda Filipa Ribalonga Magalhães

Ruído de Baixa Frequência proveniente da
Indústria e o Impacte na Qualidade de Vida
da População Exposta

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Alda Filipa Ribalonga Magalhães

Ruído de Baixa Frequência proveniente da
Indústria e o Impacte na Qualidade de Vida
da População Exposta

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professora Doutora Lígia Marques de Oliveira Torres
Silva
Professor Doutor Fernando Pereira da Fonseca

DECLARAÇÃO

Nome: Alda Filipa Ribalonga Magalhães

Endereço eletrónico: aldafrmagalhaes@gmail.com

Telefone: 929127554

Bilhete de Identidade/Cartão do Cidadão: 14163133

Título da dissertação: Ruído de Baixa Frequência proveniente da Indústria e o Impacte na Qualidade de Vida da População Exposta

Orientadores:

Professora Doutora Lígia Marques de Oliveira Torres Silva

Professor Doutor Fernando Pereira da Fonseca

Ano de conclusão: 2017

Mestrado integrado em Engenharia Civil

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE.

Universidade do Minho, ____/____/____

Assinatura: 

Agradecimentos

A conclusão da presente dissertação representa o fim de mais uma etapa da minha vida, que foi atingida graças à contribuição de todas as pessoas que fazem parte dela. A todos os que direta ou indiretamente contribuíram para que esta etapa fosse possível de alcançar, apresento o meu maior agradecimento.

Agradeço aos meus pais, à minha família e a todos os meus amigos por todo o apoio dado, pela força, pela paciência e, acima de tudo, pelo incentivo que sempre me deram durante todo este percurso. A todos os meus amigos chegados, em especial ao João Mário, pela motivação e por toda a ajuda ao longo deste trabalho.

Agradeço à Professora Doutora Lígia Silva pela partilha de conhecimento das temáticas abordadas, compreensão, orientação e apoio, no decorrer da realização da presente dissertação. Ao Professor Doutor Fernando Fonseca, apresento, também, o meu agradecimento, pela ajuda, disponibilidade e orientação, em todas as etapas da dissertação.

A todos os meus colegas de curso com quem tive a oportunidade de me cruzar e que me acompanharam nesta longa e ótima caminhada vivida na Universidade do Minho.

Resumo

A presente dissertação tem como principal objetivo a avaliação da incomodidade causada pelo ruído de baixas frequência de origem industrial, na população que habita na proximidade de duas áreas de acolhimento empresarial em Pevidém e Ponte, concelho de Guimarães. Para isso, foram realizadas medições *in situ* dos níveis sonoros em três pontos em cada uma dessas áreas. A metodologia utilizada na avaliação do ruído consistiu nos seguintes pontos: i) comparação dos níveis sonoros com a curva de critério DEFRA; ii) cálculo da avaliação da flutuabilidade $L_{10}-L_{90}$; iii) cálculo da diferença entre dB(C) e dB(A); e iv) avaliação das características tonais do ruído de forma a perceber se o ruído pode ser ainda mais incomodativo. Para complementar a avaliação anterior realizaram-se inquéritos aos residentes nas imediações desses locais (recetores sensíveis).

Com base na abordagem i) e ii) concluiu-se que todos os pontos apresentam níveis sonoros elevados registados, principalmente, nas faixas de frequência de 31,5 Hz a 160 Hz, sendo todos eles audíveis na maior parte do tempo (características flutuantes). Verificou-se que o Ponto 1 é o mais incomodativo, por apresentar, ainda, características tonais. Estes valores devem-se ao tipo de fonte industrial, aos equipamentos contidos nas fábricas e à envolvente das mesmas. Verificou-se ainda que na avaliação de ruído ambiental, o isolamento da fonte torna-se uma tarefa difícil, podendo influenciar os resultados; iii) todos os pontos se apresentaram abaixo do limite de incomodidade, o que permite concluir, pelos dados analisados, que este método é inadequado, já que os níveis dB(A), são mais baixos que os reais, diminuindo o incómodo causado.

Da segunda abordagem conclui-se que os Pontos 1, 5 e 6 são os mais incomodativos tanto pelo tipo da fonte sonora (tipo de indústria), como pela proximidade dos recetores sensíveis (os residentes) à fonte. A realização dos inquéritos veio corroborar o que foi investigado na primeira abordagem, ou seja, os inquiridos confirmaram que sentem incomodidade com o ruído proveniente das indústrias.

Conclui-se ainda que a utilização de filtro de ponderação A subestima as baixas frequências. Finalmente, considera-se que em termos de planeamento futuro, o acautelamento da conflitualidade de usos pode em muito mitigar este problema.

Palavras-Chave: Ruído de Baixa Frequência, Ruído Industrial, Incómodo, Efeitos não-auditivos, Ruído Ambiental.

Abstract

The main objective of the present investigation was the assessment of the annoyance caused by industrial low frequency noise on the residents living in the surroundings of two industrial parks located in Pevidém and Ponte, in the municipality of Guimarães. For that purpose, measurements of the sound levels were carried out at three points in each area. The methodology used to assess the low frequency noise was as follows: i) comparison of the sound levels recorded with the DEFRA criterion curve; ii) calculation of the difference $L_{10}-L_{90}$; iii) calculation of the difference between dB(C) and dB(A); and iv) evaluation of the tonal characteristics of noise in order to see if the noise can be even more annoying. In addition, the previous assessment was complemented with surveys carried out to the residents living at these points.

Based on the analysis of the first approach, it was verified that all the points have recorded sound levels, mainly in the frequency bands from 31.5 Hz to 160 Hz, all of them being audible most of the time (floating characteristics). Point 1 is the most troublesome, because it also presents tonal characteristics. These values are justified by the type of industrial source, by the equipment used and by the characteristics of the surrounding areas. It was concluded that in the evaluation of environmental noise, the isolation of the source becomes a difficult task and could influence the results. By using the approach dB(C)-dB(A) results indicated that all points were below the limit of annoyance. However and since dB (A) levels are lower than the discomfort caused, it was concluded that this approach is not suitable to analyse this type of annoyance.

By using the second approach it is concluded that Points 1, 5 and 6 are the most annoying due to the type of sound source (type of industry) and also to the proximity to the source. The surveys carried out at the measurements points showed that residents are annoyed with the noise produced in the neighbour industries, corroborating the measurements recorded.

It was also concluded that the use of A-weighting filter underestimates the low frequencies. Finally, this problem can be mitigated in the future by implementing suitable planning policies that avoid incompatible land uses.

Keywords: Low Frequency Noise; Industrial Noise; Annoyance; Non-auditive effects, Environmental Noise.

Índice Geral

DECLARAÇÃO	iii
Agradecimentos	v
Resumo	vii
Abstract	ix
Índice Geral.....	xi
Índice de Figuras.....	XIV
Índice de Tabelas	XX
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	XXIII
Capítulo I - Introdução.....	25
1. Enquadramento.....	25
1.1 Objetivos e Metodologia do Estudo Realizado	27
1.2 Organização da Dissertação	27
Capítulo II - Ruído de Baixa Frequência associado aos vários tipos de Indústria.....	30
2. Estado da Arte	30
2.1 Evolução da localização industrial: planeamento urbano e tipologias.....	30
2.2 Ruído Ambiental proveniente do conflito de usos do solo	36
2.3 Som e Ruído: definição e características	39
2.4 Ruído de Baixa Frequência (RBF): características, propagação e proveniência	49
2.5 Ruído Industrial de Baixa Frequência.....	57
2.6 Métodos de avaliação de incómodo causado pela exposição a RBF	61
2.7 Problemas de saúde provenientes do Ruído Industrial e do RBF	72
2.8 Enquadramento da Legislação Portuguesa do Ruído Ambiental.....	74
Capítulo III - Avaliação da incomodidade do ruído industrial de baixa frequência.....	79
3. Abordagem Objetiva: Avaliação do ambiente acústico	79
3.1 Seleção das áreas em estudo no Município de Guimarães.....	79
3.2 Seleção das áreas em estudo	85
3.3 Caracterização das duas áreas em estudo.....	89
3.4 Localização dos pontos de avaliação escolhidos	91
3.5 Medições de Ruído Ambiente: medição dos níveis sonoros.....	93

3.6	Abordagem Subjetiva: Inquéritos à População	115
3.7	Dados obtidos nas medições sonoras (abordagem objetiva)	116
3.8	Comparação dos dados obtidos com curva de referência DEFRA.....	121
3.9	Avaliação da componente tonal do ruído dos dados obtidos – aplicação do critério de incomodidade	134
3.10	Diferença entre os valores de $L_{eq}(dB(C) - dB(A))$	149
3.11	Comparação dos resultados obtidos com estudo de referência	156
3.12	Dados obtidos na abordagem subjetiva: inquérito à população residente	164
Capítulo IV - Síntese dos Resultados: Avaliação da incomodidade do ruído.....		170
4.	Abordagens utilizadas na avaliação da incomodidade do RBF	170
4.1	Abordagem Objetiva.....	170
4.2	Abordagem Subjetiva	173
Capítulo V - Conclusões Finais e Perspetivas Futuras.....		175
Referências Bibliográficas		177
ANEXO I – Inquérito		185

Índice de Figuras

Figura 1 - Representação das gamas de frequência: infrassons, audíveis e ultrassons ...	40
Figura 2 - Variação da pressão produzida por uma fonte sonora, som ou ruído.....	41
Figura 3 - Representação do “Limiar Audível” e do “Limiar da Dor” em Pascal (<i>Pa</i>) e a sua conversão para decibel (<i>dB</i>).....	42
Figura 4 - Curvas de igual audibilidade ou curvas de Fletcher-Munson (onde: 1 <i>phon</i> é a unidade de nível sonoro; “ <i>Sound pressure level</i> ” é o nível de pressão sonora; “ <i>Loudness Level</i> ” é a intensidade sonora; “ <i>Threshold of audibility</i> ” é o limiar da audição).....	45
Figura 5 - Curvas de Ponderação de frequências A, B, C e D	46
Figura 6 - Espectro de frequências do som e a sua nomenclatura, demonstrando a incerteza na definição dos limites do RBF	49
Figura 7 - Limites auditivos de três pessoas muito sensíveis.....	50
Figura 8 - Exposição ao ruído do passageiro nos veículos de transporte rodoviário em função da frequência	53
Figura 9 - Comparação entre a distribuição de frequências obtida no <i>cockpit</i> de uma aeronave comercial (<i>Airbus-340</i> , em voo cruzeiro, acima dos 30 mil pés) (barras negras) com uma obtida num veículo ligeiro (“ <i>car</i> ”) (<i>Fiat Punto</i>), viajando a 120 km/h, isolado numa autoestrada (às 03:00h), com janelas fechadas e rádio desligado (barras brancas)	54
Figura 10 - Comunidade exposta ao ruído gerado pelas turbinas eólicas em função da frequência.....	54
Figura 11 - Ruído da turbina eólica (azul) e ruído de fundo (vermelho) a 65m de distância, num dia ventoso, cuja velocidade é aproximadamente de 15m / s	55
Figura 12 - a) Níveis de ruído ambiente (dB) em função da frequência, Sydney; b) Níveis de intensidade sonora equivalente (dB) em função da frequência, comparando a distribuição de frequência na gama de infrassons das duas Famílias (valores de L_{eq} em dB).....	56
Figura 13 - Distribuição da frequência relativamente ao ruído proveniente de um alto-forno (linha contínua) e de bombas hidráulicas (linha descontínua)	58
Figura 14 - Espectro de ruído ambiental segundo três ramos de atividade económica, no Brasil	59
Figura 15 - Diagrama da intensidade e frequência do ruído gravado no local de trabalho da indústria têxtil.....	60

Figura 16 - Diagrama da intensidade e frequência do <i>cockpit</i> versus fábrica têxtil	61
Figura 17 - Curva de ponderação G	68
Figura 18 - Curvas de referência utilizadas para avaliação da incomodidade devida à exposição ao ruído ambiental de baixa frequência	71
Figura 19 – Representação dos municípios da sub-região NUTS III Ave.....	80
Figura 20 - Número de empresas e sociedades por atividade económica: a) em 2011 e b) em 2015.....	84
Figura 21 - Potenciais pontos de conflito de RBF em áreas residenciais na AAE de São João da Ponte	86
Figura 22 - Potenciais pontos de conflito de RBF em áreas residenciais na AAE de Monte Largo, em Azurém	87
Figura 23 - Potenciais pontos de conflito de RBF em áreas residenciais na AAE de Ronfe	87
Figura 24 - Potenciais pontos de conflito de RBF em áreas residenciais na AAE de São Jorge de Selho, em Pevidém	88
Figura 25 - Localização das freguesias de São João de Ponte e Selho São Jorge no município de Guimarães	90
Figura 26 - Identificação dos três locais (assinalados a verde) de avaliação, Parque Industrial de São João Ponte.....	92
Figura 27 - Identificação dos três locais (assinalados a verde) de avaliação, Parque Industrial de São Jorge de Selho (Pevidém)	92
Figura 28 – Sonómetro Classe 1: <i>01 dB Cube</i>	94
Figura 29 – Tratamento preliminar dos dados obtidos nas medições <i>Software</i> no <i>dBTrait</i>	96
Figura 30 - Representação dos pontos 1, 2 e 3 relativamente aos recetores sensíveis e a identificação das indústrias (fontes de ruído)	97
Figura 31 - Representação dos pontos 4, 5 e 6 relativamente aos recetores sensíveis e a identificação das indústrias (fontes de ruído)	97
Figura 32 – Localização do Ponto 1: sonómetro instalado junto à habitação com número de polícia 696.....	98
Figura 33 - Localização do Ponto 1: sonómetro instalado junto à indústria.....	98
Figura 34 – Localização do ponto 2: sonómetro instalado junto à habitação com número de polícia 193.....	100
Figura 35 - Localização do ponto 2: sonómetro instalado junto à indústria.....	100

Figura 36 - Localização do ponto 3: sonómetro instalado junto às habitações com os números de polícia 155B e 155A	102
Figura 37 - Localização do ponto 3: sonómetro instalado junto à indústria	102
Figura 38 - Localização do Ponto 4: a) sonómetro instalado junto à habitação com o número de polícia 1185; b) essa habitação na perspetiva da fábrica	104
Figura 39 - Localização do Ponto 4: a) com sonómetro instalado junto à indústria; b) parte de trás da fábrica	104
Figura 40 - Localização do ponto 5: a) junto à habitação e b) junto à indústria	106
Figura 41 – Informação sobre a localização da indústria <i>Lameirinho</i> (composta por vários pavilhões) relativamente ao ponto de medição	106
Figura 42 - Localização do Ponto 6: a) junto à habitação com o número de polícia 124 e b) junto à indústria.....	108
Figura 43 – Representação dos silos na parte de trás da fábrica	108
Figura 44 – Representação da central elétrica: a) na vizinhança da fábrica e da habitação; b) informação sobre a subestentação da <i>Lameirinho</i> , proveniente da EDP	109
Figura 45 - História espectral do tempo no Ponto 1 para todo o tempo de medição	111
Figura 46 - Representação gráfica dos valores dos níveis de pressão sonora equivalentes $L_{eq}(dB)$ obtidos no Ponto 1.....	113
Figura 47 - Representação gráfica do valor dos níveis de pressão sonora equivalentes $L_{eq}(dB)$ para o Ponto 1.....	114
Figura 48 - Representação dos níveis sonoros equivalentes, em dB, em função da banda de frequências de 1/3 de oitava, no intervalo de 6,3 Hz até 500 Hz, das duas medições do Ponto 1.....	117
Figura 49 - Representação dos níveis sonoros equivalentes, em dB, em função da banda de frequências de 1/3 de oitava, no intervalo de 6,3 Hz até 500 Hz, das duas medições do Ponto 2.....	118
Figura 50 - Representação dos níveis sonoros equivalentes, em dB, em função da banda de frequências de 1/3 de oitava, no intervalo de 6,3 Hz até 500 Hz, das duas medições do Ponto 3.....	118
Figura 51 - Representação dos níveis sonoros equivalentes, em dB, em função da banda de frequências de 1/3 de oitava, no intervalo de 6,3 Hz até 500 Hz, das duas medições do Ponto 4.....	119
Figura 52 - Representação dos níveis sonoros equivalentes, em dB, em função da banda de frequências de 1/3 de oitava, no intervalo de 6,3 Hz até 500 Hz, das duas medições do Ponto 5.....	120

Figura 53 - Representação dos níveis sonoros equivalentes, em dB, em função da banda de frequências de 1/3 de oitava, no intervalo de 6,3 Hz até 500 Hz, das duas medições do Ponto 6.....	121
Figura 54 - Representação dos valores dos níveis sonoros equivalentes em dB em função da banda de frequências de 1/3 de oitava referentes à curva critério de <i>Saldford</i> , DEFRA (2005, 2011).....	121
Figura 55 - Comparação das medições obtidas no Ponto 1 com os valores de referência do DEFRA (2005, 2011).....	122
Figura 56 - Características de fluutuabilidade: $L_{10}-L_{90}$ para as bandas de frequência de 1/3 oitava excedidas em P1(1).....	123
Figura 57 - Comparação das medições obtidas no Ponto 2 com os valores de referência do DEFRA (2005, 2011).....	124
Figura 58 – Características de fluutuabilidade $L_{10}-L_{90}$ para as bandas de frequência de 1/3 oitava excedidas em: P2(1) - Figura 58a; e em P2(2) - Figura 58b.....	125
Figura 59 - Comparação das medições obtidas no Ponto 3 com os valores de referência do DEFRA (2005, 2011).....	126
Figura 60 - Características de fluutuabilidade $L_{10}-L_{90}$ para as bandas de frequência de 1/3 oitava excedidas em: P3(1) - Figura 60a; P3(2) – Figura 60b; e em P3(3) - Figura 60c.....	127
Figura 61 - Comparação das medições obtidas no Ponto 4 com os valores de referência do DEFRA (2005, 2011).....	128
Figura 62 - Características de fluutuabilidade $L_{10}-L_{90}$ para as bandas de frequência de 1/3 oitava excedidas em: em P4(1) - Figura 62a; e em P4(2) - Figura 62b.....	129
Figura 63 - Comparação das medições obtidas no Ponto 5 com os valores de referência do DEFRA (2005, 2011).....	130
Figura 64 - Características de fluutuabilidade $L_{10}-L_{90}$ para as bandas de frequência de 1/3 oitava excedidas em: P5(1) – Figura 64a; e em b) P5(2) - Figura 64b.....	131
Figura 65 - Comparação das medições obtidas no Ponto 6 com os valores de referência do DEFRA (2005, 2011).....	132
Figura 66 - Características de fluutuabilidade $L_{10}-L_{90}$ para as bandas de frequência de 1/3 oitava excedidas em P6(1) - Figura 66a; e em P6(2) - Figura 66b.....	133
Figura 67 - Verificação das componentes tonais da primeira medição do Ponto 1 referentes aos valores: a) $L_{eq}(dB)$ e b) L_{Aeq}	136
Figura 68 - Verificação das componentes tonais da segunda medição do Ponto 1 referentes aos valores: a) $L_{eq}(dB)$ e b) L_{Aeq}	137

Figura 69 - Verificação das componentes tonais da primeira medição do Ponto 2 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}	138
Figura 70 - Verificação das componentes tonais da segunda medição do Ponto 2 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}	139
Figura 71 - Verificação das componentes tonais da primeira medição do Ponto 3 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}	140
Figura 72 - Verificação das componentes tonais da segunda medição do Ponto 3 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}	141
Figura 73 - Verificação das componentes tonais da terceira medição do Ponto 3 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}	142
Figura 74 - Verificação das componentes tonais da primeira medição do Ponto 4 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}	143
Figura 75 - Verificação das componentes tonais da segunda medição do Ponto 4 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}	144
Figura 76 - Verificação das componentes tonais da primeira medição do Ponto 5 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}	145
Figura 77 - Verificação das componentes tonais da segunda medição do Ponto 5 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}	146
Figura 78 - Verificação das componentes tonais da primeira medição do Ponto 6 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}	147
Figura 79 - Verificação das componentes tonais da segunda medição do Ponto 6 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}	148
Figura 80 - Espectro de distribuição das frequências e intensidades do ruído ocupacional gravadas numa fábrica têxtil do norte de Portugal e reproduzidas no ambiente ao qual foram expostos os animais	157
Figura 81 - Espectro sonoro da primeira medição do Ponto 3: distribuição dos níveis médios L_{eq} (dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz	158
Figura 82 - Espectro sonoro da segunda medição do Ponto 3: distribuição dos níveis médios L_{eq} (dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz	159
Figura 83 - Espectro sonoro da terceira medição do Ponto 3: distribuição dos níveis médios L_{eq} (dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz	159

Figura 84 - Espectro sonoro da primeira medição do Ponto 4: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz.....	160
Figura 85 - Espectro sonoro da segunda medição do Ponto 4: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz.....	160
Figura 86 - Espectro sonoro da primeira medição do PONTO 5: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz.....	161
Figura 87 - Espectro sonoro da segunda medição do PONTO 5: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz.....	161
Figura 88 - Espectro sonoro da primeira medição do Ponto 6: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz.....	162
Figura 89 - Espectro sonoro da segunda medição do PONTO 6: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz.....	162

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tipologias de localização industrial.....	34
Tabela 2 - Exemplos de comprimentos de onda (m) para alguns valores frequências (Hz), calculados através da relação $\lambda = c/f$, com $c = 340 \text{ m/s}$	40
Tabela 3 - Filtro de ponderação A para bandas de frequência centrais na gama audível e as respetivas bandas de oitava e de 1/3 de oitava.....	44
Tabela 4 - Comparação dos níveis de dB no A340 <i>Cockpit</i> e em todos os outros locais. Pico frequências refere-se às bandas de 1/3 de oitava onde a energia acústica foi altamente concentrada.....	60
Tabela 5 - Critérios para avaliar ruído ambiental de baixa frequência: limites dos valores L_{eq} (dB(C))	66
Tabela 6 - Comparação das curvas de referência dos vários países.....	69
Tabela 7 - Comparação da curva de flutuação DEFRA (curva de referência Britânica) com os restantes métodos, em que <i>HTL</i> significa <i>Hearing Threshold Level</i> , ou seja, nível de limiar auditivo	70
Tabela 8 – Valores de exposição máximos para as diferentes classificações do território do uso do solo.....	77
Tabela 9 - Dados da população residente, nos anos de 1991 e 2001, em relação à região Norte (NUTS II), à sub-região do Ave (NUTS III), ao concelho de Guimarães e a duas freguesias do mesmo	82
Tabela 10 - Percentagem da variação da população residente, entre 1991 e 2001, em relação à região Norte (NUTS II), à sub-região do Ave (NUTS III), ao concelho de Guimarães e a duas freguesias do mesmo	82
Tabela 11 - Dados da população residente, nos anos de 2001 e 2011, em relação à região Norte (NUTS II), à sub-região do Ave (NUTS III), ao concelho de Guimarães e a duas freguesias do mesmo	83
Tabela 12 - Percentagem da variação da população residente, entre 2001 e 2011, em relação à região Norte (NUTS II), à sub-região do Ave (NUTS III), ao concelho de Guimarães e a duas freguesias do mesmo.....	83
Tabela 13 - Número de empresas da indústria transformadora, referentes ao ano 2015 e 2011	85
Tabela 14 - Indicadores urbanos das freguesias de São João de Ponte e de São Jorge de Selho.....	91
Tabela 15 - Descrição dos parâmetros da medição sonora, relativos ao Ponto 1	99

Tabela 16 - Descrição dos parâmetros da medição sonora, relativos ao Ponto 2	101
Tabela 17 - Descrição dos parâmetros da medição sonora, relativos ao Ponto 3	103
Tabela 18 - Descrição dos parâmetros da medição sonora, relativos ao Ponto 4	105
Tabela 19 - Descrição dos parâmetros da medição sonora, relativos ao Ponto 5	107
Tabela 20 - Descrição dos parâmetros da medição sonora, relativos ao Ponto 6	110
Tabela 21 - Indicadores registados nas medições sonoras pelo sonómetro 01dB CUBE, para o período total de 15min (900s), exemplo referente à primeira medição do Ponto 1	111
Tabela 22 - Valores dos níveis de pressão sonora equivalentes L_{eq} (dB) registados no Ponto 1	112
Tabela 23 - Valores dos níveis de pressão sonora equivalentes L_{eq} , em dB(A), dB(C) e dB(Lin) para o Ponto 1	114
Tabela 24 - Características de fluutuabilidade do ruído e percentagem do tempo em que $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB em $P1(1)$	123
Tabela 25 - Características de fluutuabilidade do ruído e percentagem do tempo em que $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB em: $P2(1)$ - Tabela 25a; e em $P2(2)$ - Tabela 25b	124
Tabela 26 - Características de fluutuabilidade do ruído e percentagem do tempo em que $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB em: $P3(1)$ - Tabela 26a; $P3(2)$ - Tabela 26b; e em $P3(3)$ - Tabela 26c	126
Tabela 27 - Características de fluutuabilidade do ruído e percentagem do tempo em que $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB em: $P4(1)$ - Tabela 27a; e em $P4(2)$ - Tabela 27b	129
Tabela 28 - Características de fluutuabilidade do ruído e percentagem do tempo em que $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB em: $P5(1)$ - Tabela 28a; e em $P5(2)$ - Tabela 28b.....	131
Tabela 29 - Características de fluutuabilidade do ruído e percentagem do tempo em que $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB em: $P6(1)$ - Tabela 29a; e em $P6(2)$ - Tabela 29b	133
Tabela 30 - Filtro de ponderação A para bandas de frequência centrais na gama audível e as respetivas bandas de oitava e de 1/3 de oitava	135
Tabela 31 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na primeira medição do Ponto 1	149
Tabela 32 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na segunda medição do Ponto 1	150
Tabela 33 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na primeira medição do Ponto 2	150
Tabela 34 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na segunda medição do Ponto 2.....	151

Tabela 35 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na primeira medição do Ponto 3.....	151
Tabela 36 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na segunda medição do Ponto 3	152
Tabela 37 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na terceira medição do Ponto 3	152
Tabela 38 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na primeira medição do Ponto 4.....	153
Tabela 39 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na segunda medição do Ponto 4	153
Tabela 40 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na primeira medição do Ponto 5.....	154
Tabela 41 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na segunda medição do Ponto 5	154
Tabela 42 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na primeira medição do Ponto 6.....	155
Tabela 43 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na segunda medição do Ponto 6	155
Tabela 44 – Síntese dos resultados obtidos nos inquéritos à população residente em cada ponto de medição	169
Tabela 45 – Resultados obtidos nas ultrapassagens das curvas de cada ponto relativamente à curva critério DEFRA e a caracterização dos pontos de medição.....	171

Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

AAE – Área de Acolhimento Empresarial

APA – Agência Portuguesa do Ambiente;

CMG – Câmara Municipal de Guimarães;

DEFRA - *Department for Environment, Food and Rural Affairs*;

DGOTDU – Direção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano;

DVA – Doença vibro-acústica;

NUTS – Nomenclatura de Unidade Territorial para Fins Estatísticos;

OMS – Organização Mundial de Saúde;

PDM – Plano Diretor Municipal;

RBF – Ruído de Baixa Frequência;

RGR – Regulamento Geral de Ruído;

WHO – *World Health Organization*;

dB – decibel;

dB(A) – decibel com filtro de ponderação A;

dB(C) – decibel com filtro de ponderação C;

dB, dB(Z) ou dB(Lin) – decibel sem filtro de ponderação (ponderação linear);

Hz – Hertz;

kHz – quilohertz;

L_{eq} – Nível sonoro contínuo equivalente, para um certo período de tempo;

L_{Aeq} – Nível sonoro contínuo equivalente com filtro de ponderação A, para um certo período de tempo;

L_{max} – Nível de pressão sonora máximo registado no intervalo de tempo de medição;

L_{min} – Nível de pressão sonora mínimo registado no intervalo de tempo de medição;

L_{10} – Nível de pressão sonora que foi excedido durante 10% do tempo de medição;

L_{90} – Nível de pressão sonora que foi excedido durante 90% do tempo de medição;

m – metro;

cm – centímetro;

m/s – metros por segundo;

Pa – Pascal.

Capítulo I - Introdução

1. Enquadramento

O ruído é definido como um som indesejado e incómodo ao ser humano, segundo a APA (Agência Portuguesa do Ambiente), constituindo um dos problemas ambientais que mais afeta a qualidade de vida das pessoas, tanto num ambiente de trabalho, como num ambiente de lazer, que em elevadas frequências, ou em exposições prolongadas, pode causar graves problemas de saúde. Paralelamente, o ruído é uma das componentes ambientais em que se torna mais difícil garantir o cumprimento de limites legais, em situações industriais complexas e/ou em que existem múltiplas fontes de ruído (Matias e Vieira, 2008).

O ser humano está diariamente exposto a ruídos que, por vezes, não são perceptíveis ao ouvido humano, aos quais não são dados a devida atenção, já que relativamente às medições de ruído, a legislação portuguesa, limita-se ao nível de dB(A) que constituiu o parâmetro padrão de medição, medindo a amplitude acústica média como se estivesse a ser percebida pelo ouvido humano (frequências compreendidas entre 500 e 20000 Hz). Deste modo, os valores relativos a ruídos de baixas frequências (RBF) (< 500 Hz e os infrassons) não são incluídos na mesma legislação (Alves-Pereira, Mariana, 2007). A doença vibro-acústica (DVA) é a patologia que resulta da exposição excessiva e prolongada a RBF (Alves-Pereira e Branco, 2009).

Por outro lado, a exposição a ruído de elevada frequência, como é o caso de certos ruídos de origem industrial, causa incómodo e perda auditiva em grandes proporções, assim como outros problemas de saúde relacionados com alterações na pressão sanguínea, hipertensão, doenças cardiovasculares e falta de concentração dos trabalhadores no seu local de trabalho (Eleftheriou, 2002; Salehin et al., 2014).

Segundo a WHO (*World Health Organization*) (2011), distúrbios no sono, falta de concentração, irritabilidade e *tinnitus* (zumbido frequente) são também outros sintomas causados pela exposição prolongada a este tipo de ruído.

A noção de incómodo relacionado com o ruído é de difícil atuação, no que diz respeito a soluções que permitam a sua redução, visto que esse desconforto é subjetivo, sendo geralmente aceite que a perceção individual depende das suas características, isto é, da intensidade, do espectro e da frequência com que ocorre. Até certo ponto, são fatores como a idade do indivíduo, o seu estado emocional, os gostos pessoais (por exemplo, música e até as suas crenças) ou o modo de vida que determinam o grau de incomodidade do ruído (Arezes e Miguel, 2002).

A industrialização em conjunto com a rápida evolução dos centros urbanos e o consequente aumento da zona habitacional, ocupando partes mais periféricas das cidades e o desenvolvimento das vias de transporte, desempenham um papel fundamental no aumento dos níveis sonoros, começando a gerar áreas de “conflito”, que por vezes se encontram mal caracterizadas no que diz respeito ao ruído gerado pelas diferentes atividades em simultâneo (Salehin et al., 2014). A interação cada vez mais frequente entre usos conflituantes (residencial/industrial) requer um estudo pormenorizado acerca do ruído ambiental e do ruído industrial, tendo em conta o seu impacto no território em que se inserem. Para isso, é necessário perceber quais os limites sonoros permitidos, definindo-os a partir da classificação atribuída pelo novo Regulamento Geral de Ruído (RGR) - D.L. n.º 9/2007, de 17 de Janeiro, em zonas sensíveis (áreas vocacionadas para habitações, escolas, espaços de recreio e lazer) e zonas mistas (que incluem também comércio e serviços). Este estudo focar-se-á em zonas mistas onde, segundo o RGR, os níveis sonoros contínuos equivalentes máximos admissíveis diurnos, L_{eqdn} , e noturnos, L_{eqn} , não deverão exceder 65 dB(A) e 55 dB(A), respetivamente.

Neste sentido, percebendo a importância que o ruído tem no quotidiano da população e sabendo que é praticamente impossível elimina-lo, a motivação do presente trabalho prende-se com a necessidade de caracterizar e avaliar o ambiente sonoro em zonas empresariais, não excluindo o ruído de baixa frequência e, que desta forma, seja possível perceber se esse ruído é ou não incomodativo para a comunidade exposta a ele, pela proximidade das suas habitações a essas áreas empresariais. Assim, com este projeto pretende-se realçar a importância que o Planeamento Urbano tem na Engenharia Civil, para que seja possível melhorar o quotidiano da população exposta à poluição sonora.

1.1 Objetivos e Metodologia do Estudo Realizado

Face ao conflito de usos cada vez mais frequente entre as áreas de acolhimento empresarial (AAE) e as áreas habitacionais, o objetivo geral do estudo foi o de avaliar os impactes da exposição de zonas residenciais ao RBF proveniente das indústrias localizadas em AAE.

Desta forma, o estudo desenvolveu-se em seis pontos de medição localizados no concelho de Guimarães, onde se procedeu à avaliação e caracterização do ambiente sonoro destas áreas, através de medições sonoras. Para isso foram utilizados quatro métodos no tratamento de dados, por forma a perceber se esse ruído podia ou não ser incomodativo para quem está exposto a ele. Estes quatro métodos dizem respeito: i) à comparação dos níveis sonoros obtidos nas medições com curva de critério DEFRA (Moorhouse, Waddington e Adams, 2005, 2011), que define os limites a partir dos quais os níveis sonoros se tornam incomodativos; ii) à avaliação da flutuabilidade a partir de uma verificação em relação à diferença dos níveis de pressão sonora excedidos em 10% e em 90%, indicadores $L_{10}-L_{90}$; iii) à diferença entre os níveis sonoros com filtro de ponderação C e com filtro de ponderação A, como indicador de incomodidade; e iv) à análise das características tonais de forma a perceber se o ruído pode ser ainda mais incomodativo. Para além disso, os espetros sonoros foram comparados com o espetro sonoro usado no estudo de Cavacas (2014).

No sentido de complementar a avaliação através de medições sonoras, foi feito um inquérito direcionado exclusivamente à população residente nas áreas estudadas.

Neste sentido, através da medição do ruído efetuada sem filtro de ponderação, depois de definidos os locais que se pretendiam estudar, outro dos objetivos foi o de perceber através dos resultados obtidos, se o filtro de ponderação A é adequado para a avaliação de RBF ou não.

1.2 Organização da Dissertação

A dissertação está dividida em 5 capítulos principais, organizados da seguinte forma:

- Capítulo I – Introdução.

No primeiro capítulo da dissertação, a introdução, apresenta-se de forma resumida o enquadramento da dissertação, os seus objetivos e a metodologia utilizada na concretização deste estudo.

- Capítulo II – Estado da Arte.

O estado da arte corresponde ao segundo capítulo “*Ruído De Baixa Frequência Associado Aos Vários Tipos De Indústria*”, diz respeito ao conhecimento teórico acerca das várias temáticas desenvolvidas, nomeadamente, do ruído industrial de baixa frequência. Nesta secção, apresenta-se a pesquisa bibliográfica efetuada, para suportar cientificamente este estudo, analisando-se de forma crítica a investigação realizada por vários autores, onde, para além do aprofundamento dos conceitos aqui utilizados, se pretende identificar possíveis dificuldades ou soluções futuras.

Assim, o estado da arte inicia-se com o enquadramento dos espaços destinados ao uso industrial e o conflito destes espaços com as áreas destinadas à habitação. O seu desenvolvimento foca-se na poluição sonora, nomeadamente, no ruído ambiental, de baixa frequência e industrial, fruto desse conflito de usos, apresentando-se as suas características e os métodos existentes na sua avaliação.

- Capítulo III – Abordagem Objetiva e Subjetiva.

O terceiro capítulo, “*Avaliação Da Incomodidade Do Ruído Industrial De Baixa Frequência*”, refere-se ao conhecimento prático do objetivo geral do presente estudo. Através dos métodos realizados para a avaliação da incomodidade do RBF, é feita a descrição dos procedimentos utilizados e são, também, apresentados os resultados obtidos nas duas abordagens: relativas às medições sonoras *in situ* (abordagem objetiva); e, referentes aos inquéritos realizados à população (abordagem subjetiva), para complementar os resultados da incomodidade.

- Capítulo IV – Análise de Resultados.

O quarto capítulo, “*Análise dos resultados: Impacte do Ruído na População Exposta*” são analisados os níveis de ruído de acordo com os vários de métodos descritos no segundo capítulo (abordagem objetiva). Para além disso, esta análise é complementada com os resultados da abordagem subjetiva, referente aos inquéritos feitos à população exposta.

- Capítulo V – Conclusões e Perspetivas Futuras

Por último, no capítulo V, são apresentadas as conclusões gerais do trabalho, bem como, perspetivas futuras que poderão dar continuidade ao trabalho desenvolvido nesta dissertação.

Capítulo II - Ruído de Baixa Frequência associado aos vários tipos de Indústria

2. Estado da Arte

2.1 Evolução da localização industrial: planeamento urbano e tipologias

A localização industrial sofreu, ao longo dos anos, significativas mudanças. O desenvolvimento urbano e a crescente ocupação do solo proporcionaram uma forte ligação entre o tradicional centro urbano e a considerada zona periurbana, tornando-se o planeamento territorial um tema muito importante na atualidade.

As atividades humanas trouxeram desde sempre problemas relativos à ocupação e uso do território, dando-se particular importância à questão da aptidão dos solos (Ramos, 2000). O frequente conflito entre as necessidades da sociedade e a aptidão do solo tornou o processo do planeamento territorial essencial, nomeadamente para se definir a localização empresarial, em particular, da indústria.

Com o foco no desenvolvimento económico, no decorrer da Revolução Industrial, os fatores de produção industrial, como a proximidade às fontes de energia e às matérias-primas, estiveram na origem do processo de localização industrial, desprezando as possíveis consequências dos impactos ambientais e as preocupações relativas à inserção no meio territorial. A industrialização verificada a partir de finais do século XIX provocou significativas mudanças do ambiente urbano, bem como da relação entre as atividades humanas e industriais, que motivaram a crescente preocupação com o ordenamento do espaço urbano. Em meio rural, a localização industrial assentou na atividade dispersa pelo território em função da proximidade às fontes energéticas (Carmona, 2008).

Após a Revolução Industrial, a organização territorial apresenta novas formas, consequência da aplicação do planeamento urbanístico e da adoção do zonamento, como principal instrumento de classificação de usos do solo. Para evitar as consequências da presença da indústria na cidade ao nível da poluição do ambiente urbano e dos seus

impactos na higiene e na saúde da população, a partir de finais do século XIX instituiu-se a prática de instalar a indústria na periferia das cidades e de criar áreas específicas para acolher as indústrias.

Em Portugal, a divisão funcional do espaço dos municípios resultou do zonamento, aplicado pelos Planos Diretores Municipais (PDM), nos quais se definem as diferentes classes e categorias de espaços e de usos do solo (Carmona, 2008). Assim, neste período, observaram-se significativas alterações no que diz respeito à ocupação e uso de solo, por razões maioritariamente de caráter socioeconómico.

Os modelos neoclássicos surgiram como previsão relativamente à distribuição espacial das empresas através do princípio da maximização do lucro num espaço isotrópico, incluindo o modelo de Alfred Webber de 1909 (Manzato et al., 2010). Estes modelos foram, mais tarde, substituídos por abordagens comportamentais, onde os elementos individuais como as preferências e as motivações pessoais foram considerados o principal problema da localização industrial. Mais recentemente, a localização empresarial é vista como o resultado de uma negociação mantida entre o empresário e as várias entidades territoriais, onde a escolha recai sobre a opção que apresentar condições mais favoráveis à empresa (Fernández e Ruiz, 2009; Mazzarol et al., 2009, Fonseca; Ramos e Silva, (2016a). Assim, ao longo dos últimos dois séculos, assistiu-se a uma alteração dos fatores e dos critérios da localização dos setores industriais. Se no início a proximidade às matérias-primas e às fontes energéticas foi um fator determinante na localização da indústria, a partir da revolução tecnológica até à atualidade, devido ao incremento da mobilidade resultante do extraordinário desenvolvimento tecnológico das comunicações e dos transportes, bem como, à emergência de novos métodos de organização da produção, surgiram novos critérios locativos (Ramos, 2000). A proximidade a centros de investigação e desenvolvimento, a mão-de-obra qualificada, as políticas públicas (incentivos fiscais, legislação laboral, paz social, etc.), o acesso ao crédito, são alguns dos fatores importantes na localização industrial.

O planeamento territorial é, assim, a chave para uma adequada localização da indústria, bem como dos parques industriais ou das AAE. Um adequado planeamento traduz-se numa elevada taxa de ocupação de empresas, caso contrário estas afastam-se das referidas zonas e para torná-las atrativas são necessários “esforços/custos adicionais” (Fonseca, 2013:vii).

Uma elevada taxa de ocupação de empresas é um fator indicativo do sucesso da localização industrial, por sugerir boas condições à instalação de empresas nesse espaço.

Contudo, outra questão importante é o dimensionamento da oferta de solo industrial, ou seja, perceber se a oferta de solo industrial é suficiente ou se ultrapassa a procura atual e a esperada para o futuro. Pois se por um lado, uma elevada taxa de ocupação de indústrias/empresas é sinónimo de condições propícias ao seu desenvolvimento, a excessiva promoção de solo industrial, através de AAE, traz consequências negativas, como a subocupação dos espaços, a dificuldade de manutenção e o desperdício de recursos espaciais (Fonseca, 2013).

Um estudo realizado em 1998, pela Direção Geral do Ordenamento do Território em Portugal (DGOTDU, 1998), concluiu que havia uma falta de critério na análise da localização industrial, associada à grande oferta de áreas industriais. Nesse estudo, mais de metade dos municípios analisados elegiam mais de 100% das áreas existentes para desenvolvimento industrial, aumentando a oferta de solo para esse fim (Ramos, 2000). Dos restantes municípios, 12% aumentavam a oferta em valores até 50%, 21% ofereciam mais 50 a 75% do solo já ocupado por indústrias, e 11% cresciam entre 75 e 100%. A falta de critério desta problemática verifica-se pelo facto do crescimento industrial não ser proporcional a esta ordem de grandeza (Ramos, 2000).

O exagero existente na oferta de solo industrial contribui para a cada vez menor separação entre as áreas residenciais e industriais e para o consumo de solo com outras aptidões, como rural, florestal ou natural. Em alguns casos, a oferta de solo industrial prevista nos PDM é maior do que a já existente, o que contrasta com o facto das novas indústrias serem menos exigentes em espaço, devido não só aos avanços tecnológicos. Além disso, grande parte da área industrial instalada no país é antiquada e está muito pouco otimizada (Ramos, 2000).

Este desajuste pode causar conflito de zonas, visto que os centros urbanos tendem a expandir-se em direção às áreas mais envolventes e, por sua vez, a zona industrial procura centralizar-se no meio urbano, apesar do espaço vocacionado para o uso do solo ser limitado.

A especialização funcional industrial e a mistura funcional, desta atividade com as restantes, constituem duas perspetivas diferentes da tipologia de indústrias, numa visão mais atual.

Segundo Carmona (2008), há três grupos frequentemente utilizados para definir as tipologias de localização industrial, designadamente: i) a zona especializada associada aos parques industriais, aos parques tecnológicos e às AAE; ii) o contínuo urbano,

correspondente à mistura funcional; e, iii) o espaço rural que se caracteriza pela dispersão da indústria.

A área industrial especializada decorre de ações de planeamento, que visam separar estas áreas dos restantes espaços urbanos e, por isso mesmo, surge particularmente nas periferias das cidades. Contudo, com a instalação de usos de apoio à atividade industrial, bem como, a inclusão das diretrizes ambientais e urbanísticas, ao longo dos anos, esta localização tem sofrido alterações. A área industrial especializada refere-se à concentração num dado território da função industrial, em que esta predomina e cuja instalação pressupõe o desenvolvimento prévio de um conjunto de infraestruturas de suporte a esta atividade (Carmona, 2008).

A mistura funcional define a tipologia de localização industrial em meio urbano. Da coexistência de usos (empresariais e habitacionais) surgem vantagens para algumas indústrias, como a proximidade ao mercado consumidor urbano e à mão-de-obra, o dinamismo económico local e a valorização dada à indústria inserida no meio urbano (Carmona, 2008). Os problemas resultantes da localização industrial no meio urbano situam-se ao nível do congestionamento provocado pelo tráfego pesado, a falta de estacionamento nas imediações e problemas de poluição, incluindo sonora.

Na Tabela 1 sintetizam-se os principais aspetos relacionados com as três tipologias de localização industrial.

Tabela 1 - Tipologias de localização industrial

	Tipologias de Localização Industrial		
	Zonas Especializadas	Espaço Urbano (contínuo urbano)	Espaço Rural (disperso)
Surge da aplicação:	<p>De zonamento.</p> <p>Na articulação com a proximidade urbana, distinguem-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> . Definição de “zona-tampão” entre a área industrial e as zonas residenciais próximas; . Articulação com os espaços urbanos contíguos, através da integração de outras atividades urbanas terciárias que dependerá da dimensão e dos usos industriais instalados na área industrial. 	<p>De fatores como a tradição e a proximidade ao local de residência.</p> <p>Na inserção em espaço urbano, distinguem-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> . Intervenções de rutura, com alterações morfológicas significativas, face à envolvente residencial; . Intervenções de pequena dimensão, com respeito a alinhamentos, afastamentos e volumetria predominantes. 	<p>Da necessidade da proximidade a matérias-primas ou de solo em quantidade e a preços mais acessíveis.</p>
Tipos de estruturas:	Desenvolvimento prévio de um conjunto de infraestruturas de suporte.	Partilha de infraestruturas de suporte com outras atividades urbanas, designadamente, a habitacional.	Elementos estruturais de suporte constituídos pela rede viária e o parcelamento rural.
Terminologias usadas na sua definição:	<p>Terminologia mais antiga:</p> <ul style="list-style-type: none"> . Parque Industrial <p>Conceitos mais recentes:</p> <ul style="list-style-type: none"> . Parques Científicos ou Tecnológicos . Parques Eco- industriais 	-	-
Usos em função da tipologia:	<ul style="list-style-type: none"> . Parques industriais básicos: indústria transformadora, oficinas e armazéns; . Parques tecnológicos: presença exclusiva de empresas inovadoras, serviços especializados de apoio, como centros tecnológicos, incubadoras de empresas e instituições universitárias e de investigação; . Parque Eco industrial: integra usos industriais de produção de bens ambientalmente sustentáveis e cujos processos de produção cumprem requisitos de redução de emissão poluentes, reutilização de matérias-primas ou reaproveitamento de recursos. 	Predomínio de usos relacionados com a preparação de produtos alimentares e atividades artesanais.	<ul style="list-style-type: none"> . Predomínio de usos industriais tradicionais complementares da exploração de recursos existentes em espaço rural (minerais e agro- florestais); . Presença de uso industrial relacionado com outros sectores não tradicionais (indústrias criativas, culturais, energias renováveis, etc.).

Fonte: Adaptado de Carmona (2008).

Relativamente à tipologia associada às AAE, na opinião de Fonseca (2014), “no urbanismo industrial, há uma grande proliferação de terminologias para designar os espaços empresariais, que estão associadas à evolução histórica e ao contexto geográfico do próprio conceito” (Fonseca, 2014: 33). Com exceção do conceito de Área de Localização Empresarial introduzido pelo Decreto-Lei n.º70/2003, de 10 de abril, as restantes tipologias de espaços de localização industrial não estão enquadradas legalmente em Portugal. Por esse motivo, esses espaços são designados por diversos termos como parque industrial, loteamento industrial, zona industrial, zona empresarial,

parque empresarial, centro empresarial, polo empresarial, centro de negócios, entre outros (Fonseca, 2014).

A noção de AAE procura ser um conceito agregador destas diversas realidades. As AAE são espaços planeados para a instalação de indústrias e empresas, onde a organização dos lotes, as características dos edifícios, a cobertura por infraestruturas e serviços de apoio às empresas e aos seus utilizadores estão definidas.

Estas áreas proporcionam uma série de aspetos positivos para os territórios, para o ambiente e para as empresas. Para os territórios estes espaços para além de evitarem conflitos de usos, já que são vocacionados para o acolhimento industrial, reforçam a atratividade territorial. Permitem ao nível ambiental uma melhor e mais económica gestão dos poluentes e dos resíduos resultantes da atividade industrial. E do ponto de vista das empresas, disponibilizam um conjunto de infraestruturas e serviços capazes de agilizarem o seu processo de instalação. Além disso, apresentam elevados benefícios económicos, como a racionalização de custos das empresas, efeitos de escala e a obtenção de complementaridades (Fonseca; Ramos e Silva, 2014).

A alteração do padrão do crescimento industrial e a redefinição do conceito de indústria e das suas necessidades contribuiu fortemente para a evolução do conceito de AAE. Essa alteração do conceito deve-se ao facto do setor tipicamente transformador ter passado para um setor com uma maior componente de serviços, de tecnologia e de informação (Beyard, 1988). Desta evolução surgem terminologias mais recentes, como os eco-parques, os parques empresariais, os parques de negócios, os parques tecnológicos e os parques de ciência e tecnologia.

Em Portugal, as investigações relativas ao número de parques industriais e às condições por eles oferecidas são escassas. Os estudos realizados por Fonseca (2014) e por Fonseca, Ramos e Silva (2016b), no Quadrilátero Urbano (rede composta pelos municípios de Barcelos, Braga, Guimarães e Vila Nova de Famalicão) são uma dessas exceções. Neste território, os autores identificaram a existência de 79 AAE com condições de acolhimento muito diversas. Além disso, os autores verificaram que a maior parte das empresas tinha uma localização difusa (estavam localizadas fora de um espaço empresarial) e que a existência de espaço disponível foi o fator que mais influenciou a instalação das empresas nas AAE. Os autores concluíram que, apesar a baixa cobertura em termos de infraestruturas e de serviços das AAE do Quadrilátero, que a opinião dos empresários era satisfatória em relação às condições oferecidas pelos parques e que a maioria deles não tencionava mudar-se para outro local no futuro.

O parque industrial corresponde à tipologia convencional de espaço empresarial, que mais foi promovida em Portugal (Fonseca, 2014). Assim, no contexto deste projeto irei focar-me no município de Guimarães que é um dos quatro municípios do Quadrilátero Urbano, referindo-me às áreas industriais aí existentes como sendo AAE, já que fazem parte da tipologia dos parques industriais.

Desta forma, geram-se diversos problemas, com repercussões ao nível da organização do território, da qualidade de vida das pessoas, do conforto habitacional, da produtividade no trabalho, bem como da qualidade ambiental. Neste último caso, os principais problemas relacionam-se com o consumo de solo com outras aptidões, com a poluição atmosférica, com a poluição das águas e com a poluição sonora. A poluição sonora decorre tanto das atividades transformadoras e dos processos produtivos, bem como do tráfego, nomeadamente de veículos pesados, que as atividades industriais produzem.

Na secção seguinte será abordada de forma mais detalhada a problemática do ruído ambiental e dos seus efeitos na população.

2.2 Ruído Ambiental proveniente do conflito de usos do solo

“Um som externo indesejado ou prejudicial, criado por atividades humanas, incluindo o ruído emitido por meios de transporte, tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo e equipamentos utilizados na atividade industrial” é a definição de ruído ambiente de acordo com a Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de junho de 2002, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.

A incomodidade sentida por um dado ruído é difícil de determinar já que a sua perceção individual é subjetiva, dependendo das características do mesmo (intensidade, espectro e frequência com que ocorre), das pessoas (a idade, o seu estado emocional, os gostos, as crenças ou o modo de vida), das circunstâncias e dos locais (Arezes e Miguel, 2002; Silva, 2007).

O ruído é uma das principais causas da degradação da qualidade do ambiente urbano. Os transportes são os principais responsáveis, embora o ruído de atividades industriais e comerciais possa assumir relevo em situações pontuais. De acordo com vários estudos efetuados, é reconhecido que, para um mesmo nível sonoro, a percentagem de pessoas

incomodadas é mais elevada relativamente ao tráfego aéreo, seguido do rodoviário e por último o ferroviário (APA, 2017).

De modo a obter uma maior comodidade, segundo a APA (2017), a Organização Mundial de Saúde (OMS) estabeleceu em 1999 que o ruído ambiente exterior no período diurno na proximidade de edifícios de habitação devia situar-se abaixo de 55 dB(A), $L_{Aeq,dia}$. No período noturno, o ruído ambiente no interior dos quartos não deve exceder os 30 dB(A), $L_{Aeq,noite}$, para evitar distúrbios no sono.

De acordo com Paz, Ferreira e Zannin (2005) a OMS, em 2003, estipulou que o nível sonoro (L_{eq}) até 50 dB(A) pode causar perturbações, embora o organismo se adapte facilmente a ele; a partir de 55 dB(A) pode haver a ocorrência de *stress* leve, acompanhado de desconforto; o nível de 70 dB(A) provoca o desgaste do organismo, aumentando os risco de enfarte, derrame cerebral, infeções, hipertensão arterial e outras patologias; para um nível sonoro equivalente de 80 dB(A) ocorre a libertação de endorfinas, causando sensação de prazer momentâneo; e níveis sonoros da ordem de 100 dB(A) podem conduzir à perda auditiva.

Depois da poluição do ar e da água, a segunda maior fonte de poluição ambiental é a poluição sonora (Zannin, Ferreira e Szeremetta, 2006).

O nível de ruído é largamente influenciado pela natureza da atividade comercial, do tipo de maquinaria usado, do tipo de indústria e da sua localização. Um estudo elaborado por Schnell et al. (2011) demonstrou que o ruído, quando comparado com a temperatura e a poluição do ar, era a maior fonte de *stress* em meio urbano, confirmando o anteriormente supracitado por Zannin, Ferreira e Szeremetta (2006).

Na Europa, cerca de 245 milhões de pessoas (54% da população) que vivem em áreas urbanas estão expostas a níveis de ruído acima do valor limite estabelecido pela OMS como sendo adversos para a saúde, ou seja, acima do limite de 55 dB(A), sendo o ruído industrial uma das causas (Alves et al., 2016a).

De acordo com a APA (2004), em 1996, a ex-DGA (Direção Geral do Ambiente) publicou o documento "Ruído Ambiente em Portugal", onde é apresentado um primeiro estudo global sobre a exposição da população portuguesa ao ruído. Este estudo revelou que apenas 43% da população sentia conforto acústico nos seus locais de residência e que 19% residia em locais cujos níveis de pressão sonora, durante o dia, eram superiores a 65 dB(A), níveis acima dos valores recomendados pela OMS. As ocorrências mais gravosas, segundo esse estudo, registaram-se nas imediações das principais vias de tráfego

rodoviário ou nos grandes centros urbanos e respectivas periferias e em particular na região de Lisboa (APA, 2004).

Neste contexto, a fonte de poluição sonora, que constitui uma das maiores preocupações ambientais e que afeta, diariamente, a qualidade de vida em meio urbano, no que se refere ao espaço habitacional, é o ruído do tráfego rodoviário (Morel, Marquis-Favre e Gille, 2016; Silva, 2015). Outra das principais fontes de ruído são as indústrias localizadas tanto em zonas industriais como em zonas não industriais, situadas nas cidades e nos seus subúrbios. O ruído produzido por fontes industriais afeta um elevado número de indivíduos, incluindo os trabalhadores dessa mesma indústria, bem como, as pessoas que vivem nas suas proximidades (Salehin et al., 2014).

Os efeitos da poluição sonora provenientes de aeroportos, vias de transporte, atividades comerciais, industriais e até de lazer, estudados em vários países dão especial atenção à influência desse fenómeno na saúde humana e na qualidade de vida dos moradores em meio urbano. Porém, segundo Sofer, Potchter, Gnaim e Gnaim (2012), o tipo de poluição ambiental (ruído, ar, água e solo), as características e as suas implicações, resultantes das atividades industriais e comerciais localizadas em zonas residenciais, ainda não foram estudadas em profundidade e, na maior parte dos casos, esses estudos referem-se a países mais desenvolvidos.

A exposição prolongada ao ruído compromete a saúde humana e os seus efeitos são diversificados, como distúrbios do sono, doenças cardiovasculares, incómodo, dificuldades cognitivas e problemas de saúde mental, podendo também causar efeitos diretos, como o zumbido (Comissão Europeia, 2017).

Na Europa Ocidental, estima-se que mais de 80 mil milhões de Euros são gastos anualmente para tratar problemas de saúde associados ao ruído ambiental (Morel, Marquis-Favre e Gille, 2016).

Com o intuito de combater este problema, a Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho de 2002 exige aos países da Europa que desenvolvam mapas de ruído relativos ao tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo e indústrias. Os mapas de ruído são, então, implementados com o objetivo de minimizar os efeitos adversos da poluição sonora nas comunidades (Morel et al., 2016).

Na secção seguinte, é feita uma descrição do que é o som, o ruído e a sensibilidade por parte do ouvido humano à distinção de ambos, sabendo que se trata de um conceito subjetivo.

2.3 Som e Ruído: definição e características

2.3.1 Características do som

O som é definido, do ponto de vista fisiológico, como qualquer variação da pressão atmosférica que o ouvido humano pode detetar, seja no ar, na água ou em qualquer outro meio de propagação (Agência Portuguesa do Ambiente - APA, 2004). O som é geralmente associado a uma sensação agradável, a um fenómeno acústico que não se manifeste fatigante, como ouvir música e a voz (Silva, 2007; Neves, 2007; Mendes, 2011).

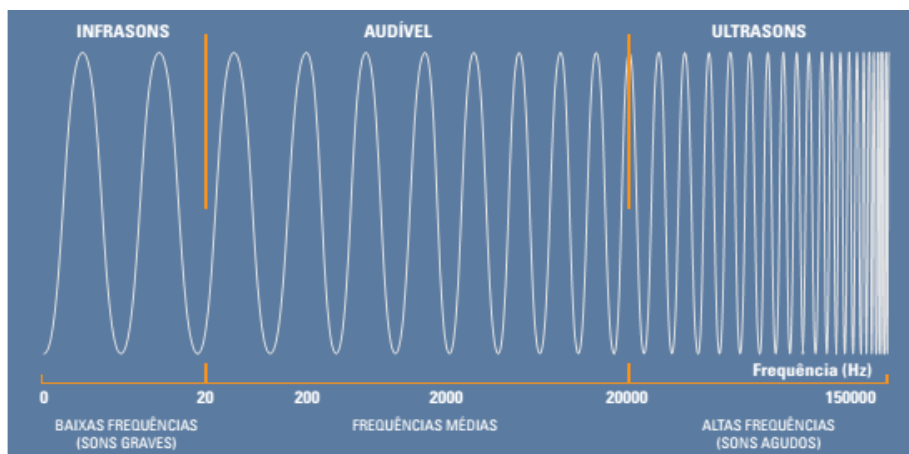
Fisicamente, o som corresponde a uma perturbação periódica em que cada onda sonora (onda longitudinal de compressão e rarefação de um dado meio, provocada pela vibração de um corpo) se caracteriza pela amplitude (A), pelo comprimento de onda (λ), pelo período (T), pela velocidade de propagação (c) e pela frequência (f) (Pereira, 2009).

A frequência (f) representa o número de oscilações, por segundo, da pressão em relação à pressão atmosférica, sendo igual ao valor inverso do período (T) da onda sonora, cuja unidade representativa é expressa em Hertz (Hz) (Silva, 2007; Mendes, 2011).

Um sinal sonoro pode ser descrito através da sua pressão, sendo indispensável considerar-se a sua frequência.

O som audível corresponde às frequências que variam entre os 20 Hz e os 20.000 Hz (Berglund, Hassmén e Job, 1996; Leventhall, 2003; Oud, 2012; Cavacas, 2014). Porém, o conteúdo energético espectral do som pode afetar a sensibilidade humana, variando a gama audível de indivíduo para indivíduo. Abaixo dos 20 Hz, encontram-se os infrassons e acima dos 20.000 Hz encontram-se os ultrassons (Figura 1), que apesar de se assumirem convencionalmente como inaudíveis é possível que sons compreendidos por estas gamas sejam reconhecidos por algumas pessoas (Carreira, 2016).

Figura 1 - Representação das gamas de frequência: infrassons, audíveis e ultrassons



Fonte: Ruído e a Cidade (APA), 2004, p.6.

O som propaga-se no ar a uma velocidade (c) de aproximadamente 340m/s, mas essa velocidade varia ligeiramente com a temperatura. As ondas sonoras geradas oscilam e vão comprimindo e expandindo, alternadamente, o ar. Uma vez que cada compressão se atinge a 340 m/s, após um segundo a primeira compressão fica a 340 m da fonte. Por exemplo, para uma frequência de oscilação igual a 10 Hz, haverá 10 compressões na distância de 340 m, que foi percorrida num segundo, ou 34 m entre cada compressão. Essa distância é chamada de comprimento de onda do som, levando à relação: $\lambda = c/f$ (Leventhall, 2003). Através da referida relação entre o comprimento de onda e a frequência, sabendo a velocidade de propagação sonora no ar, percebe-se que quanto maior é o valor da frequência, maior é o comprimento de onda (ver Tabela 2), assim como é, também, maior o número de ciclos de oscilações que ocorrem no mesmo período de tempo. O período de onda (T) sonora é dado pela duração de cada oscilação.

Tabela 2 - Exemplos de comprimentos de onda (m) para alguns valores frequências (Hz), calculados através da relação $\lambda = c/f$, com $c = 340$ m/s.

	Infra Sons (0-20 Hz)			Gama Audível (20 -20 K)			Ultra Sons (>20 K)
Frequência (Hz)	1	10	20	500	1000	5000	< 0.017
Comprimento de onda (m)	340	34	17	0.68	0.34	0.068	

Fonte: Elaboração própria através da fórmula apresentada.

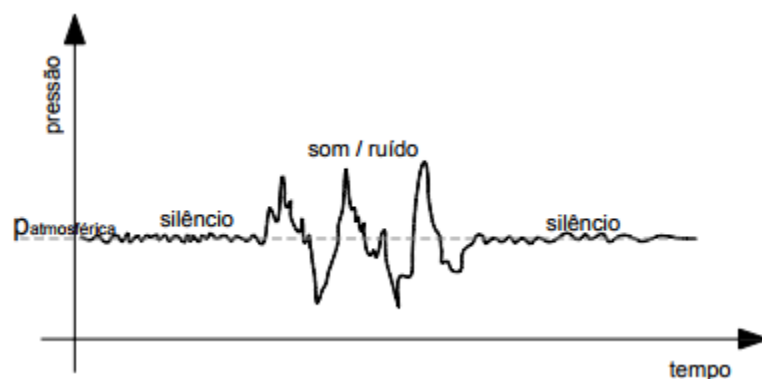
O ruído produz efeitos incomodativos que podem ser traduzidos através da frequência, do nível sonoro ou da intensidade sonora e da duração (Guyton, 1988; Arezes, 2002). Estas três características serão analisadas com mais detalhe na secção que se segue.

2.3.2 Ruído: Pressão Sonora, Nível de Pressão Sonora, Bandas de Frequência

Fisicamente o som e o ruído são equivalentes (Halliday e Resnick, 1991; Leventhall, 2003), pois tanto o ruído como o som são ondas acústicas semelhantes, transportadas no ar por partículas oscilantes. As diferenças residem na sua qualidade acústica, dependendo da forma como são percebidos pelos ouvintes, como se pode observar através da Figura 2 (Leventhall, 2003; Mateus, 2008).

Todo o som que é desagradável ou indesejável para o ser humano designa-se por ruído e a sua caracterização efetua-se através da sua frequência (baixa – sons graves; média, alta – sons agudos) e da sua amplitude medida em termos do “nível de pressão sonora”.

Figura 2 - Variação da pressão produzida por uma fonte sonora, som ou ruído



Fonte: Mateus, 2008, p. 2.

A pressão sonora corresponde à diferença entre a pressão ambiente instantânea e a pressão atmosférica a partir da qual o ouvido humano é sensível. Como o próprio ouvido humano tem uma elevada sensibilidade, conclui-se que a relação entre a pressão sonora característica de um som que cause dor e de um som que seja audível é da ordem de um milhão (APA, 2004). A sensibilidade associada ao ouvido humano torna a gama de pressões, utilizada na sua unidade de referência, o Pascal (Pa), pouco prática quando comparada com a escala logarítmica de nível de pressão sonora, expresso em decibel (dB), que resulta da conversão da escala linear de pressão sonora em Pascal (Pa). Nesta

nova escala, a relação entre um som correspondente ao limiar da audição humana e um som doloroso, abrange apenas 120 unidades, como se pode observar na Figura 3 (APA, 2004).

Figura 3 - Representação do “Limiar Audível” e do “Limiar da Dor” em Pascal (Pa) e a sua conversão para decibel (dB)



Fonte: Ruído e a Cidade (APA), 2004, p.6.

O “Limiar de Audição”, representado na Figura 3, corresponde ao “nível mínimo de pressão sonora capaz de provocar uma sensação auditiva. Todavia este nível não é um limite preciso e define-se em termos de probabilidade de audição porque depende das características do som (frequência) e da forma como se apresenta ao ouvinte, podendo ser transmitido através do ar ou através de auriculares (Neves, 2007). Contudo e de acordo com Neves (2007) e Oud (2012), o limite máximo pode ir até aos 140 dB, ou seja, até ao nível do “Limiar da Dor” para um Homem, contrariando o definido na Figura 3 pela APA (2004).

O tempo de exposição de um ouvinte abaixo do nível do “Limiar da Dor” determinará o dano que lhe será causado. Assim, esse tempo para que não ocorram danos do aparelho auditivo poderá ser tanto maior, quanto mais baixo o nível de ruído (Neves, 2007).

Como foi dito na secção anterior, relativamente ao limite inferior da gama audível (20 Hz), já foram observadas respostas do sistema auditivo devidas a estímulos de frequências inferiores, sempre que os níveis sonoros são suficientemente elevados, não sendo consensual esse limite pela comunidade científica (Berglund et al., 1996; Neves, 2007; Leventhall, 2007; Møller, Pedersen e Staunstrup, 2012; Carreira, 2016). Assim como, já foram sentidos valores de frequência acima do limite superior (20 KHz), segundo Yeowart (1976) valores de frequência até 30 kHz foram "ouvidos" através da condução óssea. Mais recentemente, Neves (2007) afirma que 16 KHz pode ser considerado um limite real. Esta possível sensação auditiva fora da definida gama audível, reflete as diferenças individuais no limiar auditivo.

O espectro sonoro deve ser considerado na análise de um fenómeno acústico, ou seja, deve-se ter em conta o nível de pressão sonora correspondente a cada frequência (Mendes, 2011).

Como o ruído de um som é composto por uma vasta gama de frequências associadas a diferentes níveis torna-se fundamental caracterizá-lo num espectro de frequências reduzido, em que as frequências centrais são divididas em bandas de oitava ou em bandas de terço de oitava.

Uma oitava é uma banda de frequência que, geralmente, se refere à sua banda central, em que a frequência limite superior f_u , é aproximadamente o dobro da frequência limite inferior f_l , dado pela expressão (Silva, 2007):

$$f_u = 2 \times f_l$$

De acordo com Silva (2007), a frequência central é definida como a média geométrica entre as frequências limites superior e inferior, ou seja:

$$f_c = \sqrt{f_u f_l}$$

Segundo a mesma fonte (Silva, 2007), dividindo o intervalo de uma oitava em três intervalos de 1/3 de oitava, pode-se realizar uma análise mais pormenorizada e neste caso a relação é a seguinte:

$$f_u \approx \sqrt[3]{2} f_l$$

O intervalo da gama audível está dividido em dez grupos de frequência designados por oitavas, estando estes subdivididos em três grupos de terços de oitava (Mendes, 2011). Como se pode constatar a partir da Tabela 3, as frequências do centro de cada banda de oitava que são convencionadas, e geralmente utilizadas são: 16, 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 e 16000 Hz (Pereira, 2009).

Tabela 3 - Filtro de ponderação A para bandas de frequência centrais na gama audível e as respectivas bandas de oitava e de 1/3 de oitava

Frequência central (Hz)	1/3 de Oitava (Hz)		Oitava (Hz)		Ponderação A
	de	a	de	a	
16	14.1	17.8	11.2	22.4	-56.7
31.5	28.2	35.5	22.4	44.7	-39.4
63	56.2	70.8	44.7	89.1	-26.2
125	112	141	89.1	178	-16.1
250	224	282	178	355	-8.6
500	447	562	355	708	-3.2
1000	891	1120	708	1410	0
2000	1780	2240	1410	2820	1.2
4000	3550	4470	2820	5620	1
8000	7080	8910	5620	11200	-1.1
16000	14.1 K	17.8 K	11.2 K	22.4 K	-6.6

Fonte: Adaptado de Silva, 2007.

2.3.3 Percepção do som/ruído: audibilidade, curvas de ponderação

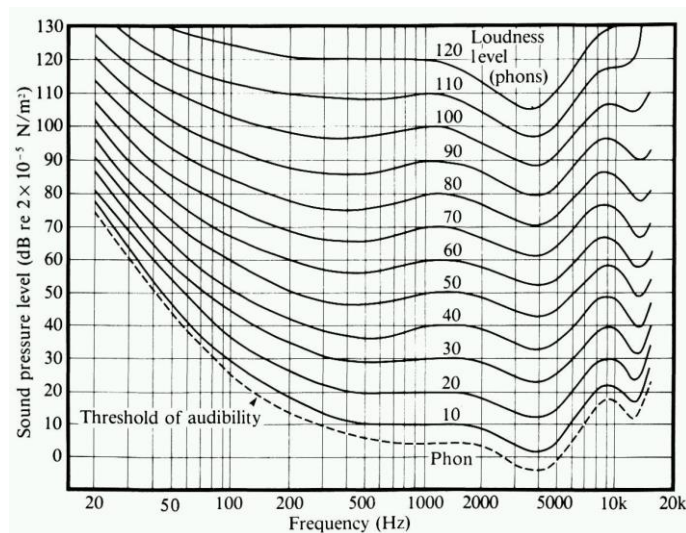
O processo percepção-resposta do som ou do ruído pelo ouvinte ocorre quando os sinais elétricos, estimulados pelas vibrações na orelha, são transmitidos ao cérebro, no qual a percepção ocorre e a sensação de som é desenvolvida. A resposta é a reação à percepção e varia significativamente de pessoa para pessoa, dependendo de muitos fatores pessoais e situacionais, condicionada por experiências anteriores e expectativas atuais (Leventhall, 2003).

Como se percebe pelo processo de percepção-resposta, a sensibilidade de um ouvinte a um ruído depende da sua frequência de emissão e os respectivos níveis de pressão sonora. Assim, dentro da gama audível, anteriormente referida, o ouvido humano, é bastante sensível ao intervalo de frequências compreendido entre os 1000 e os 4000 Hz, no qual se dá o discurso humano, diminuindo nas altas e nas baixas frequências (Cavacas, 2014; Neves, 2007). Segundo Mendes (2011), o ouvido humano apresenta-se menos sensível para frequências graves e muito sensível na gama de frequências compreendida entre os 2000 e os 5000 Hz.

A variabilidade auditiva do ouvido humano pode ser confirmada através das curvas de igual sensibilidade auditiva, medida em fones (F), apresentadas na Norma ISO 226:2003, que relacionam sons de frequências e intensidades diferentes, mas audíveis da mesma forma (Pereira, 2009; Mendes, 2011).

Como já foi referido, o ouvido humano não capta da mesma forma sons com um nível de pressão sonora equitativo mas com frequências de emissão distintas (Mendes, 2011). Por exemplo, para um nível de audibilidade (isofónica) correspondente a 100 F (fones) e considerando uma frequência de 1000 Hz, o nível de pressão sonora é de 100 dB; para uma frequência de 50 Hz, o nível correspondente é de 110 dB. Pela análise gráfica da Figura 4 percebe-se que quanto mais baixos forem os níveis de audibilidade, mais acentuadas serão essas diferenças. Para que se obtenha a mesma sensação sonora, o nível de energia exigido varia ao longo das isofónicas representadas no gráfico.

Figura 4 - Curvas de igual audibilidade ou curvas de Fletcher-Munson (onde: 1 *phon* é a unidade de nível sonoro; “*Sound pressure level*” é o nível de pressão sonora; “*Loudness Level*” é a intensidade sonora; “*Threshold of audibility*” é o limiar da audição).

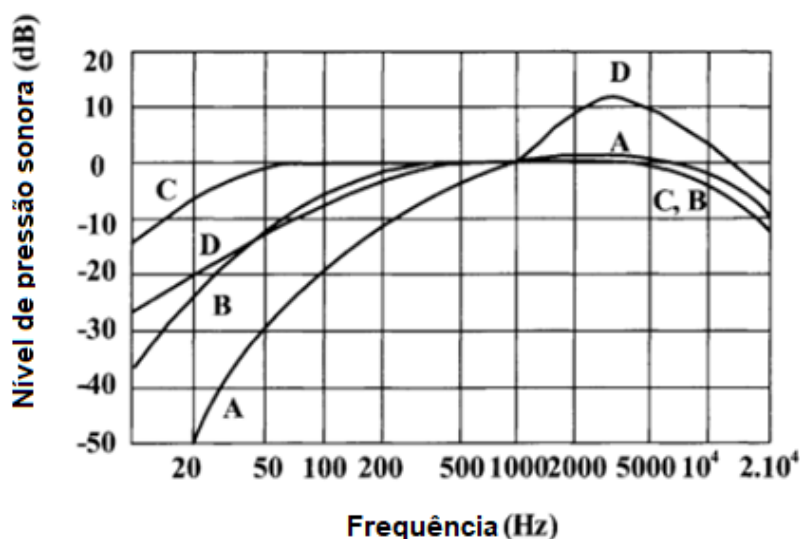


Fonte: Silva, 2007, p.47.

Desta forma, foram criadas curvas de correção dos níveis sonoros captados em função das frequências, designadas de curvas de ponderação (Figura 5). Neste sentido, os níveis de pressão obtidos para cada banda de oitava representados na Tabela 3 foram ponderados a partir das curvas de Fletcher-Munson constantes (Boeker e Grondelle, 1995; Pereira, 2009) representadas na Figura 4.

Para isso, as medições de ruído são executadas com aparelhos de medição que incluem filtros de ponderação, com o objetivo de expressar os níveis de pressão sonora percebidos pelo ouvido humano (não o que é emitido pela fonte, mas sim a resposta do ouvido humano a um dado nível de energia). Esses valores são expressos em dB ponderados por coeficientes (A, B, C, D) que se devem à diferente sensibilidade auditiva humana ao longo do espectro de frequências (Silva, 2007; Pereira, 2009; Mendes, 2011).

Figura 5 - Curvas de Ponderação de frequências A, B, C e D



Fonte: Hassan O., 2009.

As curvas de ponderação A, B e C apresentadas na Figura 5 foram obtidas para aproximar a sensação auditiva, a partir respetivamente das isofónicas próximas de 40 F (níveis de pressão sonora relativamente baixos), 70 F (níveis intermédios) e 100 F (níveis altos) (Hassan, 2009; Mateus, 2008; Bistafa, 2006; Berglund et al., 1996). A curva de ponderação D é utilizada na avaliação do ruído produzido por aviões, no sobrevoo de aeronaves, valorizando as altas frequências situadas entre 1 KHz e 10 KHz (Bistafa, 2006; Pereira, 2009; Torres Silva, 2007).

Na prática, segundo Mendes (2011), Pereira (2009) e Silva (2007) nas medições de ruído ambiente, o filtro mais utilizado é o A, por ser de todos o que melhor relaciona a resposta do ouvido humano tendo em conta os valores medidos com o desconforto por ele sentido. Por isso, é o filtro mais utilizado no estudo de incómodos produzidos pelo ruído. Os valores dos níveis de pressão sonora obtidos a partir do filtro de ponderação A, B, C e D, são expressos em dB(A), dB(B); dB(C) e dB(D) respetivamente.

Depois dos níveis de pressão sonora (dB) serem captados, são somados algebricamente a esses valores os da ponderação (Tabela 3) para cada banda de frequência. Numa fase posterior, é feita a adição logarítmica desses níveis sonoros obtidos, resultando desta operação o nível sonoro – L_{pA} expresso em dB(A) (Mendes, 2011).

2.3.4 Nível de pressão sonora com ponderação A: nível de dB(A)

As medições de ruído são realizadas com o filtro de ponderação A, por ser considerado segundo a legislação internacional o “parâmetro padrão” em que é medida a “amplitude acústica média como se estivesse a ser percebida pelo ouvido humano” (Alves-Pereira e Branco, 2007).

Perante níveis sonoros elevados a avaliação com o filtro de ponderação A (em dB(A)) não traduz de todo a sensação do ouvido humano, podendo agravar significativamente o resultado final, traduzindo resultados mais fidedignos para níveis sonoros da ordem dos 40 dB (Mateus, 2008). Por exemplo, para um nível de pressão sonora de 100 dB com uma frequência equivalente a 50 Hz e uma isofónica de 90 F, o nível de pressão sonora ponderado A, corresponde a aproximadamente 60 dB(A), mas a sensação do ouvido humano pode ser significativamente superior na realidade, na ordem dos 90 dB(A) (Mateus, 2008). Assim, o valor da intensidade em dB e os fones são semelhantes, fenómeno que ocorre a partir dos 1000 Hz, em que a intensidade emitida e a intensidade percebida são idênticas (Silva, 2007).

A perda de capacidade auditiva aumenta com o aumento do nível da pressão sonora em dB (Alves-Pereira e Branco, 2007).

Como foi dito, o procedimento na origem das medições de ruído de rotina é feito através da comparação de ambientes acústicos com base nos níveis de decibel A onde não é considerada a avaliação da distribuição de frequências e, por isso, embora se torne mais viável em estudos clássicos de surdez, apresenta-se inapropriada quando se pretende relacionar a exposição ao ruído com a saúde pública (Alves-Pereira e Branco, 2007).

Conclui-se, portanto, que o ambiente acústico real não é de todo descrito pelo nível sonoro em dB(A), pois este apenas descreve a amplitude média de um ambiente acústico audível, já que a sua utilização nas medições estabelece a correspondência entre a sensibilidade auditiva e as distintas frequências acústicas, o que elimina totalmente toda a energia acústica relativa às frequências inaudíveis ou as menos audíveis ao ouvido humano (Alves-Pereira e Branco, 2007).

Neste contexto, na seguinte secção será abordada a forma como o ruído pode ser quantificado, não só no que diz respeito aos níveis de pressão sonora, como também, aos procedimentos que devem ser considerados na avaliação de ruído ambiente, introduzindo o tema do RBF.

2.3.5 Quantificação do ruído: caráter e avaliação

O ruído pode causar impactos devido a fatores acústicos e não acústicos (Bangjun, Lili e Guoqing, 2003). Os primeiros dizem respeito ao caráter acústico do ruído, correspondentes aos impactos diretos no sistema auditivo denominados de “efeitos auditivos”. Os segundos não estão diretamente relacionados com este e referem-se aos efeitos “não-auditivos”, que incluem os impactos do ruído sobre as funções fisiológicas (Alves et al. 2016a). As pesquisas feitas no passado sobre estas duas categorias focavam-se preferencialmente nos “efeitos auditivos”, já que ao contrário destes, os “não-auditivos” são os mais difíceis de relacionar como decorrendo exclusivamente da exposição ao ruído (Alves et al. 2016a; Bangjun, Lili e Guoqing, 2003).

Os efeitos acústicos dependem do tipo da fonte de ruído, os níveis sonoros, as características da frequência sonora, o número de repetições do ruído e o tempo total de exposição ao mesmo. Os efeitos não acústicos dependem maioritariamente das condições ambientais, como é o caso das condições climáticas, topografia, a disposição das casas ou edifícios e condições individuais, no que se refere às diferenças entre os indivíduos, como a idade, o género, estado social e económico e sensibilidade de cada indivíduo ao ruído (Bangjun et al., 2003).

As avaliações de ruído em ambientes de trabalho (ruído ocupacional) são direcionadas, em primeiro lugar, para problemas de audição e pelo facto do “sistema auditivo humano ser pouco sensível a baixas frequências” (Alves et al., 2016a). Como já foi referido anteriormente, esta é a razão pela qual se usa o nível de som equivalente dB(A) com filtro A, como medida de exposição sonora. Contudo, o ruído também constitui um problema grave em ambientes de trabalho onde para além do risco de perda de audição, constitui, também, uma fonte de incómodo. Assim, o incómodo e a perda de audição tem diferentes relações no que diz respeito às características físicas do ruído, descritas acima. Alguns desses parâmetros podem reforçar o incómodo sem causar perda auditiva (Landström, Åkerlund, Kjellberg e Tesarz, 1995). Desta forma, o incómodo causado pelo ruído é influenciado por vários fatores, para além das suas características físicas, isto porque para o mesmo tipo de ruído há diferentes níveis de incómodo para diferentes situações (Landström et al., 1995). A presença de um forte ruído de frequência baixa é um exemplo desse caso (Broner e Leventhall, 1980; Kjellberg e Goldstein, 1985; Persson e Bjorkman, 1988; Landström et al., 1995).

Desta forma, da aplicação do filtro A, nos métodos para a avaliação da incomodidade do ruído em que são utilizadas as médias e altas frequências, conforme o previsto no RGR, surge a questão sobre se a sua eficiência fica comprometida quando se pretende avaliar ambientes acústicos de baixa frequência.

A OMS reconhece a importância do ruído de baixa frequência como um problema ambiental referindo, na publicação *Guidelines for Community Noise*, em 1999, “quando componentes de baixa frequência proeminentes estão presentes, as medidas de ruído com base na ponderação A são inadequadas” (Berglund, Lindvall e Schwela, 1999, p. xiii).

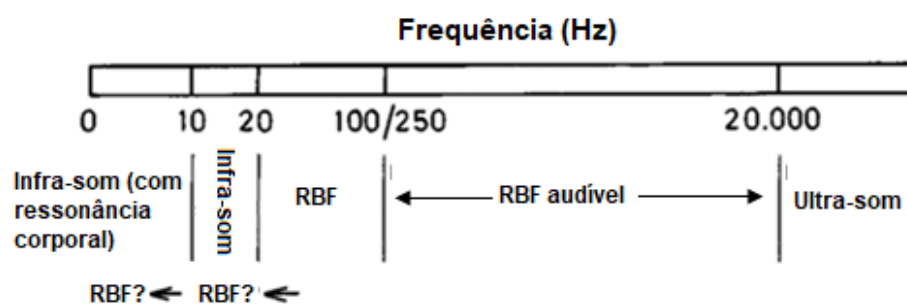
Quando se pretende avaliar o incómodo sentido por um dado ruído, vários autores confirmam que a utilização do filtro de ponderação A subestima as baixas frequências, especialmente as que se encontram abaixo dos 100 Hz, tornando-se inapropriado na avaliação do incómodo causado pelo RBF (Alves et al., 2016a; Alves-Pereira e Branco, 2007; Berglund et al., 1996; Broner, 1978; Carreira, 2016; Landström et al., 1995; Leventhall, 2003, 2014).

Neste sentido, na secção seguinte descreve-se o RBF, explicando em que consiste, de que fontes provém e o seu modo de propagação, bem como, potenciais problemas de saúde associados à sua exposição.

2.4 Ruído de Baixa Frequência (RBF): características, propagação e proveniência

Há uma certa divergência relativamente aos limites do RBF. Na literatura, o seu limite varia entre os 100 Hz e os 250 Hz, como se pode comprovar a partir da Figura 6.

Figura 6 - Espectro de frequências do som e a sua nomenclatura, demonstrando a incerteza na definição dos limites do RBF

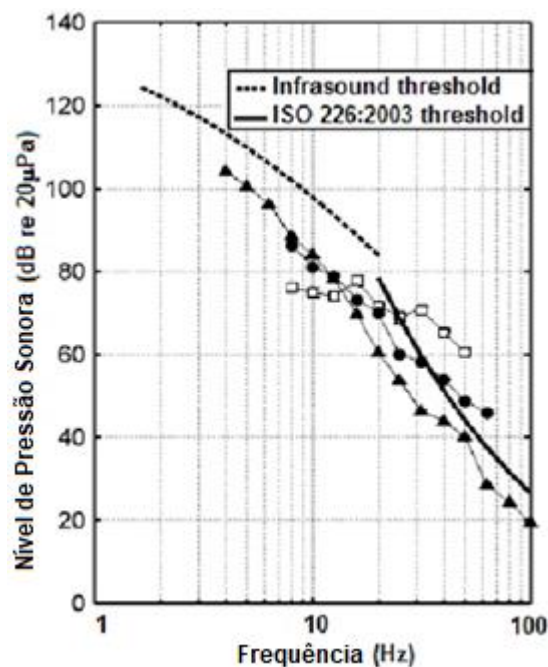


Fonte: Berglund, Hassmén e Job, 1996.

Segundo Leventhall (2003), Berglund, Hassmén e Job (1996) e Cavacas (2014) há autores que defendem um intervalo para o RBF dos 10Hz aos 200Hz, outros apontam para uma gama de frequências inferior a 250Hz, assim como há quem considere o intervalo dos 10 Hz aos 500 Hz. Apesar do limite inferior da gama audível ser de 20 Hz, como já foi referido anteriormente, há estudos que atestam que já foram sentidos, pelo ouvido humano, valores inferiores. De entre esses estudos destacam-se os estudos de Oud (2012) e de Pedersen (2008), onde indivíduos detetaram sons abaixo do limiar auditivo normal (Figura 7).

Investigações como as de Alves-Pereira e Branco (2007 e 2009) no estudo de baixas frequências incluíram os infrassons e o som audível até 500 Hz.

Figura 7 - Limites auditivos de três pessoas muito sensíveis



Fonte: Oud, 2012.

Na opinião de Leventhall (2003), todo o intervalo abrangido pelo RBF é audível, embora sejam necessários altos níveis para exceder os limiares de audição nas frequências mais baixas. Como Berglund et al. (1996) referem, dependendo da intensidade do som, de fatores individuais, bem como, do seu padrão ao longo do tempo, o RBF pode ser classificado como ruidoso ou significativo.

O ar, o vento, a temperatura e os obstáculos influenciam a propagação do som. O som pode ser atenuado através de fatores como a distância do recetor à fonte sonora, a absorção atmosférica, a absorção do solo, o espalhamento da fonte, ou seja, o modo como

as ondas sonoras divergem dependendo da fonte sonora (planar, esférica ou cilíndrica) e as proteções físicas, como barreiras sonoras, ou mesmo muros e edifícios (Leventhall, 2003; Silva, 2007).

Os infrassons e as baixas frequências não são atenuadas durante a propagação como o que acontece com as médias e altas frequências, embora a redução da intensidade devido à distância da fonte ainda se manifeste. No caso da propagação do som no ar, a atenuação aumenta com o quadrado da frequência desse som, por essa razão, apresenta-se muito baixa perante baixas frequências. As atenuações típicas do ar a 20°C e humidade relativa de 70% são, aproximadamente, de 0.1 dB/km para 63 Hz, de 0.35 dB/km para 125 Hz e de 1.1 dB/km para 250Hz. O que revela que a atenuação da propagação do som pode diminuir para frequências muito baixas (Leventhall, 2003).

Como se percebe, a propagação do RBF é superior às médias e altas frequências, nomeadamente porque: sofre uma menor atenuação através dos elementos estruturais dos edifícios (paredes e outras estruturas), atravessando facilmente os objetos; “camufla” as frequências mais altas, mas o inverso ocorre em maior medida; percorre longas distâncias com pouca perda de energia devido à atenuação atmosférica e ao solo; os dispositivos de proteção auditiva são muito menos eficazes contra ele; pode gerar ressonância no corpo humano (Broner, 1978; Berglund et al., 1996; Leventhall, 2003; Alves et al., 2015; Carreira, 2016).

Foi também verificado num estudo que as frequências audiométricas de 125, 250, 500 e 1000 Hz foram “mascaradas” por tons de baixa frequência, de 10, 12 e 16 Hz, para um nível de volume de 81 F, o que não se verificava para um nível de 70,5 F. Assim, o designado efeito de “mascaramento” e comunicação do RBF é de grande importância na presença de níveis de pressão muito altos (Broner, 1978).

O ruído ambiental e ocupacional têm uma componente energética muito significativa de baixas frequências ao qual não se dá a devida atenção. O RBF traduz-se como um ruído de fundo constante, tanto em ambientes urbanos como em ambientes ocupacionais, devido ao ruído proveniente de fontes antropogénicas (Alves et al., 2015; Berglund et al., 1996; Leventhall, 2003).

Estas fontes artificiais de RBF presentes em ambientes urbanos e residenciais, nomeadamente, máquinas de movimentação do ar, incluindo aquecimento, ventilação, sistemas de ar condicionado, compressores e turbinas eólicas; caldeiras; máquinas industriais, explosões de artilharia e mineração, automóveis, trânsito ferroviário, navios, aviões, sistemas de altifalantes e alguns dispositivos terapêuticos, apresentam

aparentemente um risco potencialmente maior do que fontes naturais, tais como vento, turbulência, ondas marítimas, tempestades (trovões), terremotos e erupções vulcânicas (Berglund et al., 1996; Broner, 1978; Leventhall, 2003).

De acordo com Alves et al. (2015), também o uso de eletricidade para transmissão e transporte de energia associados aos campos elétricos, magnéticos e eletromagnéticos produzem ruído de baixa frequência (60 Hz), como é o caso dos postes de alta tensão.

No interior dos edifícios, as baixas frequências são provenientes dos já referidos sistemas de ventilação, equipamentos mecânicos, utensílios domésticos, eletrodomésticos, como máquinas de lavar a roupa e o ruído da vizinhança através das paredes (uma vez que a parede bloqueia as frequências mais altas). Podem ainda provocar vibrações que ocorrem nas fundações dos edifícios e nas estruturas e se propagam até aos elementos de construção interiores (pavimentos, tetos e paredes), provocando a vibração dos mesmos. Contudo, as principais causas de incômodos são sentidas no exterior dos edifícios, especialmente, com origem no tráfego automóvel e ferroviário que produzem RBF e vibrações, que podem ser sentidas nos edifícios vizinhos (Carreira, 2016; Hassan, 2009; Leventhall, 2003).

Nos compartimentos habitacionais, quando os comprimentos de ondas atingem dimensões semelhantes aos mesmos (salas, quartos, escritórios), como é o caso de ruído com frequências compreendidas entre os 25Hz e os 150Hz, geram-se ressonâncias (Leventhall, 2003).

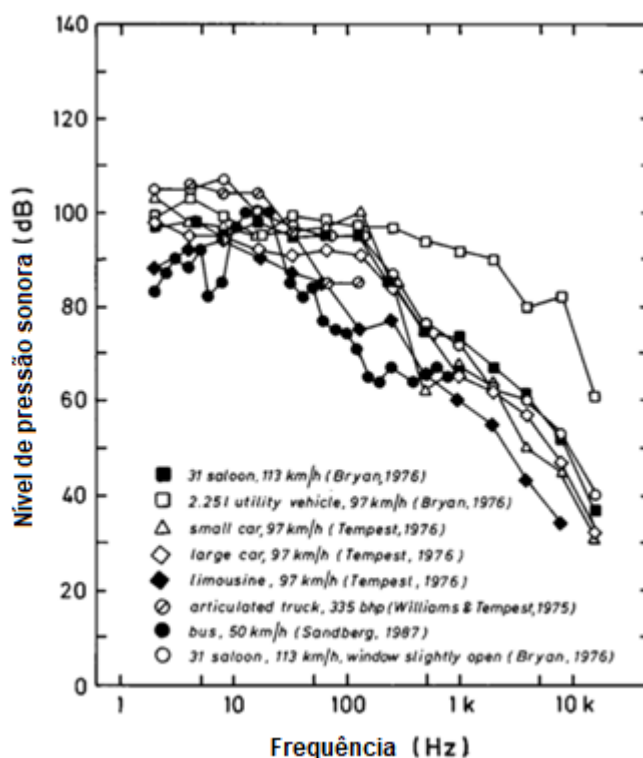
A frequência de ressonância de um corpo é a frequência à qual é absorvida a maior quantidade de energia, por exemplo, quando um cristal é atingido pela voz de um cantor de ópera, este parte se tiver absorvido a máxima energia acústica, ou seja, se a frequência de ressonância do cristal for alcançada (Alves Pereira e Castelo Branco, 2009).

O RBF também difere de outros ruídos na produção de vibrações do corpo humano e de outros objetos. Enquanto a maioria dos ruídos dentro da banda de baixa frequência é percebida pelo sistema auditivo normal na maior parte dos ambientes frequentados diariamente pela população, a vibração do corpo também resulta do ruído de baixa frequência e da área envolvente (Berglund et al., 1996). A resposta do corpo à excitação acústica torna-se gradualmente idêntica à da vibração mecânica à medida que a frequência estimulante se reduz na região infra sonora (Broner, 1978).

Desta forma, para baixas frequências, podem ocorrer ressonâncias nos órgãos e tecidos do corpo (Alves-Pereira e Branco, 2009; Leventhall, 2003). O ser humano apresenta especial sensibilidade para vibrações na região entre 0,5 e 200 Hz (Berglund et al., 1996).

A Figura 8 traduz a ampla produção de RBF através das máquinas, sobretudo, as associadas aos transportes rodoviários (automóveis, autocarros, camiões) a que, atualmente, a população se encontra exposta, tanto no interior dos veículos como na proximidade das infraestruturas de transporte (Berglund et al., 1996; Carreira, 2016).

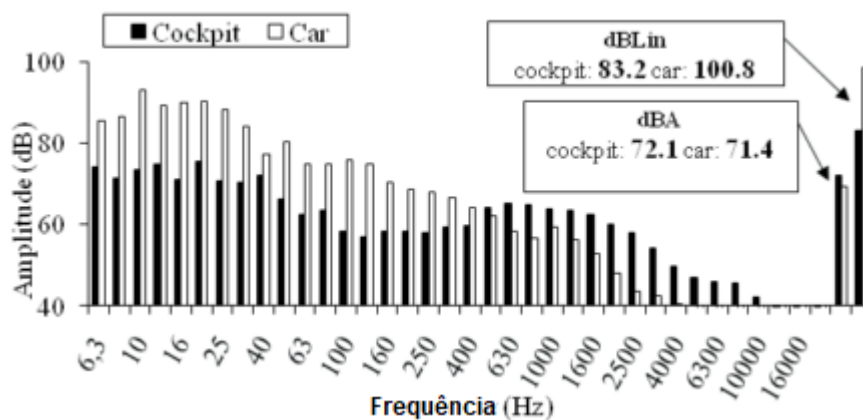
Figura 8 - Exposição ao ruído do passageiro nos veículos de transporte rodoviário em função da frequência



Fonte: Berglund et al., 1996.

Outras das principais fontes de ruído da comunidade, advém das aeronaves e possui elevada energia na faixa de baixa frequência. Assim, uma das atividades profissionais com maior risco de exposição ao RBF são os pilotos, bem como os hospedeiros de bordo (Alves-Pereira e Branco, 2007; Berglund et al., 1996). Embora, a exposição destes profissionais seja mais significativa, correndo o risco de desenvolver graves patologias que serão abordadas na secção que se segue, no interior dos automóveis os níveis de RBF são mais elevados quando comparados com os que ocorrem nos *cockpits* dos aviões, como se pode observar no exemplo exposto na Figura 9. Este exemplo apresenta a diferença entre as medições efetuadas com filtro de ponderação A e as medições executadas sem a utilização de filtro, ou seja, a diferença entre o ruído ouvido (dB(A)) e o ambiente acústico real (dB).

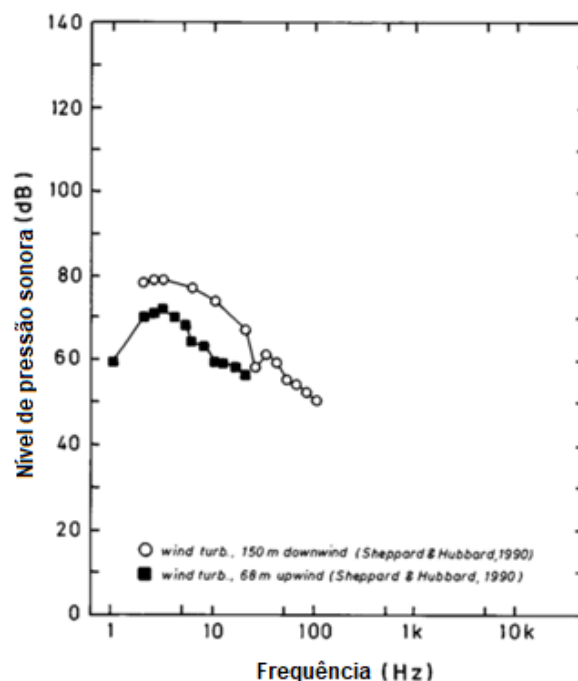
Figura 9 - Comparação entre a distribuição de frequências obtida no *cockpit* de uma aeronave comercial (*Airbus-340*, em voo cruzeiro, acima dos 30 mil pés) (barras negras) com uma obtida num veículo ligeiro (“*car*”) (*Fiat Punto*), viajando a 120 km/h, isolado numa autoestrada (às 03:00h), com janelas fechadas e rádio desligado (barras brancas)



Fonte: Alves-Pereira e Branco, 2009.

Os parques eólicos são, como já foi referido, outra fonte de produção de RBF, podendo constituir um problema para as comunidades que vivem na sua vizinhança (Figura 10). Todas as turbinas eólicas produzem baixas frequências, principalmente o ruído mecânico, que apesar de tudo, foi reduzido nas turbinas modernas. O ruído resulta da interação entre a lâmina das turbinas e o ar. Quanto maior for a turbulência, maior será o RBF produzido (Leventhall, 2014).

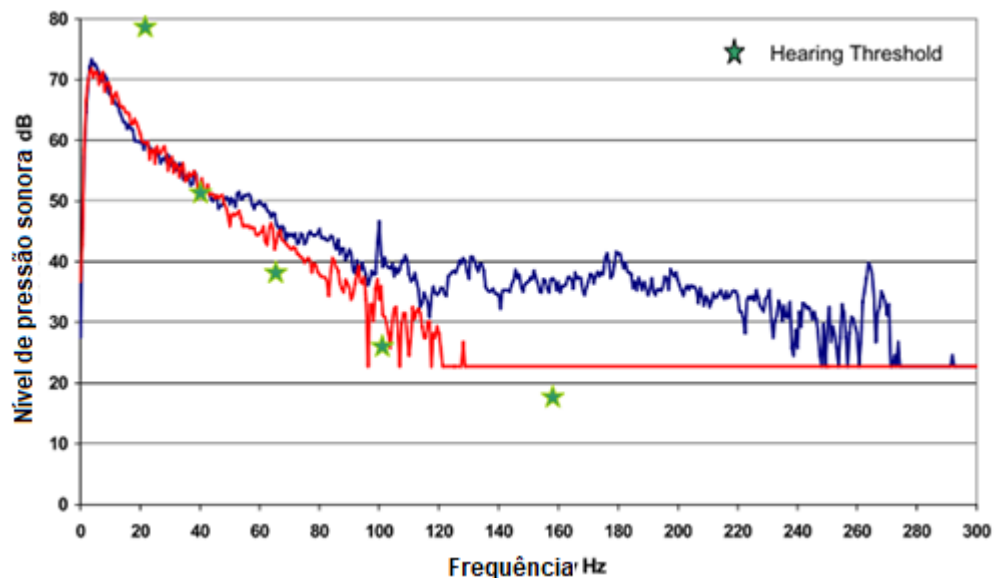
Figura 10 - Comunidade exposta ao ruído gerado pelas turbinas eólicas em função da frequência



Fonte: Berglund et al., 1996.

Como se percebe, através da Figura 11, frequências abaixo dos 40Hz não são distinguidas do ruído de fundo devido ao vento; o ruído de fundo e o ruído da turbina eólica separam-se acima de cerca dos 40Hz e ambos se elevam, ultrapassando o limiar auditivo (Leventhall, 2014). Em condições de turbulência, quando o RBF é produzido pelas turbinas eólicas, pode não ser percebido como um ruído, mas sim como incómodo adverso não identificado no ambiente, que desaparece se as turbinas pararem, ou se as condições de turbulência mudarem. Esta falsa percepção deve-se ao facto de não estarmos habituados a ouvir níveis baixos de ruído de baixa frequência de banda larga e, inicialmente, nem sempre o reconhecemos como um "ruído", mas mais como um "distúrbio" no ambiente (Leventhall, 2014).

Figura 11 - Ruído da turbina eólica (azul) e ruído de fundo (vermelho) a 65m de distância, num dia ventoso, cuja velocidade é aproximadamente de 15m / s



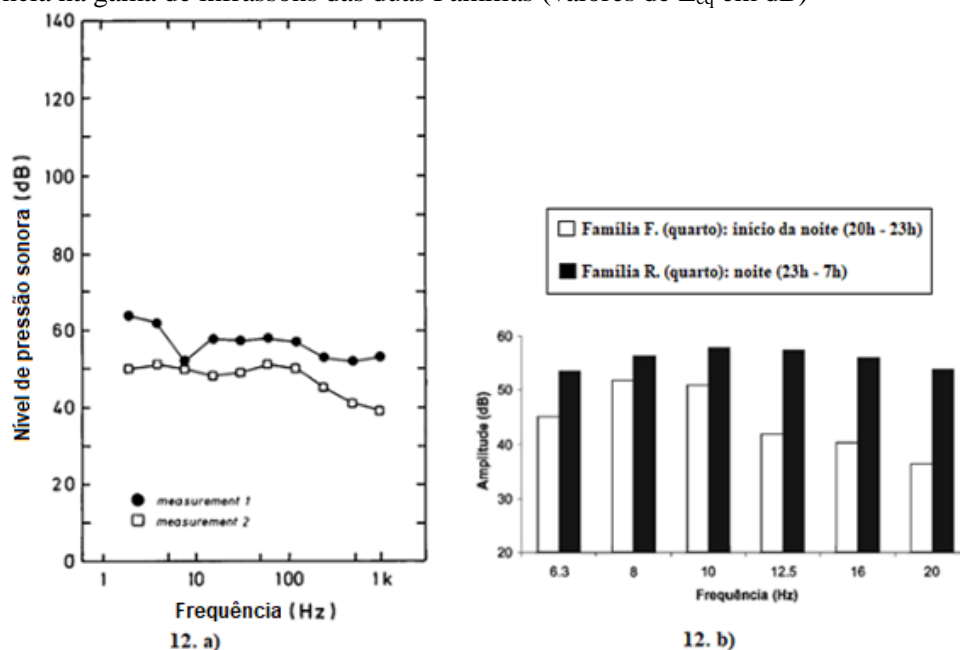
Fonte: Leventhall, 2014.

Na ausência de fontes identificáveis de RBF como as turbinas eólicas, torna-se imprescindível considerar a possibilidade de que um mecanismo diferente seja responsável por esse ruído, levando a uma falsa percepção do mesmo. As origens potenciais das percepções falsas incluem zumbido, ondas eletromagnéticas, sinestesia, efeitos hipnagógicos e a "coceira cognitiva" (Leventhall, 2003).

O RBF está presente em todos os ambientes, assim como nos ambientes "silenciosos" já que a fonte de ruído pode estar tão longínqua, o que não permite a sua identificação (Cavacas, 2014; Leventhall, 2003).

A componente de RBF presente no ruído ambiente é, como foi dito, camuflado pelo ruído de frequências mais altas. Quando esse efeito é enfraquecido através das paredes por parte das altas frequências ou quando o ruído envolvente é reduzido, as baixas frequências dominam o espectro do ruído sentido, que pode causar distúrbios, pondo em causa o bem-estar da população, assunto que será abordado mais à frente. Nas áreas residenciais, o ruído ambiente, contém muita, mas não toda a energia de baixa frequência, abaixo do refriido limiar auditivo (infrassons) (Berglund et al., 1996). Nas Figuras 12a e 12b são ilustrados ambientes acústicos residenciais em função da frequência, cujos dados foram recolhidos ao ar livre, mostrando ambas as figuras a extensão do RBF a nível residencial. A primeira é relativa a um estudo de Job, Bullen e Burgess (1991) e refere-se a duas áreas residenciais de Sydney (Austrália) em que as duas curvas representam, em média, os níveis de ruído de fundo, em diferentes momentos de medição e em dois locais diferentes (Berglund et al., 1996). A segunda figura é relativa ao estudo de Alves-Pereira e Branco (2007) e apresenta dados de duas famílias portuguesas expostas a infrassons, cujas medições foram efetuadas no início e durante a noite. Neste caso, a moradia da Família F encontra-se próxima do Silo de Cereais Internacional de águas profundas, em Almada e a residência da Família R está na vizinhança de turbinas eólicas, numa zona rural agrícola, situada nos arredores de Lisboa.

Figura 12 - a) Níveis de ruído ambiente (dB) em função da frequência, Sydney; b) Níveis de intensidade sonora equivalente (dB) em função da frequência, comparando a distribuição de frequência na gama de infrassons das duas Famílias (valores de L_{eq} em dB)



Fonte: Adaptado de a) Berglund et al., 1996; b) Alves-Pereira e Branco, 2007.

Assim, a partir da análise da Figura 12a conclui-se que o espectro do ruído ambiente nas áreas residenciais de Sydney, Austrália, apresenta maior intensidade nas baixas frequências, decrescendo até aos 1000 Hz (1 KHz). O que acontece, não só em Sydney, mas nas cidades desenvolvidas, no geral, que estejam expostas ao ruído gerado por máquinas (propícias ao RBF), tal como se verifica em Lisboa (Figura 12b) na habitação exposta ao ruído produzido pelos silos. Grande parte, mas não toda, a energia de baixa frequência, está abaixo do limiar de audição, sendo mesmo assim sentido (ver Figura 7 – pg. 51), fenómeno que pode ser explicado pela redução do efeito de mascaramento através das paredes de um prédio, que afeta predominantemente as frequências mais altas, ou durante a noite, quando o ruído envolvente é reduzido e as baixas frequências dominam o espectro do ruído percebido.

Assim, a exposição às potenciais fontes de RBF mencionadas e vibrações podem influenciar o quotidiano dos seres humanos e levar a uma grande diversidade de circunstâncias que serão explicadas posteriormente.

2.5 Ruído Industrial de Baixa Frequência

O ruído industrial é geralmente caracterizado como ruído de alta frequência. Porém, o ruído industrial é caracterizado por uma elevada intensidade e um amplo espectro de comprimentos de onda, sendo rico em RBF (Cavacas, 2014). Desta forma, um número considerável de trabalhadores e de pessoas em geral poderão estar diariamente expostos ao RBF de origem industrial (Reinhold, Kalle e Paju, 2014).

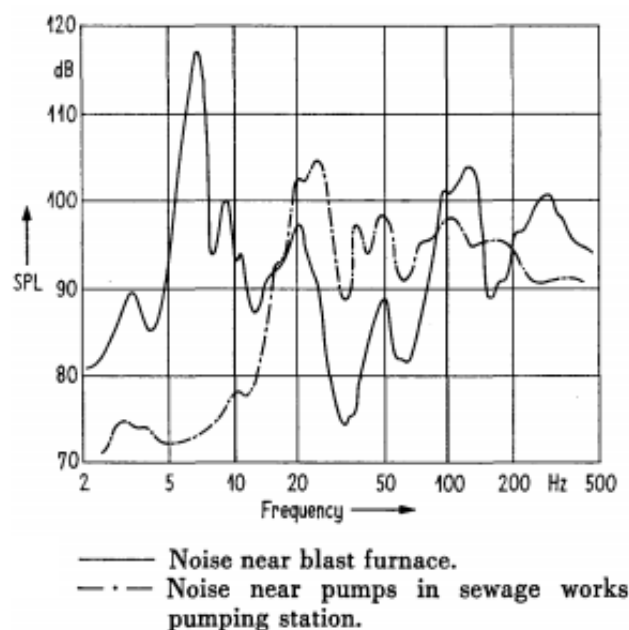
As pessoas que vivem próximo de instalações industriais, ficam expostas a uma combinação de fontes de ruído industrial e de ruído de fundo, composto por todas as outras fontes de ruído no meio ambiente. Considerando a variedade de fontes de ruído industrial, a determinação dos indicadores de incómodo do ruído baseia-se no tipo de característica espectral. Em áreas residenciais, o ruído de fontes industriais, como bombas de calor ou sistemas de ventilação, pode causar grande preocupação, mesmo em níveis de pressão sonora baixos ou moderados, devido à elevada componente de baixa frequência (Alayrac; Marquis-Favre e Viollon, 2011).

Para compreender a influência dum ruído ambiente composto por uma fonte de ruído industrial e um ruído de fundo no incómodo total é necessário caracterizar o impacto

sonoro dessa instalação industrial (localizada em AAE ou fora dela) sobre os moradores (recetores sensíveis). Na verdade, há uma necessidade de indicadores que prevejam o inconveniente do ruído total devido a um ruído ambiente. Segundo Alayrac et al. (2011) os estudos existentes de incômodo de ruído sobre a exposição múltipla a uma fonte de ruído industrial são muito menos numerosos do que os estudos que se concentram na exposição múltipla entre ruídos de transporte. Esses autores concluíram que para o ruído ambiental composto por um ruído de baixa frequência com uma componente espectral principal a 100 Hz, os modelos de incomodidade total, na literatura, não são relevantes para prever o incômodo, considerando os efeitos de “máscara” ocorridos.

Neste sentido, as potenciais indústrias que produzem ruído com elevada componente de baixa frequência são na generalidade as indústrias pesadas, tal como as que geram energia ou as que combinam calor com energia, ou, ainda, qualquer indústria que use grandes motores a *diesel* como fonte de funcionamento (os veículos pesados ao funcionarem com este tipo de motor, são também um exemplo). Os processos de combustão também produzem ruído de baixa frequência, como o caso dos motores de reação (Leventhall e Hood, 1971; Leventhall, 2003). Na Figura 13, segue-se um exemplo de um ruído gerado por equipamentos industriais. Verifica-se que em ambos os locais representados na Figura 13, os níveis sonoros são elevados para frequências baixas, num dos casos com maior relevância na região dos infrassons (abaixo dos 20 Hz).

Figura 13 - Distribuição da frequência relativamente ao ruído proveniente de um alto-forno (linha contínua) e de bombas hidráulicas (linha descontinua)

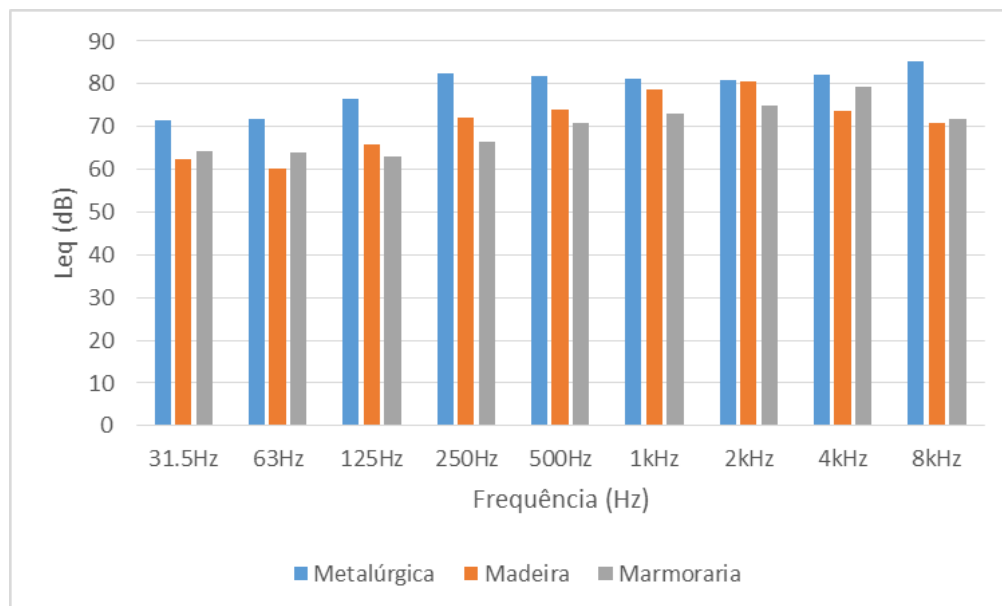


Fonte: Leventhall e Hood, 1971.

A curva superior, que tem um pico predominante de 115 dB a cerca de 7 Hz, é relativa ao ruído próximo de um alto-forno, numa fábrica de aço, que pode ser devido a um efeito de ressonância. O conteúdo de frequência de áudio é alta, com picos de cerca de 100 Hz e 300 Hz de mais de 100 dB, devido ao ventilador do alto-forno. A outra curva diz respeito à estação de bombagem de um esgoto, onde se verifica um pico de cerca de 105 dB a 20 a 30 Hz perto das bombas e o nível permanece bem acima de 90 dB na maior parte da faixa de até aos 400 Hz (Leventhall e Hood, 1971).

Uma investigação realizada por Boger, Barbosa-Branco e Ottoni (2009) analisou o caso do ruído ambiental proveniente de três indústrias (metalúrgica, transformação de madeira e de rochas). O estudo demonstrou a existência de amplos espectros sonoros em que os níveis são elevados tanto para baixas como altas frequências e sem grandes variações dos mesmos (Figura 14), embora isso seja mais nítido no caso da metalúrgica. Nas três indústrias, os níveis obtidos fixaram-se acima do recomendado, embora na das rochas, os efeitos da exposição sejam menos nocivos.

Figura 14 - Espectro de ruído ambiental segundo três ramos de atividade económica, no Brasil



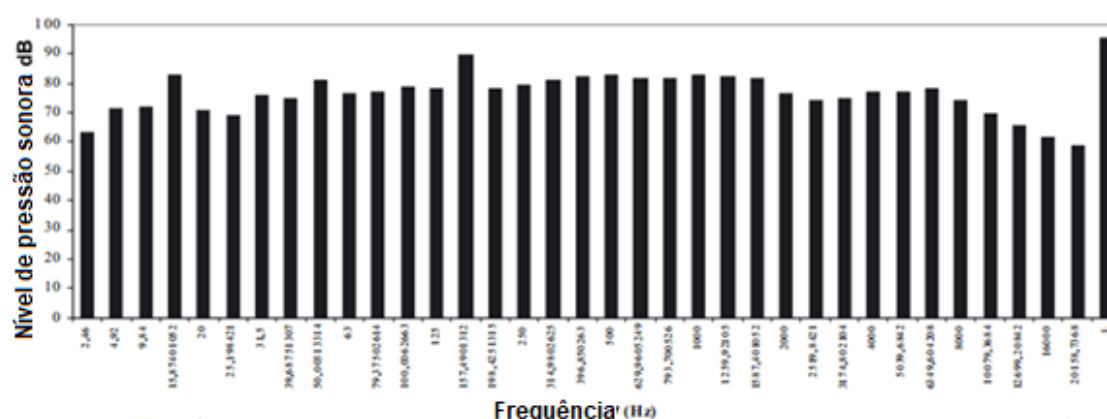
Fonte: Elaboração própria com base nos dados do estudo de Boger et al., 2009.

Estas três indústrias são, também, exemplos de fontes com elevada proveniência de RBF (até aos 500 Hz), o que vem ao encontro do que foi dito no penúltimo parágrafo.

Os trabalhadores da indústria têxtil estão cronicamente expostos a ruído de baixa frequência e alta amplitude. Na revisão da literatura alguns estudos, realizados no âmbito da medicina ocupacional, permitem apoiar esta afirmação (Alves-Pereira, Melo,

Motylewski, Kotlicka e Branco, 2003; Cardoso, Oliveira, Silva, Águas e Pereira, 2006; Cavacas, 2014). Neste âmbito, destaca-se o estudo realizado por Cardoso et al. (2006) a 28 operárias de uma fábrica de fiação submetidas a uma exposição prolongada ao ruído (mais de 10 anos). Os resultados das medições feitas no local de trabalho dessa fábrica (Figura 15) permitem concluir que embora apresentem níveis sonoros elevados nas altas frequências, apresentam um espectro alargado, também, nas baixas frequências, com níveis igualmente altos, contribuindo assim, para que o incómodo sentido aumente.

Figura 15 - Diagrama da intensidade e frequência do ruído gravado no local de trabalho da indústria têxtil



Fonte: Cardoso et al., 2006.

Num estudo realizado por Alves-Pereira et al. (2003), foi feita a comparação em dB(A) e dB(Lin) em vários locais, incluindo num compartimento de uma fábrica têxtil do Norte de Portugal em relação ao *cockpit* de um *Airbus 340*. A comparação e os respetivos resultados obtidos surgem na Tabela 4 com o respetivo pico de frequências referentes às bandas de terços de oitava onde se verificou a maior concentração de energia acústica.

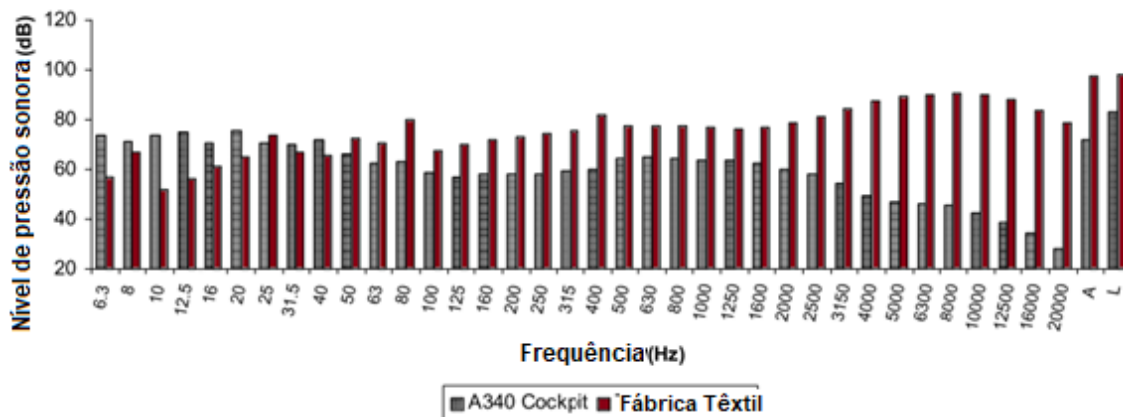
Tabela 4 - Comparação dos níveis de dB no A340 *Cockpit* e em todos os outros locais. Pico frequências refere-se às bandas de 1/3 de oitava onde a energia acústica foi altamente concentrada

Localizações (Cockpit vs. ...)	Diferença em dBA	Diferença em dBLin	Pico de Frequência (Hz)
Restaurant	0.5	3.1	12.5, 125 - 200
Train	0.7	8.8	25 - 125
Car	0.9	17.6	6.3 - 31.5
Trolley	0.6	13.9	6.3 - 100
Textile	25.1	15	80, 400
Dance Club	23	31.5	40 - 80
Boom Car	24.5	41.2	40 - 100

Fonte: Traduzido de Alves-Pereira et al., 2003.

No diagrama da Figura 16, evidencia-se a comparação das distribuições de frequência nos dois locais. Os níveis de dBA (A) na fábrica de têxteis são mais altos do que no *cockpit* (72,1 vs. 95,1), e os níveis de dBLin (L) diferem muito (83,2 vs. 98,2) devido às diferenças substanciais no nível de dB nas bandas com frequências superiores a 80 Hz.

Figura 16 - Diagrama da intensidade e frequência do *cockpit* versus fábrica têxtil



Fonte: Adaptado de Alves-Pereira et al., 2003.

2.6 Métodos de avaliação de incómodo causado pela exposição a RBF

A avaliação do incómodo do RBF pode-se basear em duas abordagens: i) através de uma avaliação subjetiva cujo enfoque é o incómodo relatado pela população exposta, por exemplo, através de inquéritos aos recetores do ruído; ii) e através de uma avaliação objetiva, nomeadamente através da medição e quantificação dos níveis sonoros *in situ*. As medições acústicas podem, desta forma, ser complementadas pela abordagem à população exposta ao RBF.

Segue-se de seguida a caracterização dos métodos utilizados nestas duas abordagens.

2.6.1 Abordagem Subjetiva: Inquéritos

O RBF é cada vez mais reconhecido como um problema a nível mundial (Leventhall, 2003; Moorhouse, Waddington e Adams, 2005). Recorrendo a relatos sobre experiências com o RBF nos últimos 30 anos, é possível obter uma boa imagem sobre os casos típicos

onde o papel do RBF se destaca. A população afetada pelo RBF tende a sofrer danos severos, não sendo estranho o facto de alguma destas pessoas dormir em diferentes locais, tais como dentro dos seus carros ou mesmo em anexos exteriores às suas casas, de forma a evitar esse ruído, podendo estes indivíduos apresentar sintomas depressivos, bem como tendências suicidas, em casos extremos (Moorhouse, Waddington e Adams, 2011).

Normalmente, uma fonte de RBF pode ser encontrada e tratada. Contudo, grande parte das fontes de ruído (50% a 80%) com impacte negativo nas pessoas não consegue ser encontrada/explicada, daí ainda ser um mistério a causa da perturbação nos indivíduos (Moorhouse et al., 2011).

A dificuldade da avaliação do incómodo causado pelo RBF torna-se difícil e prende-se, essencialmente, com a subjetividade do transtorno: uma pessoa pode descrever um som tão alto que outros podem nem ouvir. Uma possível explicação para alguns destes casos, nem sempre válida, é baseada na fisiologia do sistema auditivo humano para baixas frequências. Com efeito, a intensidade percebida pelos sons de baixa frequência aumenta rapidamente com o aumento da energia acústica e, portanto, os sons de baixa frequência, logo acima do limiar da audição, podem ser percebidos como ruidosos, até mesmo desconfortavelmente ruidosos (Moorhouse, Waddington e Adams, 2009).

Reconhecendo que o RBF é uma área de diversidade subjetiva complexa, de acordo com Leventhall (2003), as queixas de recetores sensíveis provenientes deste tipo de ruído, devem ser tratadas com sinceridade e empatia por parte do entrevistador em relação ao inquirido. Deste modo, uma abordagem na qual o entrevistador não detete o mesmo ruído sentido pelo inquirido, julgando-o ou pondo em causa essa mesma queixa, pode agravar os problemas da pessoa incomodada. Esta situação verifica-se, em especial, quando os queixosos são os únicos a sentir esse ruído nas suas casas.

De acordo com as indicações de Moorhouse et al. (2011) antes de realizar medições “*in situ*” os recetores de ruído devem ser entrevistados para ser possível:

- Determinar se a queixa deve ser classificada como um incómodo provocado por ruído de baixa frequência;
- Reunir dados nos horários em que o ruído ocorre e em que locais ocorre, para auxiliar nas medidas de planeamento;
- Reunir descrições do ruído, a fim de ajudar na análise dos dados registados e,
- Fornecer outras informações da envolvente para auxiliar a análise.

No relatório de RBF publicado por Stanger (2002), “*Technical Research Support for DEFRA Noise Programme*” apresentam-se os seguintes conselhos na abordagem da investigação de uma queixa: a primeira visita do investigador deve ser tratada com particular cuidado e abordada com uma mente aberta para evitar uma reação firme pelo queixoso; manter uma mente aberta no decorrer da investigação, discutindo o problema com o inquirido incomodado e obter um histórico e antecedentes. O histórico de antecedentes deve incluir as seguintes assuntos:

- Quando é que o ruído foi ouvido pela primeira vez.
- Qual o tipo de ruído ouvido.
- A duração e frequência da ocorrência do ruído.
- Reconhecimento do queixoso sobre a fonte.
- Efeitos do ruído na pessoa incomodada.
- Se outros membros da família ouvem o ruído.
- Se os vizinhos ouvem o ruído.
- Se a pessoa incomodada acredita que é particularmente sensível a outras fontes de ruído.

Tendo por base esta recolha de informação torna-se, então, possível complementar as avaliações de ruído no local, através de medições sonoras, onde é sentido o incómodo, ou onde se pensa que possa haver incómodo por parte dos recetores sensíveis, devido às características das fontes sonoras existentes nas proximidades.

2.6.2 Abordagem Objetiva: Medições acústicas

A avaliação e a previsão do incómodo devido ao RBF não são simples. O método mais comum de avaliação RBF executa-se através de sonómetro equipado com filtro de ponderação A. Porém, como foi anteriormente referido nos dados empíricos e como é documentado por alguns autores como Leventhall (2003) e Moorhouse et al. (2005, 2011), é evidente que a ponderação A sozinha não é bem-sucedida na avaliação do RBF (Alves, 2017). Tal como foi dito, isto deve-se ao facto desse filtro diminuir significativamente a contribuição da energia de baixa frequência de um som devido à reduzida sensibilidade da audição humana em baixas frequências (Broner, 2010).

Os métodos de medições usados na caracterização de ambientes acústicos definem, na análise da distribuição de frequências, segundo a legislação em vigor, intervalos de frequências limitados. Atualmente, na área da acústica ambiental quando se efetua a análise de frequências, os métodos são aplicáveis para bandas de terços de oitava entre os 50 Hz e os 5000 Hz (Alves-Pereira e Branco, 2009; Alves, Silva, Remoaldo e Arezes, 2016a; Carreira, 2016).

Normalmente, o limite inferior situa-se nos 50 Hz, sendo que abaixo deste valor os fenómenos acústicos são desvalorizados (Alves-Pereira e Branco, 2009). Desta forma, no estudo da incomodidade devido ao RBF, levanta-se a necessidade de diminuir o limite mínimo de avaliação, isto é, abaixo dos 50 Hz (Alves et al., 2016a).

Na escolha do método de medição, de acordo com Broner (2010), a ponderação C é a forma mais adequada para avaliar níveis de ruído elevados provenientes de fontes diversas, como o gerado por estabelecimentos de entretenimento. Segundo o mesmo autor, como o filtro de ponderação C inclui quase toda a energia de baixa frequência presente num sinal, este é, portanto, mais apropriado para avaliar situações onde a transmissão de ruído grave ou níveis significativamente elevados de RBF provenientes de instalações ou equipamentos podem constituir um problema para a comunidade.

Uma maneira possível de ter em conta que a ponderação A pode ser inapropriada para avaliar o RBF, é a adição de um valor de dB a um de dB(A) para o ruído com componentes de baixa frequência dominantes. Torna-se, então, necessário averiguar quando é que um ruído pode ser caracterizado como sendo de baixa frequência, bem como o quão grande a adição do valor de dB deve ser (Kjellberg, Tesarz, Holmberg e Landström, 1997).

Há também outras abordagens, nomeadamente a ponderação linear, dB(Z) ou dB(Lin), no caso de se pretender obter uma medida que não afete significativamente o conteúdo de baixa frequência de um sinal na medição do ruído, mas sim, que avalie a amplitude média de todo o ambiente acústico (Alves-Pereira e Branco, 2007; Kjellberg et al., 1997). Em seguida, serão apresentados alguns métodos usados na avaliação acústica de RBF, identificando as suas recomendações, bem como as suas limitações.

1. dB(C) menos dB(A) como indicador de RBF

A diferença entre os níveis de ruído ponderados C e A pode ser adotada como indicador de incómodo (Kjellberg et al., 1997; Broner e Leventhall, 1993), uma vez que esta

diferença é uma indicação da quantidade de energia de baixa frequência no ruído sentido (Downey e Parnell, 2017; Leventhall, 2003).

Com base neste método, Kjellberg et al. (1997) realizou um estudo junto de 508 trabalhadores com o objetivo de avaliar o ruído existente nos locais de trabalho, em escritórios, laboratórios e indústrias. O estudo concluiu que as correlações entre a diferença dB(C)-dB(A) e o incómodo sentido apresentavam um valor limitado. Porém, caso a diferença seja superior a 15 dB, uma adição de 6 dB ao nível ponderado A é um procedimento simples para se ter em conta as características de baixa frequência do ruído. De acordo com Leventhall (2003), se essa diferença for superior a 20 dB existe potencial para um problema de ruído de baixa frequência.

No entanto, a metodologia proposta por Kjellberg et al. (1997) não se revelou eficiente quando são utilizados níveis de dB(A) baixos, uma vez que as baixas frequências contêm uma parte que pode ser inaudível (os infrassons), podendo contribuir para a diferença dB(C)-dB(A), sem afetar o incómodo causado.

Para além desta metodologia não ser apropriada quando os níveis de ruído são baixos, também se verificaram limitações quando as medições são feitas a grandes distâncias da fonte. Essas limitações são causadas pela atenuação diferencial de frequências devido à absorção atmosférica (Downey e Parnell, 2017).

Desta forma, este método não tem grande credibilidade como um indicador de incómodo, mas é um indicador de utilização simples (Kjellberg et al., 1997; Leventhall, 2003).

2. Diferença entre dB(Lin) e dB(A) como um indicador de RBF

De acordo com Leventhall (2003), o incómodo do ruído em instalações industriais foi investigada por Cocchi, Fausti e Piva (1992), onde estes sugerem que a diferença entre uma ponderação linear e uma ponderação A pode ser utilizada como medida avaliadora de RBF. Para os espectros investigados, valores mais baixos de dBA (entre 20 e 35 dB(A)) apresentavam diferenças maiores (dB(Lin)-dB(A)), com valores de 20 a 30 dB. No caso de os níveis de ponderação A serem valores elevados (da ordem dos 60/70 dB(A)), a diferença variava de 10 a 30 dB, agrupando-se com maior ênfase entre os 10 dB e os 20 dB (Leventhall, 2003). Uma possível explicação é, como já foi dito no método anterior, o facto do ruído com baixos valores de dB(A) poder estar associado a uma maior proporção de baixas frequências (Leventhall, 2003).

3. Nível de ponderação global C como um indicador de RBF

A investigação de Hessler (2004) propôs limites do nível de pressão sonora equivalente com ponderação total C, necessários para evitar, ou pelo menos para minimizar, reclamações de residentes devidas ao ruído proveniente de fontes industriais de baixa frequência. Os valores de dB(C) máximos permitidos, propostos nesse estudo, para áreas residenciais suburbanas/urbanas, correspondiam L_{eq} 70 dB(C) durante o dia e L_{eq} 65 dB(C) durante a noite. Para áreas residenciais suburbanas e rurais, os limites eram de L_{eq} 65 dB(C) no período diurno e L_{eq} 60 dB(C) no período noturno.

Broner (2010), no seu estudo, dando continuidade ao de Hessler (2004), considera um conjunto diferente de critérios para escritórios comerciais e locais industriais em que a expectativa dos níveis de RBF aceitáveis eram maiores do que os recomendados para áreas residenciais, como se pode ver na tabela seguinte (Tabela 5).

Tabela 5 - Critérios para avaliar ruído ambiental de baixa frequência: limites dos valores L_{eq} (dB(C))

Tipo de exposição	Recetor Sensível	Intervalo	Leq de Critério (dB(C))
Residencial	Período noturno 24/7	Desejável	60
		Máximo	65
	Período diurno 1 - 2 horas	Desejável	65
		Máximo	70
Comercial/ Escritórios/ Industrial	Período noturno 24/7	Desejável	70
		Máximo	75
	Período diurno 1 - 2 horas	Desejável	75
		Máximo	80

Fonte: Traduzido de Broner (2010).

Nas indústrias, as turbinas a gás têm habitualmente emissões significativas na extremidade inferior da gama RBF, isto é, a energia de baixa frequência dominante situa-se entre 16 Hz e 63 Hz. Para as turbinas a gás com esses espectros típicos, os níveis propostos por Broner (2010) fornecem um nível adequado de proteção, independentemente do afastamento da fonte ao recetor sensível (Broner, 2010; Downey e Parnell, 2017). Contudo, este método apresenta algumas limitações. O método que recorre ao filtro de ponderação total C, proposto por Broner (2010), é considerado um indicador de RBF mais fiável do que o método da diferença entre as ponderações C e A. Porém, algumas indústrias apresentam um espectro com mais energia contida no limite

superior da extensão do RBF (parte audível do RBF), o que continua a ser causa de reclamações/protestos por parte da comunidade, apesar dos critérios recomendados serem cumpridos (Broner, 2010; Downey e Parnell, 2017).

Adicionalmente, a maior parte das fontes de ruído que produzam níveis superiores a 50 dB(A) excederão também os 60 dB(C) como consequência do nível de banda larga geral e não de matéria de RBF. Nestas situações, a aplicação de uma penalização irá enviar um processo de avaliação que tem por base o critério dB(A).

Downey e Parnell (2017) e Leventhall (2003) demonstram através de um exemplo as limitações deste método em relação ao da diferença dB(C)-dB(A). Nesse exemplo, os autores consideraram que para um ruído tonal de a 20 Hz para um nível de 70 dB poderia obter-se uma diferença dB(C)-dB(A) superior a 40 dB e, no caso do nível ponderado C total, poderia ser superior a 60 dB(C). Os resultados apresentados para ambos os métodos indicariam um potencial impacto de RBF, contudo, o nível de pressão sonora considerado (70 dB) a 20 Hz está abaixo do limiar auditivo humano e, por isso, não é provável que represente esse impacto.

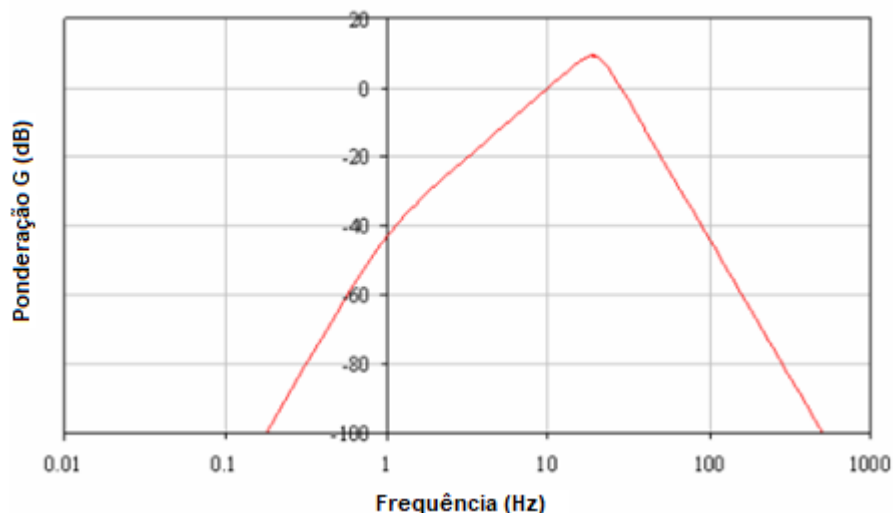
4. Ponderação G

A curva de ponderação G, especificamente projetada pela norma ISO 7196:1995 para infrassons, decresce rapidamente para valores de frequência acima de 20 Hz; abaixo de 20 Hz exprime a percepção humana aos infrassons apresentando uma inclinação de 12 dB por oitava até 2 Hz (Leventhall, 2003). Esta inclinação destina-se a dar uma avaliação subjetiva ao ruído na gama dos infrassons. Por exemplo, os níveis ponderados G da ordem dos 95 dB(G) ou 100 dB(G) encontram-se próximo do nível de percepção, já para os níveis ponderados G abaixo de 85 dB(G) ou 90 dB(G) não são, normalmente, significativos para a percepção humana (Leventhall, 2003).

A inclinação tanto abaixo de 1 Hz como acima de 20 Hz tem uma inclinação de -24 dB por oitava (Downey e Parnell, 2017), como se pode ver na Figura 17.

Esta ponderação tem relevância em relação à avaliação de um subconjunto de RBF, mas não obteve aceitação universal como indicador de incómodo, já que pode ocultar problemas em frequências compreendidas entre 30 Hz a 80 Hz (Downey e Parnell, 2017; Leventhall, 2003).

Figura 17 - Curva de ponderação G



Fonte: Downey e Parnell, 2017.

5. Análise baseada no espectro sonoro - Critério Nacional

O interesse nos critérios para a avaliação do RBF e a pressão a ele associada, bem como o facto do regulamento do ruído ambiental estabelecido pela regulamentação Europeia se basear no nível sonoro ponderado A (que filtra efetivamente os sons de baixa frequência), fez com que os alguns países desenvolvessem métodos com uma abordagem diferente para a avaliação dos problemas do RBF, por se sentirem insatisfeitos com as normas legislativas vigentes (Leventhall, 2003).

Estes critérios e abordagens do RBF aplicados na Europa são tipicamente baseados em curvas de referência de um terço de oitava, abrangendo geralmente as bandas de frequência dos 10 Hz aos 160 Hz, em oposição aos níveis globais de ruído ponderado em C e/ou às abordagens dB(C) menos dB(A) (Downey e Parnell, 2017).

Os métodos de avaliação utilizados em vários países da Europa (Tabela 6) comparam o limiar auditivo de baixa frequência, ou uma função relacionada a ele, com o problema do ruído. A Polónia, a Holanda, a Alemanha, a Dinamarca e a Suécia descrevem, nos seus métodos, uma curva de ruído limitante, que não deve ser excedida em qualquer banda, cujos níveis sonoros do limiar audível se encontram definidos na Tabela 6, sendo semelhante à definida pela ISO 226:2003 para o limite audível, entre 31,5 Hz e 50 Hz, que tende para 20 dB(A) (Leventhall, 2003). Por exemplo, o método usado na Polónia quando comparado com o método utilizado na Dinamarca, assume valores de referência

inferiores num total de 10 dB para cada banda de frequência, uma vez que a primeira se baseia em 10 dB(A) e a segunda em 20 dB(A) (Leventhall, 2003).

O método Alemão baseia-se na diferença entre os valores dos níveis sonoros L_{eq} ponderados em A e ponderados em C. Se a diferença dB(A)-dB(C) for superior a 20 dB, deve-se suspeitar de um problema de ruído de baixa frequência, funcionando apenas como indicador de incomodidade. Para além disso considera as características tonais do ruído devendo os níveis sofrer um aumento de 5 dB caso se verifique que uma das bandas excede a das adjacentes em 5 dB. Podendo ainda os valores de L_{eq} ser reduzidos em 5 dB se o ruído se verificar durante o período noturno (Stanger, 2002; Leventhall, 2003).

Tabela 6 - Comparação das curvas de referência dos vários países

Frequência Hz	Polónia	Alemanha	Holanda	Dinamarca	Suécia	ISO 226
	L_{A10} dB	DIN 45680 dB	NSG dB	Night 20dBA	dB	dB
8		103				
10	80.4	95		90.4		
12.5	83.4	87		93.4		
16	66.7	79		76.7		
20	60.5	71	74	70.5		74.3
25	54.7	63	64	64.7		65.0
31.5	49.3	55.5	55	59.4	56	56.3
40	44.6	48	46	54.6	49	48.4
50	40.2	40.5	39	50.2	43	41.7
63	36.2	33.5	33	46.2	41.5	35.5
80	32.5	28	27	42.5	40	29.8
100	29.1	23.5	22	39.1	38	25.1
125	26.1			36.1	36	20.7
160	23.4			33.4	34	16.8
200	20.9				32	13.8
250	18.6					11.2

Fonte: Traduzido de Leventhall, 2003.

No Reino Unido, o DEFRA no âmbito do desenvolvimento de uma abordagem de avaliação do ruído, realizou uma revisão aos critérios do RBF (Downey e Parnell, 2017; Moorhouse et al., 2005).

A abordagem DEFRA (2005; 2011) apresenta uma curva de critério, com o limite dos níveis definidos nas bandas de frequências de 10 Hz a 160 Hz, conforme se apresenta na Tabela 7 e, em seguida na Figura 18, onde também se representam os métodos utilizados em alguns países. Estes níveis podem ser relaxados em 5 dB se o som só ocorrer durante

o período diurno e/ou se o som for estável e não flutuante (Downey e Parnell, 2017; Moorhouse et al., 2005).

Alguns destes métodos aplicam correções, como o da ponderação com o filtro A, conduzindo a uma redução significativa dos níveis sonoros emitidos. O que pode contribuir, muitas vezes, para que os valores resultantes permaneçam abaixo dos níveis considerados incomodativos ou prejudiciais, quando comparados com as curvas de referência utilizadas em vários países (Alves, 2017).

Tabela 7 - Comparação da curva de flutuação DEFRA (curva de referência Britânica) com os restantes métodos, em que *HTL* significa *Hearing Threshold Level*, ou seja, nível de limiar auditivo

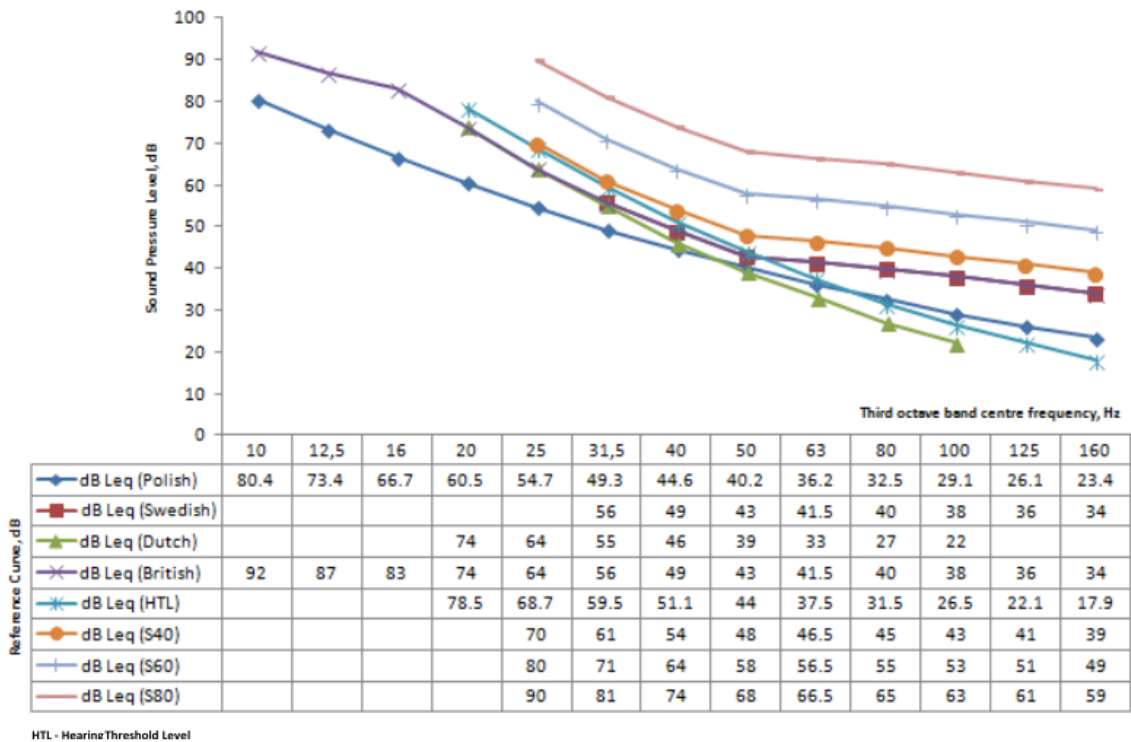
Banda de 1/3 de oitava (Hz)	Curva de Referência								
	Alemã	Sueca	Holandesa	Polaca	Britânica	HTL	S40	S60	S80
	Nível de pressão sonora (dB)								
8	103 ^{+50*}								
10	95 ⁺⁵⁰			80.4	92				
12.5	87 ⁺⁵⁰			73.4	87				
16	79 ⁺⁵⁰			66.7	83				
20	71 ⁺⁵⁰		74	60.5	74	78.5			
25	63 ⁺⁵⁰		64	54.7	64	68.7	70	80	90
31.5	55.5 ⁺⁵⁰	56	55	49.3	56	59.5	61	71	81
40	48 ⁺⁵⁰	49	46	44.6	49	51.1	54	64	74
50	40.5 ⁺⁵⁰	43	39	40.2	43	44	48	58	68
63	33.5 ⁺⁵⁰	41.5	33	36.2	41.5	37.5	46.5	56.5	66.5
80	28 ^{+40*}	40	27	32.5	40	31.5	45	55	65
100	23.5 ^{+30*}	38	22	29.1	38	26.5	43	53	63
125		36		26.1	36	22.1	41	51	61
160		34		23.4	34	17.9	39	49	59
200		32		20.9		14.4	37	47	57
250				18.6		11.4			

* Penalty for an equivalent-continuous level in case of tonal noise in the day/night period.

Fonte: Traduzido de Pawlaczyk-Luszczynska, Szymczak, Dudarewicz e Sliwinska-Kowalska, 2006.

De seguida, na Figura 18, encontram-se representadas as curvas da tabela anterior, considerando a representação dos níveis de pressão sonora com ponderação A relativos aos grupos de 40 dB, 60 dB e 80 dB (S40, S60 e S80, respetivamente).

Figura 18 - Curvas de referência utilizadas para avaliação da incomodidade devida à exposição ao ruído ambiental de baixa frequência



Fonte: Alves, 2017.

6. Metodologia DEFRA: NANR45

O procedimento desenvolvido na Universidade de Salford pelo DEFRA propõe a medição dos níveis sonoros durante 30 minutos e no período diurno, em bandas de 1/3 de oitava entre 10 Hz e 160 Hz (Moorhouse et al., 2005, 2011). O critério de incomodidade devido ao ruído de baixa frequência estabelecido neste procedimento corresponde aos seguintes passos (Alves, 2017; Moorhouse et al., 2005, 2011):

- Medir em L_{eq} , L_{10} e L_{90} , em bandas de 1/3 de oitava, entre 10 Hz e 160 Hz, sem ponderação de frequência. Os valores medidos em L_{eq} são comparados com uma curva critério, que corresponde a um limiar de incomodidade por banda de frequência. Se os valores de L_{eq} ultrapassarem os valores de referência é um indicativo de que a fonte de ruído poderá causar incomodidade (Figura 18 – cuja curva se designa por “dB L_{eq} (British)” e Tabela 7, coluna assinalada a vermelho).

- Determinar as características de fluutuabilidade do ruído através da medida dos indicadores L_{10} e L_{90} . O som apresenta características de fluutuabilidade quando $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB. Se $L_{10}-L_{90} < 4$ dB, o som é, de acordo com este método, classificado constante.

- Se o ruído ocorre apenas durante o dia, um relaxamento de 5 dB pode ser aplicado em todas as bandas de 1/3 de oitava.

- De acordo com este método, um som com características de fluutuabilidade, com um nível médio de 5 dB abaixo do limiar (curva de referência), pode ser audível, enquanto, um som contínuo é classificado de não audível.

A avaliação das características de fluutuabilidade do ruído foi determinada através da diferença $L_{10}-L_{90}$, por períodos de 1 minuto, durante os 15 minutos de cada medição, para as bandas de frequência que excediam a curva de critério DEFRA. Se os valores de $L_{10}-L_{90}$ determinados fossem superiores a 4 dB, apresentavam características de fluutuabilidade, caso contrário, são classificados de contínuos (Alves, 2017; Moorhouse et al., 2005, 2011).

2.7 Problemas de saúde provenientes do Ruído Industrial e do RBF

A população está diariamente exposta a níveis de ruído excessivos ou poluição sonora, devido não só ao desenvolvimento urbano como também às imposições da vida moderna, sendo as principais fontes os transportes, a indústria e algumas atividades de lazer. As consequências que esta agressão acústica provoca sobre vários sistemas e órgãos, para além do sistema auditivo, são hoje um problema de saúde pública (Cardoso et al., 2006). O estudo dos efeitos não auditivos na saúde pública provocados pelo ruído focam-se nas mudanças de indicadores individuais e no seu controlo, tais como a pressão sanguínea, a frequência cardíaca, a respiração, o funcionamento gastrointestinal, as funções endócrinas, o tamanho das pupilas e mudanças na tensão muscular. A maior parte destes parâmetros são considerados indicadores de stresse fisiológico (Arezes, 2002).

As vibrações associadas às baixas frequências através de fenómenos de ressonância, quando transmitidas para o corpo humano têm comportamentos distintos quando transmitidas diretamente através do contacto com uma fonte vibrátil, por exemplo, através dos membros (Cavacas, 2014). Segundo Cavacas (2014), os trabalhos de Mohr et al. (1965) e Slarve e Johnson (1975) no caso das vibrações originadas por ruído de baixa

frequência através de fenômenos de ressonância, permitiram concluir que toda a superfície corporal sofre uma estimulação e é frequentemente referida pelas pessoas expostas como sendo mais intensa no tórax e na cabeça. A mesma autora faz referência a outros estudos relativos aos efeitos na saúde provocados pelo RBF, nomeadamente de Santos et al. (2004; 2005); Fonseca et al. (2006) e Antunes et al. (2013). Estes estudos revelaram alterações ao nível do sistema vascular, linfático; cardiovascular e digestivo (estômago e duodeno), provocadas pela exposição ao RBF.

Cavacas (2014) conduziu também um estudo a um conjunto de animais que foram expostos ao ruído industrial de baixa frequência, de uma fábrica têxtil, durante 1 a 7 meses, 8 horas por dia, 5 dias por semana, de forma a simular o horário laboral normal. O estudo concluiu que o *stress* causado pela exposição a esse ruído induz hiperatividade dos músculos mastigadores, sugerindo a ocorrência de uma deterioração/envelhecimento precoce nos dentes dos animais expostos.

No relatório de Leventhall, “*A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects*” para a DEFRA, publicado em 2003, são mencionados vários estudos de laboratório da exposição de animais a infrassons, realizados por diversos autores como Alekseev et al. (1985), Nekhoroshev e Glinchikov (1991), Gordeladze et al. (1986); Svidovyi e Kuklina (1985); Alekseev et al. (1987) e Nekhoroshev e Glinchikov (1992); Shvaiko et al. (1984); Nekhoroshev (1985), Bohne e Harding (2000) e Parker et al. (1968); Nishimura et al. (1987) e Nekhoroshev and Glinchikov (1992); Svidovyi and Glinchikov (1987), que evidenciam efeitos adversos, respetivamente, para problemas vasculares (do miocárdio); da membrana conjuntiva (olho); do fígado; no metabolismo; problemas auditivos; no cérebro; e nos pulmões (Leventhall, 2003).

Muitos dos sintomas relatados por pessoas incomodadas pela perceção ou mesmo existência de RBF estão associados a problemas de saúde (algumas consideradas como doenças a longo prazo) como distúrbios no sono, dores de cabeça, tonturas, nistagmo (movimento rápido com os olhos), náuseas e vômitos, alterações mentais (nervosismo, excitabilidade, etc. que podem ser causadas por distúrbios endócrinos subjacentes, por exemplo, ao hipertireoidismo, à menopausa e a deficiências vitamínicas), dificuldades cognitivas, *tinnitus* (zumbido permanente), doença vibro-acústica - DVA (devido à exposição prolongada ao RBF) e alucinações, geralmente auditivas (Berglund et al. 1996; Leventhall, 2003; WHO, 2011; Cardoso et al., 2006; Alves-Pereira e Branco, 2007, 2009).

Na secção seguinte aborda-se a legislação em vigor, em Portugal, relativamente ao ruído ambiente e ocupacional, no que se refere a valores limite de exposição ao mesmo, bem como, às metodologias de avaliação de acordo com a mesma legislação.

2.8 Enquadramento da Legislação Portuguesa do Ruído Ambiental

Relativamente ao ruído ambiental, “a prevenção do ruído e o controlo da poluição sonora visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações constitui tarefa fundamental do Estado, nos termos da Constituição da República Portuguesa e da Lei de Bases do Ambiente.” (Decreto-Lei n.º 9/2007, de 17 de janeiro).

Assim, o Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de novembro, que aprovou o regime legal sobre poluição sonora, revogou o decreto-lei de 1987 (D.L. n.º 251/87, de 24 de junho) e reforçou a aplicação do princípio da prevenção em matéria de ruído. A transposição da Diretiva n.º 2002/49/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, tornou premente proceder a ajustamentos ao regime legal sobre poluição sonora aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de novembro, com as alterações introduzidas pelos Decretos-Leis n.ºs 76/2002, de 26 de março; 259/2002, de 23 de novembro; e 293/2003, de 19 de novembro, de modo a compatibilizá-lo com as normas ora aprovadas, em especial a adoção de indicadores de ruído ambiente harmonizados.

Mais tarde, transpondo a Diretiva anteriormente citada, é estabelecido um regime especial para a elaboração de mapas estratégicos de ruído, impondo a obrigação de recolha e de disponibilização de informação ao público relativa aos níveis de ruído ambiente sob a forma de mapas estratégicos de ruído. Os critérios definidos ao nível comunitário e a utilização de indicadores e métodos de avaliação harmonizados, bem como para os planos de ação, aprovados pelo Decreto-Lei n.º 146/2006 de 31 de julho que foi retificado pelo Decreto-Lei n.º 57/2006, a 31 de agosto de 2006, tornam-se obrigatórios.

Posteriormente, o Decreto-Lei n.º 221/2006, de 8 de novembro, estabelece as regras em matéria de emissões sonoras relativas à colocação no mercado e entrada em serviço de equipamento para utilização no exterior. Este Decreto-Lei transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva n.º 2005/88/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 14 de dezembro, que altera a Diretiva n.º 2000/14/CE, relativa à aproximação das legislações

dos Estados membros em matéria de emissões sonoras para o ambiente desses equipamentos.

O novo regulamento relativo ao ruído ambiente assenta no Decreto-Lei n.º 9/2007 de 17 de janeiro, retificado pela Declaração de Retificação n.º 18/2007 e alterado pelo Decreto-Lei n.º 278/2007 de 1 de agosto, que aprova o RGR e revoga o regime legal da poluição sonora, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 292/2000, de 14 de novembro.

Os aspetos mais importantes do Decreto-Lei n.º 9/2007, no contexto desta dissertação são:

1) Níveis sonoros contínuos equivalentes por períodos de dia (Art.º 3º):

Neste parâmetro distinguem-se três importantes indicadores de ruído (parâmetro físico-matemático para a descrição do ruído ambiente que tenha uma relação com um efeito prejudicial na saúde ou no bem-estar humano), definidos na Norma NP 1730-1:1996 para períodos representativos de um ano. Esses indicadores são o indicador de ruído diurno (L_d), do entardecer (L_e) e noturno (L_n).

- L_d – nível sonoro médio do período diurno compreendido entre as 7.00h e as 20.00h
- L_e – nível sonoro médio do período entardecer compreendido entre as 20.00h e as 23.00h
- L_n – nível sonoro médio do período noturno compreendido entre as 23.00h e as 7.00h
- Indicador de ruído ambiente composto é o indicador de ruído diurno-entardecer-noturno, expresso em dB(A), associado ao incómodo global, dado pela expressão:

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

2) Avaliação das características tonais do ruído (Art.º 13º, Anexo I):

Parâmetros para a aplicação do critério de incomodidade:

- O valor do L_{Aeq} dB(A) do ruído ambiente determinado durante a ocorrência do ruído particular deve ser corrigido de acordo com as características tonais ou impulsivas

do ruído particular, passando a designar-se por nível de avaliação, L_{Ar} , aplicando a seguinte fórmula: $L_{Ar} = L_{Aeq} + K_1 + K_2$, em que K_1 é a correção tonal e K_2 é a correção impulsiva.

Os valores são de $K_1 = 3$ dB(A) ou $K_2 = 3$ dB(A) se for detetado que as componentes tonais ou impulsivas, respetivamente, são características específicas do ruído particular, ou são de $K_1 = 0$ dB(A) ou $K_2 = 0$ dB(A) se estas componentes não forem identificadas. Caso se verifique a coexistência de componentes tonais e impulsivas a correção a adicionar é de $K_1 + K_2 = 6$ dB(A).

- O método para detetar as características tonais do ruído dentro do intervalo de tempo de avaliação, consiste em verificar, no espectro de um terço de oitava, se o nível sonoro de uma banda excede o das adjacentes em 5 dB(A) ou mais, caso em que o ruído deve ser considerado tonal.

- O método para detetar as características impulsivas do ruído dentro do intervalo de tempo de avaliação, consiste em determinar a diferença entre o nível sonoro contínuo equivalente, L_{Aeq} , medido em simultâneo com característica impulsiva e *fast*. Se esta diferença for superior a 6 dB(A), o ruído deve ser considerado impulsivo.

3) Classificação do território segundo o seu uso (Art.º 3º):

Na classificação do território surgem duas zonas de referência, as zonas sensíveis e as mistas. A zona sensível define-se como a área restringida 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.

Sendo a 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.

4) Valores limites de exposição (Art.º 11º):

Às zonas mistas e sensíveis estão associados valores limites de exposição que devem ser respeitados. São também previstos valores máximos admissíveis de ruído para zonas sensíveis na proximidade de grandes infraestruturas de tráfego (GIT) existente, não aéreo e aéreo, em projeto. Para além destas zonas são associados valores limites de exposição sonora a recetores sensíveis em zonas não classificadas. Os recetores sensíveis isolados não integrados em zonas classificadas, por estarem localizados fora dos perímetros urbanos, são equiparados, em função dos usos existentes na sua proximidade, a zonas sensíveis ou mistas. Estes limites encontram-se representados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores de exposição máximos para as diferentes classificações do território do uso do solo

Classificação de Zonas	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 Tráfego Valores-limite de exposição ao ruído ambiente exterior (MAOTDR, 2007)

Fonte: MAOTDR (2007).

- 5) A obrigatoriedade de elaboração de mapas estratégicos de ruído e de planos de ação pelos serviços municipais:

De acordo com o Decreto-lei citado, quanto aos planos municipais de ordenamento do território há uma série de regras a serem cumpridas (Art.º 6º):

- Esses planos devem assegurar a qualidade do ambiente sonoro, promovendo a distribuição adequada dos usos do território, tendo em consideração as fontes de ruído existentes e previstas;
- Os municípios têm como competência estabelecer nesses planos a classificação, a delimitação e a disciplina das zonas sensíveis e das zonas mistas;
- A classificação de zonas sensíveis e de zonas mistas que deve ser realizada na elaboração de novos planos e deve implicar a revisão ou alteração dos planos municipais de ordenamento do território em vigor.
- Os municípios devem acautelar, no âmbito das suas atribuições de ordenamento do território, a ocupação dos solos com usos suscetíveis de vir a determinar a

classificação da área como zona sensível, verificada a proximidade de infraestruturas de transporte existentes ou programadas.

Quanto aos mapas de ruído, há também alguns parâmetros a salientar (Art.º 7º):

- As câmaras municipais elaboram mapas de ruído para apoiar a elaboração, alteração e revisão dos PDM e dos planos de urbanização.
- As câmaras municipais elaboram relatórios sobre recolha de dados acústicos para apoiar a elaboração, alteração e revisão dos planos de pormenor, sem prejuízo de poderem elaborar mapas de ruído sempre que tal se justifique.
- Excetuam-se do disposto nos números anteriores os planos de urbanização e os planos de pormenor referentes a zonas exclusivamente industriais.
- A elaboração dos mapas de ruído tem em conta a informação acústica adequada, nomeadamente a obtida por técnicas de modelação apropriadas ou por recolha de dados acústicos realizada de acordo com técnicas de medição normalizadas.
- Os mapas de ruído são elaborados para os indicadores L_{den} e L_n reportados a uma altura de 4 m acima do solo.

6) Metodologias na realização de medições acústicas (Art.º 11º):

Para efeitos de verificação de conformidade dos valores fixados no presente artigo, a avaliação deve ser efetuada junto do ou no recetor sensível, por uma das seguintes formas:

- Realização de medições acústicas, sendo que os pontos de medição devem, sempre que tecnicamente possível, estar afastados, pelo menos, 3,5 m de qualquer estrutura refletora, à exceção do solo, e situar-se a uma altura de 3,8 m a 4,2 m acima do solo, quando aplicável, ou de 1,2 m a 1,5 m de altura acima do solo ou do nível de cada piso de interesse, nos restantes casos;
- Consulta dos mapas de ruído, desde que a situação em verificação seja passível de caracterização através dos valores neles representados.

Capítulo III - Avaliação da incomodidade do ruído industrial de baixa frequência

Neste capítulo serão abordados os métodos utilizados neste estudo tendo por base o objetivo do presente estudo. Assim, será descrito o modo como se procedeu na avaliação do ruído ambiental de baixa frequência proveniente de fontes industriais e a avaliação da incomodidade da população exposta a esse ruído, designados por recetores sensíveis, cujas residências se localizam na periferia de AAE.

O estudo engloba duas vertentes, uma objetiva, baseada nas medições do ambiente acústico *in situ* e, outra, subjetiva, através de inquéritos realizados aos recetores sensíveis. A componente objetiva refere-se às medições sonoras, realizadas *in situ*, em 6 locais do concelho de Guimarães, realizadas em Outubro de 2017 (estação de outono), nas AAE de Ponte e de Pevidém. Em cada AAE foram feitas medições em três pontos distintos.

Relativamente à análise subjetiva, os residentes que habitam nas imediações dos locais onde foram feitas as medições, foram questionados através da realização de um inquérito. Nas secções seguintes apresenta-se de forma detalhada os procedimentos relativos às duas vertentes em estudo.

3. Abordagem Objetiva: Avaliação do ambiente acústico

A abordagem objetiva permite quantificar os níveis de ruído a que a população em estudo se encontra exposta. Esta fase compreende a seleção das áreas em estudo e a sua caracterização, a captação do som e a sua caracterização e a medição dos níveis sonoros e a sua caracterização.

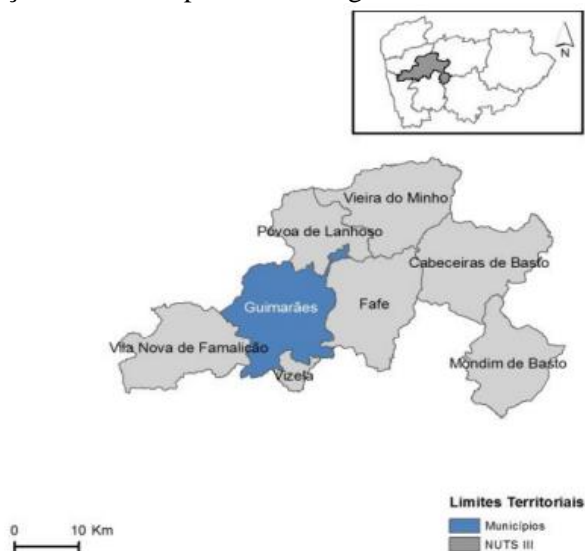
3.1 Seleção das áreas em estudo no Município de Guimarães

Neste estudo é importante começar-se pela caracterização do município de Guimarães para se perceber as características do território e do tecido empresarial, bem como das respetivas AAE, recorrendo, para o efeito, às publicações do Instituto Nacional de

Estatística (INE), nomeadamente aos Censos, entre os anos 1991 e 2011. Assim, serão abordados os aspetos globais do município de Guimarães, partindo das características da população e do território, bem como, da posição geográfica, até à análise da dinâmica empresarial. A posição geográfica tem um papel importante nessa dinâmica, já que resulta da evolução das estratégias decorrentes dos processos de desenvolvimento local e de opções políticas municipais e regionais.

Guimarães pertence ao distrito de Braga, região Norte e está integrado na NUTS (Nomenclatura de Unidades Territoriais para Fins Estatísticos) II Norte e na NUTS III Ave (Figura 19). O município encontra-se limitado a Norte e Noroeste pelos municípios de Póvoa de Lanhoso e de Braga, respetivamente, enquanto a Sul está limitado pelos municípios de Santo Tirso, Vizela e Felgueiras, a nascente pelo município de Fafe, e a poente por Vila Nova de Famalicão.

Figura 19 – Representação dos municípios da sub-região NUTS III Ave



Fonte: INE, 2015.

A origem de Guimarães remonta ao séc. X, evoluindo de uma propriedade rural, a Quintana de *Vimaranes*, para uma vila chamada *Vimaranes*, quando a Condessa Mumadona Dias, após ter ficado viúva do Conde Hermenegildo Mendes, mandou edificar um mosteiro, à volta do qual se começou a formar um burgo. Com o intuito de fortificar o local, manda também construir um Castelo, em que a vila de *Vimaranes* passa a ser constituída por duas vilas autónomas incluídas pela envolvente de muralhas externas mas divididas internamente por outra, ligando-se apenas por uma porta: uma era a Vila Alta e a outra a Vila Baixa (Matos, 2014; Meireles, 2000).

Derrubada a muralha de divisão, as vilas fundem-se, formam uma só e crescem até se expandirem além muralhas. A partir do séc. XVII, com o derrubamento da muralha de separação das vilas, estas fundem-se numa só começando a desenvolver-se para fora da área definida pela muralha. Este crescimento permitiu que Guimarães recebesse o título de cidade, em 23 de Junho de 1853, repartindo-se em 20 freguesias, com uma área de aproximadamente 23,5 km² (Meireles, 2000; Matos, 2014; Alves, 2017).

Guimarães, “Cidade Berço” de Portugal, ficou assim conhecida devido ao facto de aí ter sido estabelecido o Centro Administrativo do Condado Portucalense por D. Henrique e seu filho D. Afonso Henriques que, posteriormente, se torna o primeiro rei de Portugal (em 1143). Guimarães foi ainda importante por ter sido o palco da Batalha de S. Mamede (24 de Junho de 1128) e pelo papel que assumiu no processo de independência de Portugal (Meireles, 2000; Guia da Cidade CMG, 2015).

A “Cidade Berço” foi classificada pela UNESCO, em 2001, como cidade Património Cultural da Humanidade; em 2012 foi eleita como Capital Europeia da Cultura e em 2013, Cidade Europeia do Desporto (Matos, 2014; Guia da Cidade CMG, 2015).

Atualmente, o concelho de Guimarães é constituído por 48 freguesias, já que das 69 freguesias existentes, 21 delas foram agregadas com a Reforma Administrativa de 2013. Atualmente, o concelho de Guimarães abrange uma área total de 241 Km² e encontra-se subdividido em 69 freguesias, as quais foram agrupadas em 48 novas freguesias, mantendo as anteriores a "sua identidade histórica, cultural e social, conforme o estabelecido pela Lei n.º 22/2012 (Lei n.º 11-A/2013 - Diário da República n.º 19/2013; INE Censos, 2012).

Neste município, a população residente, em 1991, era de 143.984 habitantes tendo passado para 159.576 habitantes em 2001 (Tabela 9), ou seja sofreu uma variação positiva de 10,8% (Tabela 10).

As freguesias de Ponte e de São Jorge de Selho (Pevidém) apresentavam, em 1991, um total de 5276 habitantes e 4163 habitantes, respetivamente. Ao longo da década de 1990, a população residente aumentou nas duas freguesias: + 25%, em Ponte e +22,8%, em São Jorge de Selho. Assim, em 2001 a freguesia de Ponte tinha 6597 residentes e São Jorge de Selho (Pevidém) 5114 residentes.

Tabela 9 - Dados da população residente, nos anos de 1991 e 2001, em relação à região Norte (NUTS II), à sub-região do Ave (NUTS III), ao concelho de Guimarães e a duas freguesias do mesmo

Zona Geográfica	População residente											
	Em 1991						Em 2001					
	Total		Grupos etários				Total		Grupos etários			
	HM	H	0-14	15-24	25-64	65 ou mais	HM	H	0-14	15-24	25-64	65 ou mais
NUT II: Norte	3472715	1677310	767417	626413	1681865	397020	3687293	1782931	644948	558278	1969309	514758
NUT III: Ave	466074	227536	111804	89839	222004	42427	509968	249496	96363	81127	274349	58129
Guimarães	143984	70639	35947	29001	67602	11434	159576	78436	31245	26229	85779	16323
Ponte	5276	2623	1378	1102	2393	403	6597	3244	1492	1057	3548	500
Selho (São Jorge)	4163	2054	916	771	2090	386	5114	2475	922	808	2822	562

Fonte: Elaboração própria com base nos dados INE (1993, 2002).

Tabela 10 - Percentagem da variação da população residente, entre 1991 e 2001, em relação à região Norte (NUTS II), à sub-região do Ave (NUTS III), ao concelho de Guimarães e a duas freguesias do mesmo

Zona Geográfica	Variação entre 1991 e 2001 (%)				
	Var. Total	Grupos etários			
		0-14	15-24	25-64	65 ou mais
NUT II: Norte	6.2	-16	-10.9	17.1	29.7
NUT III: Ave	9.4	-13.8	-9.7	23.6	37
Guimarães	10.8	-13.1	-9.6	26.9	42.8
Ponte	25	8.3	-4.1	48.3	24.1
Selho (São Jorge)	22.8	0.7	4.8	35	45.6

Fonte: Elaboração própria com base nos dados INE (1993, 2002).

A população residente, em 2011, era de 158.124 habitantes (Tabela 11), o que significa que em relação a 2001, Guimarães sofreu uma variação de -0,91% (Tabela 12). Assim, a população deste município representava 31% da população da NUTS III Ave e 4,33% da Região Norte (NUTS II).

As freguesias de Ponte e de São Jorge de Selho (Pevidém) apresentavam, em 2011, um total de 6610 habitantes e 2723 habitantes, respetivamente. O que em relação ao ano de 2001 representa uma variação positiva de 0,2%, em Ponte, e de 9.99%, em São Jorge de Selho.

Tabela 11 - Dados da população residente, nos anos de 2001 e 2011, em relação à região Norte (NUTS II), à sub-região do Ave (NUTS III), ao concelho de Guimarães e a duas freguesias do mesmo

Zona Geográfica	População residente											
	Em 2001						Em 2011					
	Total		Grupos etários				Total		Grupos etários			
	HM	H	0-14	15-24	25-64	65 ou mais	HM	H	0-14	15-24	25-64	65 ou mais
NUT II: Norte	3687293	1782931	644948	558278	1969309	514758	3689682	1766260	557233	425876	2075134	631439
NUT III: Ave	509968	249496	96363	81127	274349	58129	511737	247027	79430	62706	294084	75517
Guimarães	159576	78436	31245	26229	85779	16323	158124	76767	24712	19961	91883	21568
Ponte	6597	3244	1492	1057	3548	500	6610	3223	1207	829	3902	672
Selho (São Jorge)	5114	2475	922	808	2822	562	5625	2723	900	618	3331	776

Fonte: Elaboração própria adaptada de INE (2002, 2012).

Tabela 12 - Percentagem da variação da população residente, entre 2001 e 2011, em relação à região Norte (NUTS II), à sub-região do Ave (NUTS III), ao concelho de Guimarães e a duas freguesias do mesmo

Zona Geográfica	Variação entre 2001 e 2011 (%)				
	Var. Total	Grupos etários			
		0-14	15-24	25-64	65 ou mais
NUT II: Norte	0.06	-13.60	-23.72	5.37	22.67
NUT III: Ave	0.35	-17.57	-22.71	7.19	29.91
Guimarães	-0.91	-20.91	-23.90	7.12	32.13
Ponte	0.20	-19.10	-21.57	9.98	34.40
Selho (São Jorge)	9.99	-2.39	-23.51	18.04	38.08

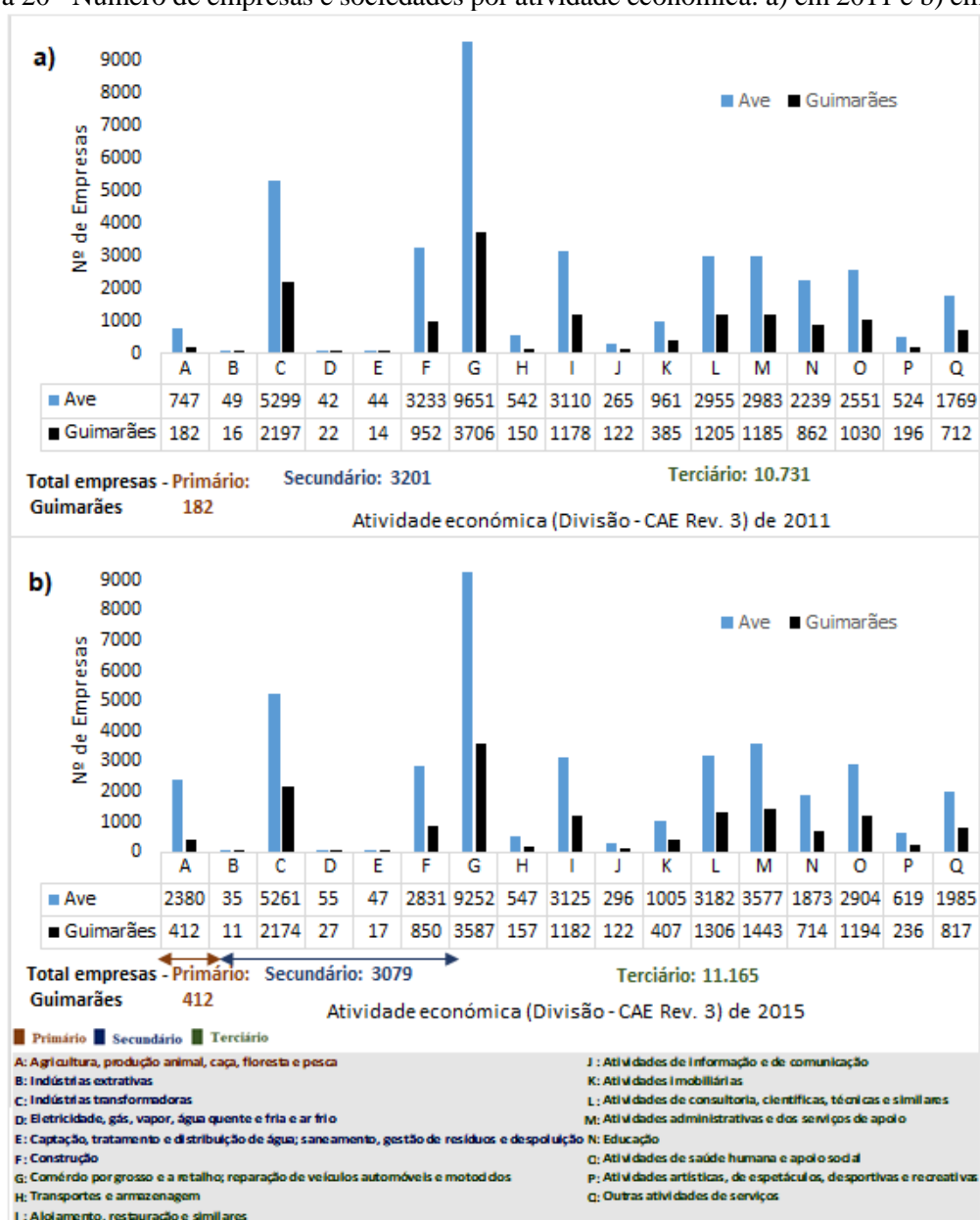
Fonte: Elaboração própria adaptada de INE (2002, 2012).

Relativamente à atividade económica, o município de Guimarães apresenta um número total de 14.114 empresas e sociedades por setor de atividade (Figura 20a). No Ave, o número total de empresas corresponde a 36.964, o que é bem elucidativo da importância económica que Guimarães assume no seio do Ave. Estes dados, referentes a 2011, sofreram um aumento positivo, verificando-se em 2015 um total de 14.656 empresas em Guimarães e 38.974 no Ave (ver Figura 20b) (INE, Sistemas de Contas, (2012, 2015).

O sector terciário revela-se, em Guimarães, em 2015, como a atividade económica dominante, com um total de 11.165 empresas, seguido do setor secundário, com um total de 3079 empresas e, por último, o setor primário, o menos representado com apenas 412 empresas (Figura 20b) (INE, Sistemas de Contas, 2012, 2015). Na última década, o sector terciário registou um forte desenvolvimento e foram criados muitos gabinetes de consultoria de apoio às empresas, já que o número de empresas e sociedades deste setor, em Guimarães, subiu de 10.731 para 11.165 empresas (Figura 20 a e b). Para além disso, foi também registado um crescimento da rede escolar e houve um elevado

desenvolvimento do Turismo. Embora, a maioria dos serviços públicos continue a concentrar-se na sede do Distrito, foi alterada a situação de peso residual do sector terciário na atividade económica local (Câmara Municipal de Guimarães - CMG, 2017). Das empresas com sede na região, tanto no município de Guimarães, como na sub-região do Ave, destacam-se as que estão ligadas à indústria transformadora (designada por C), no que se refere ao sector secundário, e as de comércio por grosso e a retalho (designada por G) no que respeita ao sector terciário, sendo estas últimas em maior número (Figura 20b).

Figura 20 - Número de empresas e sociedades por atividade económica: a) em 2011 e b) em 2015



Fonte: elaboração própria a partir dos dados do INE, Sistema de contas integradas das empresas, 2012, 2015).

No que diz respeito à indústria transformadora, na sub-região do Ave existiam em 2015 5261 empresas, das quais 2174 estão localizadas no concelho de Guimarães (Figura 20b), notando-se uma diminuição relativamente ao ano 2011 (Figura 20a, Tabela 13).

Das indústrias transformadoras, em 2015, a indústria têxtil era a que mais se destacava tanto para a economia da sub-região do Ave (com 2928 empresas, num total de 5261), como para a economia de Guimarães, representada por 1264 empresas, num total de 2174 empresas (Tabela 13).

A indústria metalúrgica também contribuía para a economia municipal, assim como as cutelarias, cujas marcas portuguesas mais conceituadas do sector estão sedeadas em Guimarães (Tabela 13) (CMG, 2017). A indústria de curtumes que foi a atividade pioneira, no século XIX (CMG, 2017), mantém-se presente em 240 empresas, como se pode verificar na Tabela 13.

Tabela 13 - Número de empresas da indústria transformadora, referentes ao ano 2015 e 2011

Ano	Localização geográfica (NUTS - 2013)	Quantidade de Indústrias Tranformadoras (Divisão - CAE Rev. 3)							
		TOTAL	Indústrias alimentares	Indústria das bebidas	Indústrias têxteis	Indústria do couro e dos produtos do couro	Indústrias da madeira e da cortiça e suas obras	Indústrias metalúrgicas de base	Fabrico de mobiliário e de colchões
2011	Ave	5299	292	39	3005	299	242	21	116
	Guimarães	2197	78	12	1324	207	63	7	33
2015	Ave	5261	279	52	2928	358	214	23	109
	Guimarães	2174	81	11	1264	240	56	9	37

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INE, Sistema de contas integradas das empresas, 2012, 2015).

3.2 Seleção das áreas em estudo

As zonas de monitorização foram escolhidas tendo em conta dois parâmetros, nomeadamente, os tipos de indústria com características mais propícias à produção de RBF e as zonas habitacionais em potencial conflito entre essas indústrias. Desta forma, nessa escolha as condições necessárias a verificar, em simultâneo, eram as seguintes:

1. Proximidade de áreas residenciais às AAE;
2. Existência, nos potenciais locais de conflito identificados, do tipo de indústria que mais contribui para o RBF;

3. Isolamento da fonte, isto é, inexistência de outras fontes de poluição sonora.

Relativamente ao primeiro critério – “*Proximidade de áreas residenciais às AAE*” foi feita uma análise espacial para se verificar em que espaços do concelho havia uma maior proximidade física entre as AAE e áreas residenciais. Como Guimarães se caracteriza por uma intensa urbanização difusa, identificaram-se vários casos que cumpriam esse requisito, nomeadamente nas AAE situadas em São João de Ponte, em Azurém (Monte Largo), em Ronfe e em São Jorge de Selho (Pevidém). Nas Figuras 21, 22, 23 e 24 apresentam-se alguns exemplos de zonas residenciais contíguas a cada uma das mencionadas AAE.

As referidas análises espaciais foram realizadas tendo por suporte os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tendo-se utilizado para o efeito o *software ArcGIS* da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*).

Figura 21 - Potenciais pontos de conflito de RBF em áreas residenciais na AAE de São João da Ponte



Fonte: Obtido através do *Software ArcGIS*.

Figura 22 - Potenciais pontos de conflito de RBF em áreas residenciais na AAE de Monte Largo, em Azurém



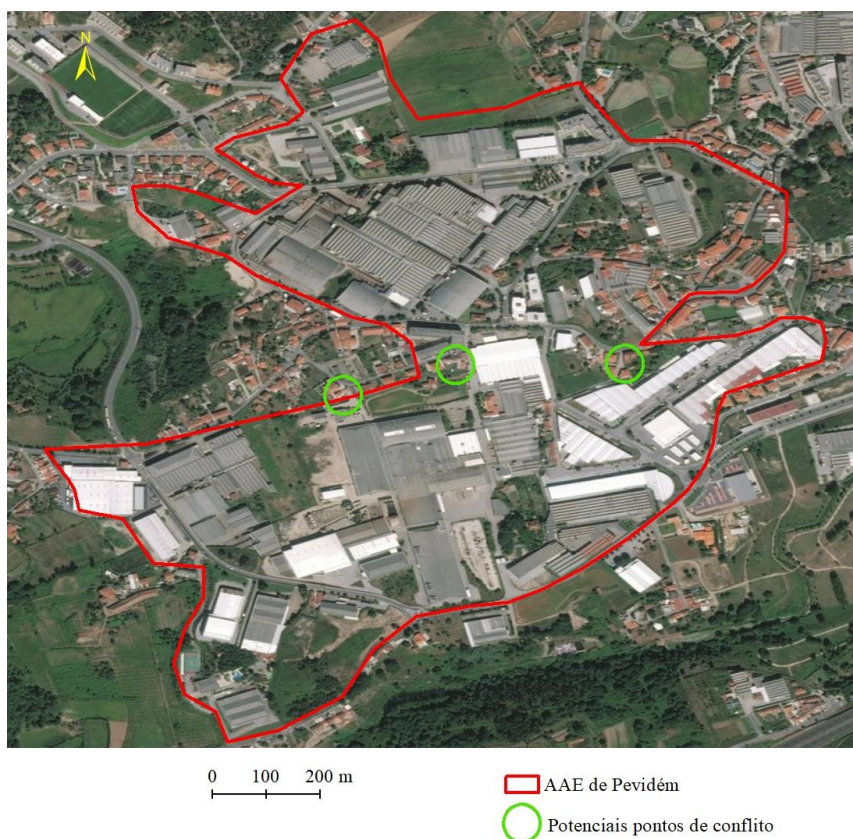
Fonte: Obtido através do *Software ArcGIS*.

Figura 23 - Potenciais pontos de conflito de RBF em áreas residenciais na AAE de Ronfe



Fonte: Obtido através do *Software ArcGIS*.

Figura 24 - Potenciais pontos de conflito de RBF em áreas residenciais na AAE de São Jorge de Selho, em Pevidém



Fonte: Obtido através do *Software ArcGIS*.

Quanto ao segundo parâmetro – “*Existência, nos locais de conflito identificados, do tipo de indústria que mais contribui para o RBF*” – começou-se por proceder à identificação das empresas nas respetivas AAE. Para o efeito, utilizou-se o Sistema de Contas Integradas das Empresas (INE, 2015), onde consta a localização das empresas. Tal base foi também utilizada por outros autores em estudos envolvendo as AAE (Fonseca, 2014). Depois, procedeu-se à confirmação da localização das empresas em deslocações às AAE. A seleção das indústrias que mais contribui para o RBF baseou-se na revisão da literatura. Apesar de não ser um tópico muito explorado, verificou-se que alguns autores utilizaram predominantemente as indústrias têxteis para apurar o seu impacto no RBF (Cardoso et al., 2006; Cavacas, 2014). As turbinas a gás, os ventiladores e os silos de extração das indústrias têm também sido objeto de estudos idênticos (Alves-Pereira e Branco, 2007; Berglund et al., 1996; Broner, 1978), por serem, como referido no capítulo anterior, fontes de RBF. Outro aspeto pertinente prende-se com o facto de as indústrias necessitarem de fontes de energia para que o seu funcionamento seja possível, notando-se frequentemente a sua proximidade a cabos de alta tensão ou, até mesmo, centrais elétricas, que são,

também, fontes de RBF (Alves, 2017). Assim, considerou-se utilizar-se neste estudo as indústrias do setor têxtil e das indústrias com turbinas a gás, ventiladores ou silos para determinar o seu impacto no RBF detetado nas áreas residenciais contíguas.

No que se refere ao último parâmetro – “*Isolamento da fonte, isto é, inexistência de outras fontes de poluição sonora*” – e, uma vez que se pretende avaliar o ambiente sonoro proveniente de indústrias em relação aos recetores sensíveis, era condicionante, para obter resultados mais fidedignos, que os locais selecionados para executar as medições de ruído estivessem distantes de outras fontes de poluição sonora. Deste modo, procurou-se distanciar os locais de medição de outras fontes, como vias de tráfego elevado (estradas nacionais, vias rápidas e autoestradas), que constituem reconhecidamente uma fonte com elevada contribuição de RBF. Desta forma, constatou-se que as AAE relativas a Azurém (Monte Largo) e a Ronfe não se adequavam neste parâmetro, já que são atravessadas por vias com elevado tráfego e, não somente, estradas de acesso aos parques industriais, como o caso das AAE de São João de Ponte e São Jorge de Selho, em Pevidém.

A conjugação destas três condições determinou a seleção das AAE de São João da Ponte e de São Jorge de Selho (Pevidém) para se analisar o potencial impacto do RBF gerado pela indústria em áreas residenciais contíguas. Os pontos de medição que conjugam as duas primeiras condições (proximidade e tipo de indústria selecionado) encontram-se representados no subcapítulo seguinte.

3.3 Caracterização das duas áreas em estudo

As duas AAE selecionadas localizam-se no município de Guimarães e mais concretamente nas freguesias de São João de Ponte e São Jorge de Selho (Figura 25).

A freguesia de Ponte é uma da vila situada a 5 km da sede do município, geograficamente localizada no centro-norte do concelho.

A Vila de Ponte encontra-se localizada na margem esquerda do rio Ave, é vizinha das também vilas de Brito e Caldas das Taipas e apresenta-se como uma das maiores e mais extensas freguesias do concelho (A Nossa Terra, 2008), sendo também uma das mais povoadas, com 6.610 habitantes (INE, 2012). A construção do Parque Industrial do

Miogo, conhecido como Parque Industrial de São João de Ponte, tem sido um dos principais motivos do seu crescimento económico (A Nossa Terra, 2008).

O Parque Industrial de São João de Ponte é um dos mais antigos do País e a sua origem remonta à década de 1970 (Fonseca; Silva; Ramos, 2016). Desde 1995, este parque foi, também, um dos motivadores da elevação da freguesia a Vila. O sector industrial, em especial, a indústria de têxtil, é a maior força económica da Vila (A Nossa Terra, 2008). Atualmente existem, nesta freguesia, 303 empresas ou instalações industriais ativas (Universia Portugal, 2016).

Figura 25 - Localização das freguesias de São João de Ponte e Selho São Jorge no município de Guimarães



Fonte: Adaptado de Câmara Municipal de Guimarães, 2017.

A freguesia de Selho São Jorge está localizada entre o rio Selho e o rio Ave, situa-se a 6 km da sede de concelho e, geograficamente, insere-se a oeste da cidade de Guimarães. Tornou-se vila em 21 de Junho de 1995, passando a ser denominada por Vila de Pevidém, atribuição essa, com origem no local aí existente, onde habitava um casal na “Casa do Pevidém”, no século XX (A Nossa Terra, 2008).

A Vila de Pevidém tinha, em 2011, 5.625 habitantes, dos quais 2.723 eram homens e 2.902 eram mulheres (INE, 2012).

A atividade económica de Pevidém centra-se, essencialmente, na indústria, nomeadamente do sector têxtil. A atividade dos sectores dos serviços e comércio é também relevante. As associações existentes são em grande número e todos estes fatores permitem a esta localidade assumir-se como parte integrante do espectro urbano do município vimaranense (A Nossa Terra, 2008).

São Jorge de Selho (Pevidém) contam, atualmente, 283 empresas ou instalações industriais ativas (Universia Portugal, 2016).

Quanto à tipologia da área urbana, as freguesias de São João Ponte e de São Jorge de Selho apresentam uma área urbana consolidada de 601 ha e 520 ha, respetivamente, tal como se encontra descrito na Tabela 14.

Tabela 14 - Indicadores urbanos das freguesias de São João de Ponte e de São Jorge de Selho

Freguesia	Tipologia de área urbana	Área (Km ²)	Área verde (Km ²)	Nº de alojamentos	Nº de edifícios	Nº de arruamentos
Selho São Jorge	Urbano com industrialização	5,20	0,047	2328	1441	94
Ponte	Urbano com industrialização	6,01	0,108	2758	1797	135

Fonte: Adaptado de Câmara Municipal de Guimarães, 2017a com base nos dados do INE, 2012.

3.4 Localização dos pontos de avaliação escolhidos

Depois de identificadas as áreas de estudo nas duas freguesias, procedeu-se à seleção dos locais de maior interesse, através do *software ArcGIS*. Nessa seleção foram tidas em consideração as três condições definidas no subcapítulo 3.2.

Em cada AAE foram selecionados três pontos de medição que se encontram na parte frontal ou lateral de moradias (recetores sensíveis). As habitações encontram-se separadas das instalações industriais (fonte de ruído em análise), por um passeio ou por uma estrada de acesso à AAE.

Dois dos três pontos referentes à AAE de São João de Ponte (Figura 26) localizam-se na Rua das Cortes de Cima e o último localiza-se na Rua das Cortes.

Por forma a simplificar a análise de resultados, foi atribuído um número, a cada ponto de medição, com base na ordem em que as medições foram realizadas.

Figura 26 - Identificação dos três locais (assinalados a verde) de avaliação, Parque Industrial de São João Ponte



Fonte: Adaptado *Google Earth*, 2017.

Relativamente à AAE de Pevidém, dois dos três pontos situam-se na Rua Burgo e o outro ponto localiza-se na Rua Primeiro de Maio. A localização destes três pontos encontra-se representada na Figura 27.

Figura 27 - Identificação dos três locais (assinalados a verde) de avaliação, Parque Industrial de São Jorge de Selho (Pevidém)



Fonte: Adaptado de *Google Earth*, 2017.

3.5 Medições de Ruído Ambiente: medição dos níveis sonoros

Identificadas as duas AAE em estudo, no município de Guimarães, bem como os pontos para a medição do RBF, neste subcapítulo será apresentado o equipamento utilizado na gravação do som e serão descritos os procedimentos que o mesmo processo exigia.

3.5.1 Equipamento utilizado nas medições (sonómetro) e procedimentos da gravação do som

Esta fase do estudo foi realizada em Outubro de 2017 (estação de outono), *in situ*, nas AAE anteriormente mencionadas (em Ponte e em Pevidém), num total de 6 locais.

O propósito do estudo prende-se com a necessidade de analisar o espectro sonoro do ruído medido, nomeadamente avaliar o RBF proveniente de fontes industriais.

Quando se pretende medir o ruído ambiente deve-se ter em conta as características que influenciam a incomodidade, sendo necessário ter conhecimento de parâmetros mais específicos. Foram já referidos, no capítulo anterior, os fatores de incomodidade que vão ditar os indicadores que se pretendem obter através do uso de um sonómetro que seja capaz de os medir. Esses indicadores são os seguintes: o nível de pressão sonora; o espectro de frequências (com capacidade de análise de espectro de frequência, medindo o espectro em 1/1 ou 1/3 de oitava); características temporais impulsivas ou constantes (com capacidade de medir as constantes de tempo de *Fast* e *Impulse*, em simultâneo); e, por último, o tempo de exposição (com memória para medir durante períodos de tempo prolongados).

Desta forma, os sonómetros foram concebidos para medir o nível de pressão sonora e captar sons de forma similar ao sistema auditivo humano, podendo, caso se pretenda, analisar as frequências, dando-se destaque para essa preferência quando se pretende caracterizar o ruído ambiente (Alves, 2017; Silva, 2007).

O microfone é uma das principais partes constituintes de um sonómetro, sendo responsável por converter a variação da pressão que recebe num sinal elétrico. Depois de recebido, esse sinal é amplificado no pré-amplificador, onde pode ser filtrado através dos filtros de ponderação (A, B, C e D) ou simplesmente não serem usados filtros (Z ou Lin), seguindo, posteriormente, para o módulo detetor. Este módulo permite ao sonómetro

realizar a leitura do som mediante o modo de leitura definido, em tempos de resposta distintos: *Slow*, *Fast* e *Impulse*. A escolha do tipo de leitura é condicionada pelo tipo de aplicação (Alves, 2017). O RGR, por exemplo, recomenda o modo *Fast* para caracterizar o ruído ambiental e a utilização do filtro de frequência A (Silva, 2007).

Os sonómetros integradores, como o caso do sonómetro utilizado, permitem o cálculo do ruído equivalente L_{eq} , que corresponde ao valor da energia sonora recolhida durante todo o período de medição, bem como os indicadores de nível sonoro máximo (L_{max}) e mínimo (L_{min}), registados para o mesmo período (Silva, 2007).

Assim, os níveis de pressão sonora foram medidos com um sonómetro de Classe 1 (designação atribuída a sonómetros mais complexos e de maior precisão), apoiado num tripé, a uma altura de 1,5 metros, afastado de superfícies e obstáculos a uma distância superior a 3,5 metros (Figura 28).

Figura 28 – Sonómetro Classe 1: *01 dB Cube*



Fonte: Fotografia tirada pela autora em 30/10/2017.

O sonómetro utilizado no estudo de campo, *01dB CUBE*, incorpora no seu equipamento um cartão de memória (SD Card de 2 GB) que permitiu, numa fase inicial (antes de realizadas as medições de ruído ambiental), criar uma pasta intitulada “*Ind_RBF*”, onde ficaram guardadas todas as gravações executadas.

Escolhido o equipamento a utilizar para o tipo de avaliação em causa, na segunda fase, procurou-se, também, identificar os indicadores com interesse para a mesma.

Como se pretendia avaliar o ruído ambiental de baixa frequência medição foi feita sem a utilização de filtro de ponderação, em frequências de 1/3 de oitava e considerando uma banda de frequências mais abrangente, inferior a 50 Hz, tal como foi referido na revisão bibliográfica, com um intervalo de frequência entre 6,3 Hz e os 500 Hz.

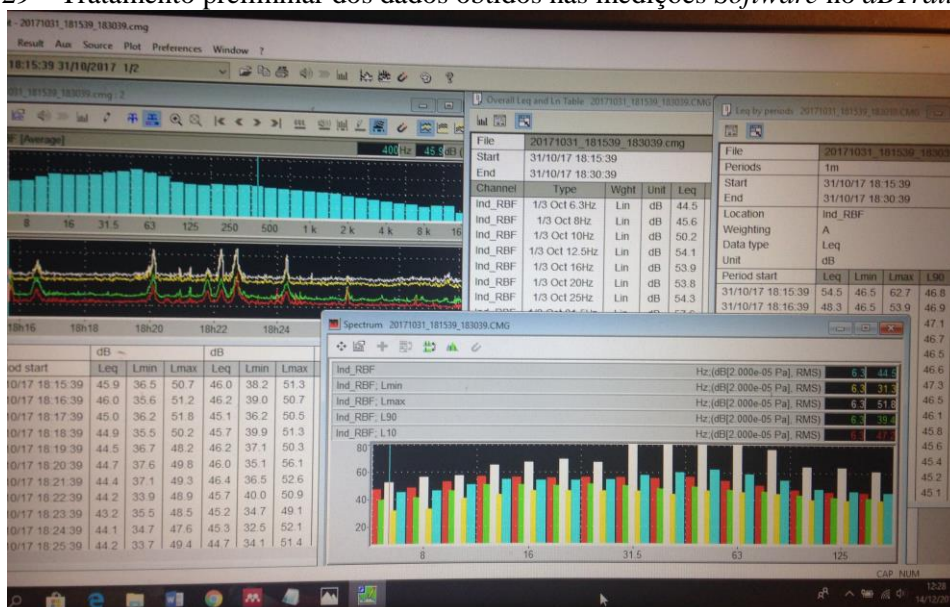
Cada medição teve a duração de 15 minutos e foram efetuadas duas gravações sonoras, seguidas, para cada ponto, realizadas no mesmo dia, com iguais condições meteorológicas, sem o protetor de vento, a uma distância aproximada da fonte (de cada pavilhão industrial) de pelo menos 5 metros.

A gravação do som foi realizada com o referido sonómetro (*01 dB Cube*). No dia 30/10/2017, foi realizada a primeira medição, no Ponto 1 pertencente à AAE de São João de Ponte, com condições meteorológicas favoráveis, em que a humidade relativa do ar era de 44%. Neste dia, a medição teve início às 16h24, tendo terminado às 16h55, sendo que neste intervalo foram realizadas duas medições (com duração de 15 minutos), com uma breve pausa entre elas, já que como atrás referido, para cada ponto, efetuaram-se duas medições. Como se referiu, para cada ponto, efetuaram-se duas medições.

As medições nos restantes pontos foram realizadas no dia 31/10/2017. Neste dia, os outros dois pontos localizados na AAE de São João de Ponte (Ponto 1 e Ponto 2) foram medidos na parte da manhã, entre as 10h04 e as 11h28, com condições meteorológicas favoráveis, em que a humidade relativa do ar variou entre 50% e 56%. Na parte da tarde, entre as 16h08 e as 18h30, foram executadas as medições sonoras nos três pontos da AAE de Pevidém. Todas as medições foram realizadas no período laboral das fábricas.

Depois de concluídas as medições, procedeu-se à análise espectral e da flutuabilidade do ruído, dos seis pontos escolhidos, cujos resultados serão apresentados nos próximos subcapítulos. Na fase final, a análise dos valores obtidos nas áreas em estudo foi realizada com recurso a um *software* de alto desempenho para o processamento dos dados acústicos, vibratórios e meteorológicos gerados pelos principais sistemas de aquisição, o *dBTRAIT* (Figura 29).

Figura 29 – Tratamento preliminar dos dados obtidos nas medições *Software* no *dBTrait*



Fonte: Retirado do *Software dBTrait*.

Para isso, houve a necessidade de exportar os dados gravados através do sonómetro *01dB CUBE* para o computador. Uma vez instalado o *Software dBTrait*, os dados contidos no *SD Card*, na pasta “*Ind_RBF*” foram exportados para o computador, tendo depois sido analisados através da folha de cálculo do *Excel*.

3.5.2 Caracterização detalhada de cada ponto de medição

Por forma a simplificar a análise de resultados, foi atribuído um número, a cada ponto de medição, com base na ordem em que as medições foram realizadas.

Para cada local de medição, foram registadas diversas informações, como por exemplo, o nome da rua e o número de polícia (número da porta da habitação) onde a medição foi efetuada, a localização do sonómetro em relação à fonte e as ocorrências/observações no período de medição, nomeadamente, a passagem de veículos ligeiros e pesados e/ou ruído de outras fontes distintas da fonte principal.

Em conformidade, os pontos 1, 2 e 3 referem-se à AAE de São João de Ponte (Figura 30).

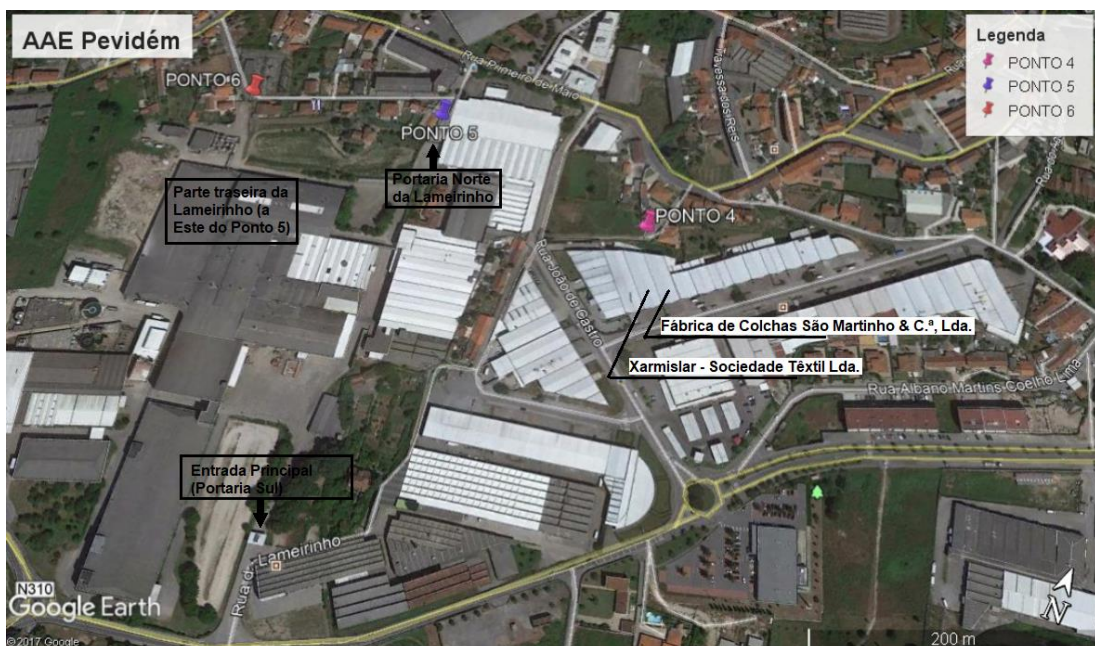
Figura 30 - Representação dos pontos 1, 2 e 3 relativamente aos recetores sensíveis e a identificação das indústrias (fontes de ruído)



Fonte: Elaboração própria a partir da imagem obtida no *Google Earth* (2017).

Os pontos 4, 5 e 6 referem-se à AAE de Pevidém. Na Figura 31 ilustra-se a localização desses pontos bem como a identificação da fonte de ruído proveniente da atividade industrial na proximidade de cada um desses pontos.

Figura 31 - Representação dos pontos 4, 5 e 6 relativamente aos recetores sensíveis e a identificação das indústrias (fontes de ruído)



Fonte: Elaboração própria a partir da imagem obtida no *Google Earth* (2017).

Ponto 1

Este ponto localiza-se, a uma distância superior a 3,5 metros da residência (recetor sensível), número de polícia 696. A Rua das Cortes, São João de Ponte. A referida rua separa o referido recetor da fonte de ruído industrial.

O Ponto 1 situa-se, assim, entre a parte traseira do pavilhão industrial e a parte frontal da residência (ver Figura 32 e 33).

Figura 32 – Localização do Ponto 1: sonómetro instalado junto à habitação com número de polícia 696



Fonte: Fotografia tirada no dia da medição.

Figura 33 - Localização do Ponto 1: sonómetro instalado junto à indústria



Fonte: Fotografia tirada no dia da medição.

A fonte de ruído de origem industrial, avaliada neste ponto, refere-se à fábrica *EMEC* (*Eduardo, Meireles e C^a, Lda.*) cuja atividade corresponde à transformação de vidro plano, onde é feito, entre outros procedimentos, o corte, o polimento de arestas, a perfuração e a enconchagem do mesmo, para posteriormente ser utilizado na indústria de refrigeração, do mobiliário e outras. Na parte de trás da fábrica, foi possível identificar os sistemas de exaustão e ventilação da mesma (Figura 33), motivo pelo qual se tenha escolhido este ponto de medição, mesmo não tendo dados relativos da contribuição desta fonte sonora relativamente ao RBF. Na Figura 33 é, também, claro a proximidade da fábrica a um cabo de alta tensão.

No Ponto 1 efetuaram-se duas medições (15 minutos para cada medição), em que a primeira medição teve início às 16h24 e a segunda às 16h40. Durante as medições foram registadas as ocorrências conforme o descrito na Tabela 15.

Tabela 15 - Descrição dos parâmetros da medição sonora, relativos ao Ponto 1

Parque Industrial S. João de Ponte				
Ponto	Dados	Hora de início	Indústria	Ocorrências e Observações
1	24°C HR 44%	16h24	EMEC (Transformação de vidro plano para a indústria de refrigeração, mobiliário, etc.)	. Parte traseira do pavilhão industrial; . Parte da frente da casa, nº de polícia <u>696</u> ; . Portão do pavilhão industrial <u>aberto</u> ; . <u>7 veículos ligeiros</u> na Rua das Cortes; . Ao <u>minuto 7</u> : Corte de pedra.
		16h40 2ª medição		. <u>4 veículos pesados</u> na Rua das Cortes; . <u>9 veículos ligeiros</u> nessa Rua; . <u>Sem corte de pedra</u> .

Fonte: Elaboração própria a partir da observação das ocorrências no local.

Ponto 2

O Ponto 2, distanciado da residência (recetor sensível), número de polícia 193, a mais de 3,5 metros, situa-se na Rua das Cortes de Cima, São João de Ponte. A sua posição encontra-se entre a parte lateral do pavilhão industrial e a parte traseira e visível, através deste ponto, do espaço livre com relvado, da casa.

A fonte e o recetor sensível enunciados encontram-se separados pelo parque de estacionamento do pavilhão industrial (Figura 34 e 35).

Figura 34 – Localização do ponto 2: sonómetro instalado junto à habitação com número de polícia 193



Fonte: Fotografia tirada no dia da medição.

Figura 35 - Localização do ponto 2: sonómetro instalado junto à indústria



Fonte: Fotografia tirada no dia da medição.

A potencial fonte de RBF situada no ponto 2 corresponde à *Jordão Cooling Systems*, indústria que se dedica ao fabrico de equipamentos de refrigeração comercial de pequena, média e grande dimensão, para os segmentos alimentar e horeca. Através do equipamento produzido, oferece soluções para a exposição e a conservação de produtos alimentares e bebidas. Na parte lateral da fábrica, foram identificados os sistemas de ventilação da mesma bem como a existência de um silo, motivo pelo qual se tenha escolhido este ponto de medição, por se presumir que estes fatores constituam, conforme o referido na revisão

bibliográfica, uma potencial fonte de RBF (Figura 35). Na Figura 33 verifica-se a proximidade da habitação a um cabo de alta tensão.

Neste ponto efetuaram-se duas medições (15 minutos para cada medição), tendo-se iniciado a primeira às 10h04 e a segunda às 10h21. Durante as medições foram registadas as ocorrências descritas na Tabela 16.

Tabela 16 - Descrição dos parâmetros da medição sonora, relativos ao Ponto 2

Parque Industrial S. João de Ponte				
Ponto	Dados	Hora de início	Indústria	Ocorrências e Observações
2	19°C HR 56%	10h04	Jordão Cooling Systems (Fabricação de equipamento não doméstico, para refrigeração e ventilação)	<ul style="list-style-type: none"> . Parte lateral direita do pavilhão; . Parte de trás da casa, nº de polícia <u>193</u>; . <u>Jardineiro a cortar a relva</u>, junto à fábrica Iretalgarne, em frente à Jordão (a mais de 4 m); . <u>2 veículos pesados</u> na Rua das Cortes de Cima; . <u>5 veículos ligeiros</u> nessa Rua; . Ao <u>minuto 9</u>: Movimento brusco do corta-relvas.
		10h21		<ul style="list-style-type: none"> . Ainda com o <u>jardineiro presente</u>; . <u>5 veículos pesados</u> na Rua das Cortes de Cima; . <u>7 veículos ligeiros</u> nessa Rua; . Ao <u>minuto 7</u>: Ruído contínuo da empilhadora na parte lateral, em frente à medição (repetições de 2 em 2 minutos).

Fonte: Elaboração própria a partir da observação das ocorrências no local.

Ponto 3

O Ponto 3 localiza-se também na Rua das Cortes de Cima, São João de Ponte. Este ponto está a uma distância superior a 3,5 metros das habitações (recetor sensível) com os números de polícia 155B e 155A (Figuras 36 e 37).

Figura 36 - Localização do ponto 3: sonómetro instalado junto às habitações com os números de polícia 155B e 155A



Fonte: Fotografia tirada no dia da medição.

Figura 37 - Localização do ponto 3: sonómetro instalado junto à indústria



Fonte: Fotografia tirada no dia da medição.

O ponto 3 foi avaliado em frente ao pavilhão pertencente à fábrica *Calco – Calçado de Conforto Lda*. O referido ponto, situa-se num ângulo oblíquo em relação às moradias, é

ainda abrangido por outra fonte industrial proveniente do pavilhão da *Iretalgarne – Perfis, Tectos e Isolamentos, Lda.*

A fábrica *Calco* destina-se à produção de calçado e a *Iretalgarne* fabrica perfis, tetos, isolamentos e equipamentos para som. Na parte lateral da primeira fábrica, sentia-se o ruído proveniente das máquinas no interior da mesma, semelhante ao gerado pelo setor têxtil, motivo pelo qual se tenha escolhido este ponto de medição. Presume-se que esta maquinaria seja uma fonte de RBF.

No Ponto 3, efetuaram-se três medições (15 minutos para cada medição), em que a primeira medição teve início às 10h42, a segunda às 10h57 e a terceira às 11h13, registando-se durante as medições, as ocorrências descritas na Tabela 17. A razão pela qual foram registadas três gravações neste local, ao contrário dos outros pontos, deveu-se ao facto das duas primeiras medições terem ocorrido em simultâneo com a atividade de um jardineiro, o qual concluiu a sua tarefa no fim da primeira medição (10h54). O objetivo da segunda e da terceira medição foi, então, perceber se a atividade do jardineiro influenciou o ruído proveniente da fonte industrial sonora escolhida neste ponto.

Tabela 17 - Descrição dos parâmetros da medição sonora, relativos ao Ponto 3

Parque Industrial S. João de Ponte				
Ponto	Dados	Hora de início	Indústria	Ocorrências e Observações
3	21° C HR 50%	10h42	Calco (calçado), em frente e (Iretalgarne - fabricação de perfis, tetos e isolamentos, equipamentos para som - em obliquo)	. Parte da frente das casas, n.ºs de polícia 155B e 155A (ao lado esquerdo do sonómetro); . Ainda com o <u>jardineiro presente</u> (a mais de 4 m); . 5 veículos pesados ; . 9 veículos ligeiros ; . Jardineiro para ao min 1 e regressa ao min 3 . <u>Jardineiro acaba</u> o seu trabalho ao <u>min 12</u> (às 10h54).
		10h57 2ª medição		. Sem <u>jardineiro</u> ; . 8 veículos pesados ; . 7 veículos ligeiros ;
		11h13		. 6 veículos pesados na Rua das Cortes de Cima; . 6 veículos ligeiros nessa Rua;

Fonte: Elaboração própria a partir da observação das ocorrências no local.

Ponto 4

Este ponto localiza-se, a uma distância superior a 3,5 metros de superfícies refletoras, em frente a uma residência (recetor sensível) com o número de polícia 1185. A sua posição

encontra-se entre a parte traseira de um lote de pavilhões industriais e a parte lateral da residência (Figura 38). A fonte e o recetor encontram-se separados por um pequeno muro, com aproximadamente 97 cm, que delimita as traseiras da fábrica, bem como por um caminho pedonal de terra, com muito pouco movimento. A rua estreita de acesso à casa e de passagem pelo caminho pedonal corresponde à Rua Primeiro de Maio (Pevidém).

Figura 38 - Localização do Ponto 4: a) sonómetro instalado junto à habitação com o número de polícia 1185; b) essa habitação na perspetiva da fábrica



Fonte: Fotografia tirada no dia da medição.

Figura 39 - Localização do Ponto 4: a) com sonómetro instalado junto à indústria; b) parte de trás da fábrica



Fonte: Fotografia tirada no dia da medição.

As potenciais fontes emissoras de RBF associadas ao Ponto 4 foram duas indústrias, nomeadamente a *Xarmislar - Sociedade Têxtil, Lda.* e a *Colchas São Martinho & C.^a, Lda.* (Figura 39). Ambas as indústrias pertencem ao setor de têxteis-lar. Na parte traseira do lote, foi possível identificar os sistemas de ventilação das mesmas (Figura 39b). Pelos motivos apresentados, definiu-se a localização deste ponto como sendo de interesse para o estudo. Verificou-se que a habitação se encontrava a uma altitude superior à fonte sonora atrás descrita (Figura 38b).

No Ponto 4, foram, então feitas duas medições (15 minutos para cada medição), em que a primeira medição teve início às 16h08 e a segunda às 16h25. Durante as medições foram registadas as ocorrências descritas na Tabela 18.

Tabela 18 - Descrição dos parâmetros da medição sonora, relativos ao Ponto 4

Parque Industrial de Pevidém				
Ponto	Dados	Hora de início	Indústria	Ocorrências e Observações
4	23°C HR 50%	16h08	Xarmislar (têxtil) e Colchas São Martinho (têxteis lar)	. Parte traseira do pavilhão industrial; . Parte da lateral da casa, nº de polícia <u>1185</u> ; . Duas janelas do pavilhão industrial <u>abertas</u> ; . Sem estrada, caminho de terra para peões; . Cão ladrou ao <u>minuto 6</u> .
		16h 25 2ª medição		. Ao <u>minuto 5</u> passou uma pessoa; . Ao <u>minuto 10</u> ruído de uma sirene distante do local que durou 1 minuto; . Cão ladra ao passados <u>13 min.</u>

Fonte: Elaboração própria a partir da observação das ocorrências no local.

Ponto 5

O ponto 5 posiciona-se em frente à residência (recetor sensível) com o número de polícia 480, encontra-se a uma distância superior a 3,5 metros de superfícies refletoras, na Rua do Burgo, em Pevidém. A medição foi realizada entre a portaria norte da instalação industrial e a parte lateral da residência (Figura 40).

Figura 40 - Localização do ponto 5: a) junto à habitação e b) junto à indústria



Fonte: Fotografia tirada no dia da medição.

A portaria norte corresponde, atualmente, à saída da fábrica, que é de grandes dimensões e constituída por vários pavilhões. O acesso que se fazia pela portaria sul foi alterado para evitar incómodos na pequena rua de acesso local (Figura 40 b e 41).

Figura 41 – Informação sobre a localização da indústria *Lameirinho* (composta por vários pavilhões) relativamente ao ponto de medição



Fonte: Fotografia tirada no dia da medição.

A *Lameirinho - Indústria Têxtil, SA* é a fonte industrial predominante no ponto 5 e, como se percebe, a sua atividade insere-se no setor têxtil, razão pela qual se definiu este ponto como objeto de estudo. No fim da rua, era possível sentir o ruído proveniente do sistema de ventilação que a fábrica contém, antes da porta branca representada na Figura 40b. Foram efetuadas duas medições (15 minutos para cada medição). A primeira teve início às 16h52 e a segunda às 17h07. Durante as medições foram registadas as ocorrências descritas na Tabela 19.

Tabela 19 - Descrição dos parâmetros da medição sonora, relativos ao Ponto 5

Parque Industrial de Pevidém				
Ponto	Dados	Hora de início	Indústria	Ocorrências e Observações
5	21°C HR 60%	16h52	Lameirinho (têxtil - porta norte, do lado direito da entrada principal)	. Parte da frente das casas, n.º de polícia 480; . Estrada de saída de veículos da fábrica e de acesso às casas; . Ao minuto 13 abertura do portão; . Estacionameto de um veículo; . Buzina às 17h04 (minuto 14).
		17h07		. Ao <u>minuto 8</u> sai um veículo do local de estacionamento; . Passam 2 veículos pesados na rua perpendicular;

Fonte: Elaboração própria a partir da observação das ocorrências no local.

Ponto 6

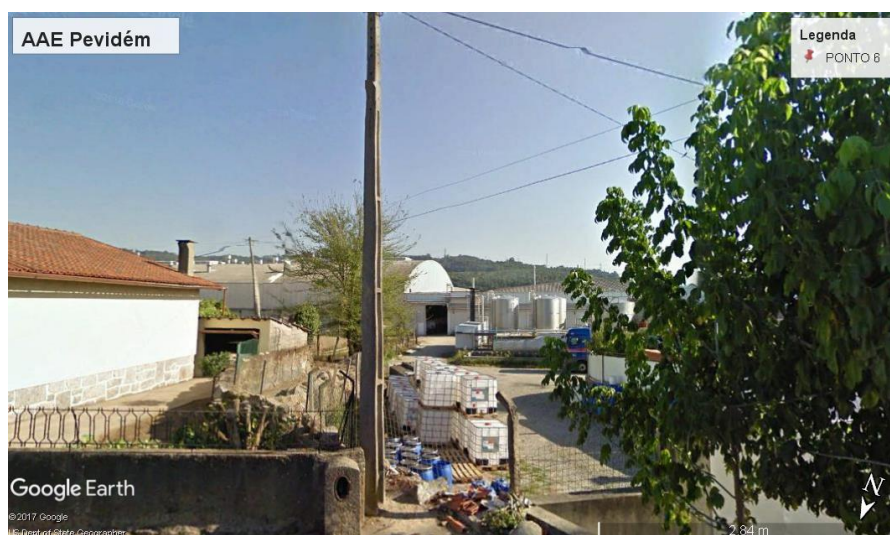
O Ponto 6 foi posicionado a uma distância superior a 3,5 metros de superfícies refletoras, em frente a uma residência com o número de polícia 124, na Rua do Burgo, em Pevidém (Figura 42). A avaliação sonora deste ponto realizou-se entre a parte da frente da residência e a parte de trás da indústria *Lameirinho*, onde foi possível observar alguns dos trabalhadores no pavilhão, bem como, a existência de silos nas proximidades da casa (Figura 43).

Figura 42 - Localização do Ponto 6: a) junto à habitação com o número de polícia 124 e b) junto à indústria



Fonte: Fotografia tirada no dia da medição.

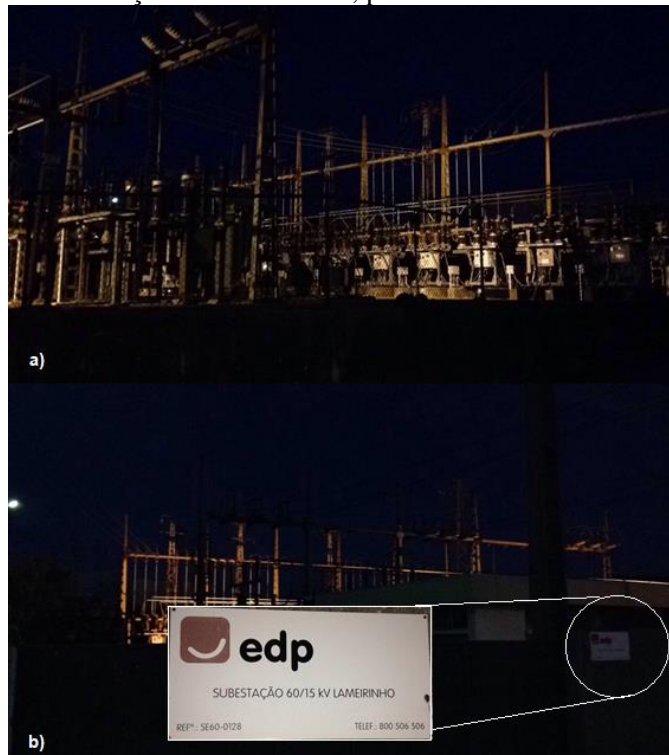
Figura 43 – Representação dos silos na parte de trás da fábrica



Fonte: Fotografia tirada no dia da medição.

Relativamente à parte frontal da residência, ou seja, de frente para o sonómetro, a *Lameirinho* encontra-se à esquerda do Ponto 6 e, à sua direita, a central de abastecimento de energia da mesma fábrica (Figura 44a).

Figura 44 – Representação da central elétrica: a) na vizinhança da fábrica e da habitação; b) informação sobre a subestação da *Lameirinho*, proveniente da EDP



Fonte: Fotografia tirada no dia da medição.

A *Lameirinho* é a fonte industrial referente aos Pontos 5 e 6 e, como foi dito, a sua atividade insere-se no setor têxtil, razão pela qual se definiu este ponto como objeto de estudo.

Foram efetuadas duas medições (15 minutos para cada medição), em que a primeira medição teve início às 18h00 e a segunda às 18h15. Durante as medições foram registadas as ocorrências descritas na Tabela 20.

Tabela 20 - Descrição dos parâmetros da medição sonora, relativos ao Ponto 6

Parque Industrial de Pevidém				
Ponto	Dados	Hora de início	Indústria	Ocorrências e Observações
6	18°C HR 68%	18h00	Lameirinho (têxtil - <u>parte traseira</u> do lado direito da entrada principal)	<ul style="list-style-type: none"> . Parte da frente da casa, n.º de polícia 124; . Central elétrica de abastecimento da Lameirinho do outro lado da Rua Burgo, em frente às casas vizinhas; . 4 veículos ligeiros; . <u>Sino às 18h05;</u> . <u>Pessoas a falar à porta de casa às 18h06;</u> . <u>Cão ladra entre as 18h08 e as 18h10;</u> . <u>Fechou-se um portão às 18h12;</u>
		18h15 2ª medição		<ul style="list-style-type: none"> . Começa com cão a ladrar; . 6 veículos ligeiros; . Barulho de pratos no quintal da casa, coincidente com a parte de trás da Lameirinho; . <u>Pessoa a falar e a abrir o portão da casa ao minuto 5;</u> . <u>Minuto 9:</u> Portão abre na casa ao lado; . <u>Minuto 13:</u> Sino (distante do local)

Fonte: Elaboração própria a partir da observação das ocorrências no local.

3.5.3 Tratamento preliminar dos dados: *software dBTrait*

Depois de efetuadas as medições de ruído, conforme o que foi referido nos procedimentos, procedeu-se à análise dos resultados obtidos.

Numa fase inicial, os dados registados na pasta “*Ind_RBF*”, através do sonómetro *01dB CUBE*, foram recolhidos para o *Software dBTrait*.

Este *software* de alto desempenho permite o processamento de dados acústicos, vibratórios e meteorológicos gerados pelos principais sistemas de aquisição (Juliana Araújo Alves, 2017).

No programa foram, assim, escolhidos para cada ponto de medição, os dados pertinentes para a análise neste estudo (Tabela 21 e Figura 45), tendo em vista a análise espectral e de flutuabilidade, conforme o que se apresenta detalhadamente de seguida. Os resultados obtidos foram, posteriormente, exportados para o Programa *Excel*. Para o tratamento dos dados foram construídos gráficos ou tabelas de cálculo de acordo com as diferentes metodologias abordadas na avaliação da incomodidade causada pelo ruído industrial de baixa frequência.

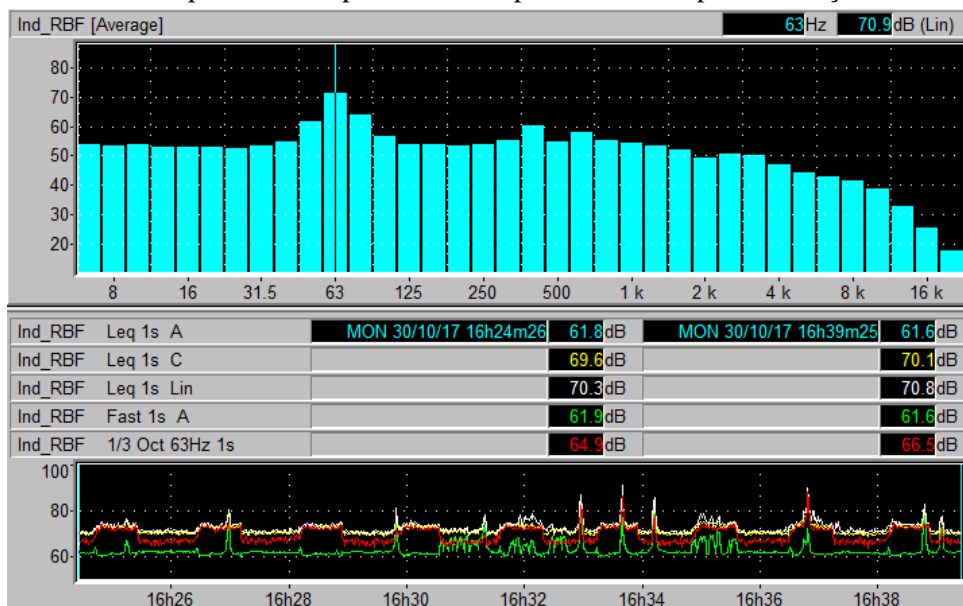
Tabela 21 - Indicadores registados nas medições sonoras pelo sonómetro 01dB CUBE, para o período total de 15min (900s), exemplo referente à primeira medição do Ponto 1

File	20171030_162426_163926.cmg						
Comments	São João de Ponte						
Start	16:24:26 30 de outubro de 2017						
End	16:39:26 30 de outubro de 2017						
Elementary duration	1s						
Total periods	900						
Channel	Type	Wght	Min.	Max.	Min.	Max.	
Ind_RBF	Leq	A	50	80			
Ind_RBF	Leq	C	60	90			
Ind_RBF	Leq	Lin	60	100			
Ind_RBF	Fast	A	50	80			
Ind_RBF	Fast	C	60	90			
Ind_RBF	Fast	Lin	60	100			
Ind_RBF	Peak	C	70	100			
Ind_RBF	Fast Inst	A	50	80			
Ind_RBF	Fast Inst	C	60	100			
Ind_RBF	Fast Inst	Lin	60	100			
Ind_RBF	Fast Max	A	60	80			
Ind_RBF	Fast Max	C	60	100			
Ind_RBF	Fast Max	Lin	70	100			
Ind_RBF	Fast Min	A	50	80			
Ind_RBF	Fast Min	C	60	90			
Ind_RBF	Fast Min	Lin	60	90			
Ind_RBF	Multispectra 1/3 Oct Leq	Lin	10	90	6.3Hz	20kHz	
Device type	CUBE						
Device serial number	10620						
Sensor type	Accredited_40CD						
Sensor serial number	207244						
Time zone	(UTC+00:00) Dublin, Edimburgo, Lisboa, Londres						

Fonte: Medição efetuada pela autora no Ponto 1.

A História Espetral do Tempo referente à duração da primeira medição do Ponto 1, com informação do L_{eq} (dB) e dos L_{eq} (A), L_{eq} (C), L_{eq} (Lin), Fast(A) e L_{eq} (Lin) para a banda de frequência de 1/3 de oitava, compreendidas entre 6,3 Hz e 20.000 Hz, encontra-se representada na figura 45.

Figura 45 - História espectral do tempo no Ponto 1 para todo o tempo de medição



Fonte: Medição efetuada pela autora no Ponto 1.

De acordo com a abordagem objetiva, os indicadores processados para cada ponto foram os seguintes:

1. L_{eq} (dB): Estes valores foram obtidos por período, para cada banda de frequência de 1/3 de oitava, considerado o intervalo de frequências entre 6,3 Hz e 500 Hz. Os resultados globais referentes aos indicadores L_{eq} , L_{min} e L_{max} por períodos de 1 minuto, foram obtidos para a duração total de 15 minutos (900 segundos). Seguidamente, os valores globais de L_{eq} (dB) foram exportados para o *Excel*, procedendo-se ao seu tratamento, através da elaboração de gráficos para as medições de cada ponto. Posteriormente, estes valores foram comparados com os valores limite dos níveis sonoros equivalentes propostos pelo DEFRA (2005, 2011), ou seja, foram comparados com a curva critério, para avaliar a incomodidade do RBF (Tabela 22 e Figura 46).

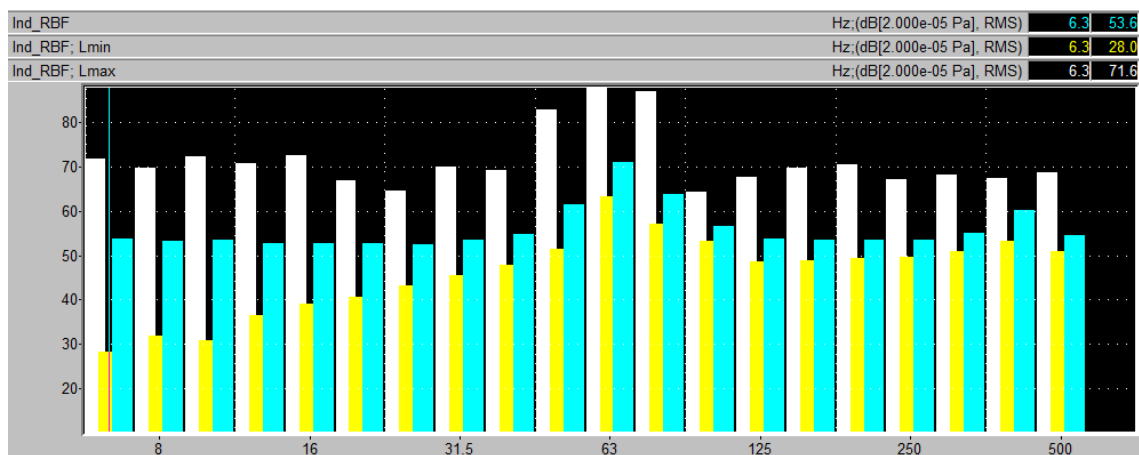
Na representação gráfica dos valores obtidos da primeira medição do Ponto 1, apresentados na Tabela 22 (Figura 26), as barras de cor amarela representam os níveis sonoros mínimos, as barras de cor branca correspondem aos níveis sonoros máximos e as barras de cor azul referem-se aos níveis de pressão sonora equivalentes, para cada banda de frequências de 1/3 de oitava.

Tabela 22 - Valores dos níveis de pressão sonora equivalentes L_{eq} (dB) registados no Ponto 1

File	20171030_162426_163926.cmg					
Start	30/10/17 16:24:26					
End	30/10/17 16:39:26					
Channel	Type	Wght	Unit	Leq	Lmin	Lmax
Ind_RBF	1/3 Oct 6.3Hz	Lin	dB	53.6	28.0	71.6
Ind_RBF	1/3 Oct 8Hz	Lin	dB	53.2	31.7	69.7
Ind_RBF	1/3 Oct 10Hz	Lin	dB	53.5	30.8	72.2
Ind_RBF	1/3 Oct 12.5Hz	Lin	dB	52.5	36.3	70.7
Ind_RBF	1/3 Oct 16Hz	Lin	dB	52.7	38.9	72.5
Ind_RBF	1/3 Oct 20Hz	Lin	dB	52.7	40.4	66.7
Ind_RBF	1/3 Oct 25Hz	Lin	dB	52.4	43.1	64.5
Ind_RBF	1/3 Oct 31.5Hz	Lin	dB	53.3	45.3	70.0
Ind_RBF	1/3 Oct 40Hz	Lin	dB	54.6	47.6	69.1
Ind_RBF	1/3 Oct 50Hz	Lin	dB	61.3	51.4	82.9
Ind_RBF	1/3 Oct 63Hz	Lin	dB	70.9	63.2	87.7
Ind_RBF	1/3 Oct 80Hz	Lin	dB	63.6	56.9	87.0
Ind_RBF	1/3 Oct 100Hz	Lin	dB	56.4	53.2	64.2
Ind_RBF	1/3 Oct 125Hz	Lin	dB	53.6	48.6	67.5
Ind_RBF	1/3 Oct 160Hz	Lin	dB	53.4	48.8	69.6
Ind_RBF	1/3 Oct 200Hz	Lin	dB	53.3	49.3	70.3
Ind_RBF	1/3 Oct 250Hz	Lin	dB	53.5	49.4	67.1
Ind_RBF	1/3 Oct 315Hz	Lin	dB	54.9	50.9	68.1
Ind_RBF	1/3 Oct 400Hz	Lin	dB	60.2	53.2	67.4
Ind_RBF	1/3 Oct 500Hz	Lin	dB	54.4	50.8	68.6

Fonte: Medição efetuada pela autora no Ponto 1.

Figura 46 - Representação gráfica dos valores dos níveis de pressão sonora equivalentes L_{eq} (dB) obtidos no Ponto 1

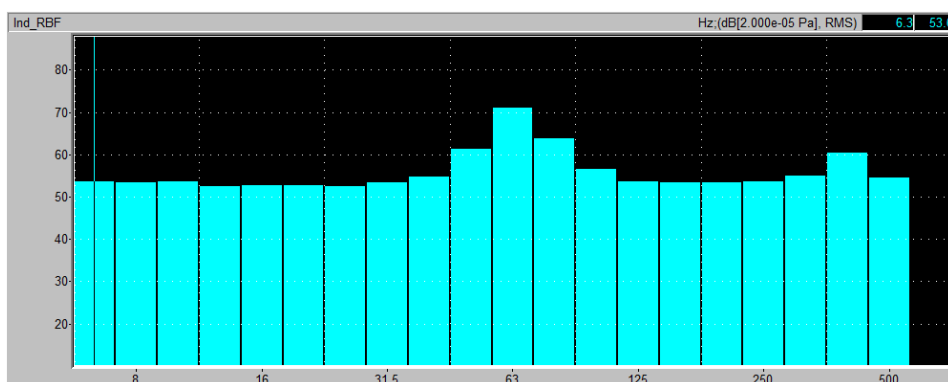


Fonte: Medição efetuada pela autora no Ponto 1.

2. L_{10} e L_{90} : Estes valores foram obtidos para períodos de tempo de 1 minuto, durante 15 minutos e para cada banda de frequência de 1/3 de oitava. Depois de registados, os valores foram também exportados para o *Excel*, onde se procedeu ao cálculo da diferença entre L_{10} e L_{90} . No seu tratamento, recorreu-se ao cálculo da percentagem de tempo em que $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB, por banda de frequência, para a análise da características de fluatibilidade do ruído. Foram, ainda, elaborados gráficos para o valor da diferença destes indicadores estatísticos quando superiores a 4 dB, para as bandas de frequência em que a curva critério do DEFRA é ultrapassada.

3. L_{eq} (dB): A partir dos valores de L_{eq} (dB), *acima descritos*, foram calculados os correspondentes valores de L_{Aeq} através dos valores de equivalência da curva de ponderação A. Para os dois indicadores L_{eq} (dB) e L_{Aeq} , para cada banda de frequência, foram realizados novos gráficos para a avaliação das características tonais de acordo com o RGR. Na Figura 47, é apresentado o gráfico dos níveis de pressão sonora equivalentes em dB, em relação à banda de frequência de 1/3 de oitava, obtido no *Software dBTrait* (Tabela 22).

Figura 47 - Representação gráfica do valor dos níveis de pressão sonora equivalentes L_{eq} (dB) para o Ponto 1



Fonte: Medição efetuada pela autora no Ponto 1.

4. L_{Ceq} dB(C) – L_{Aeq} dB(A). Estes valores foram calculados por períodos de 1 minuto, durante 15 minutos. Para o tratamento de dados, estes indicadores médios globais L_{eq} foram exportados para o *Excel*, onde a diferença entre $L_{eq}(C)$ e $L_{eq}(A)$ foi calculada para cada ponde de medição. Para a utilização do método correspondente à diferença dos dois filtros de ponderação, os valores das diferenças, por períodos de tempo, foram comparados com o valor de referência estabelecido na utilização desta metodologia por outros autores, como Broner (2010) e Kjellberg et al. (1997). Desta forma procedeu-se à verificação dos níveis sonoros equivalentes globais $dB(C)-dB(A) \geq 15$ dB para a análise do incómodo de ruído (Tabela 23).

Tabela 23 - Valores dos níveis de pressão sonora equivalentes L_{eq} , em dB(A), dB(C) e dB(Lin) para o Ponto 1

File	20171030_162426_163926.cmg								
Periods	1m								
Start	30/10/17 16:24:26								
End	30/10/17 16:39:26								
Location	Ind_RBF			Ind_RBF			Ind_RBF		
Weighting	A			C			Lin		
Data type	Leq			Leq			Leq		
Unit	dB			dB			dB		
Period start	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
30/10/17 16:24:26	61.6	60.1	66.9	72.2	68.9	74.9	73.0	69.7	76.4
30/10/17 16:25:26	61.9	61.3	62.3	70.2	69.4	72.0	70.9	70.1	72.8
30/10/17 16:26:26	62.9	60.0	73.6	72.7	69.3	78.9	73.5	70.0	80.2
30/10/17 16:27:26	61.5	60.2	63.5	70.9	69.3	73.7	71.6	70.1	74.5
30/10/17 16:28:26	61.4	60.2	62.6	71.5	68.9	74.1	72.2	69.5	74.9
30/10/17 16:29:26	63.3	60.4	73.2	72.2	68.8	77.8	73.1	69.4	80.9
30/10/17 16:30:26	66.3	60.4	73.3	71.4	69.2	76.5	72.1	69.8	77.9
30/10/17 16:31:26	63.4	59.7	67.8	72.5	69.2	74.1	74.4	69.9	78.2
30/10/17 16:32:26	66.0	59.8	77.2	73.4	69.2	85.5	74.3	70.2	86.5
30/10/17 16:33:26	67.5	60.1	78.6	76.3	69.6	89.9	77.7	70.2	91.1
30/10/17 16:34:26	65.2	60.7	70.6	72.2	68.8	74.8	73.9	69.4	78.8
30/10/17 16:35:26	62.7	61.3	67.3	70.9	69.0	74.4	71.8	69.8	75.1
30/10/17 16:36:26	62.8	60.1	72.1	75.8	69.4	88.8	77.3	70.3	89.9
30/10/17 16:37:26	61.3	60.1	63.5	70.8	68.8	74.2	72.1	69.9	76.4
30/10/17 16:38:26	65.6	60.9	77.1	72.6	69.3	79.9	73.6	70.2	82.6
Overall	64.0	59.7	78.6	72.7	68.8	89.9	73.9	69.4	91.1

Fonte: Medição efetuada pela autora no Ponto 1.

5. Comparação da distribuição de frequências. Através do tratamento de dados executados no terceiro passo, a distribuição das frequências (a evolução da curva) em quatro pontos de medição (Ponto 3, 4, 5 e 6) com a curva do espectro sonoro obtido no estudo de referência (Cavacas, 2014). Assim, a análise espectral dos quatro pontos de medição, foi feita para o intervalo de frequências de 6,3 Hz a 20.000 Hz, através dos resultados obtidos no *Software dBTrait* (Figura 47 – do passo 3 representados, apenas, até à banda de frequência de 500 Hz).

3.6 Abordagem Subjetiva: Inquéritos à População

A abordagem subjetiva consiste na perceção individual do ruído por parte da população exposta. Neste trabalho foi feita uma avaliação sumária tendo sido considerados exclusivamente os locais onde foram feitas medições. Por forma a complementar as informações obtidas na avaliação objetiva, optou-se por inquirir os recetores sensíveis. Esta fase denominou-se de componente subjetiva pelo facto do ruído, tal como referido na revisão bibliográfica, ser ele próprio subjetivo, isto é, a perceção do mesmo varia, entre outros fatores, de acordo com a sensibilidade de cada indivíduo (Arezes e Miguel, 2002). Desta forma, esta metodologia tem a função de suportar e complementar os resultados obtidos com as medições sonoras.

O inquérito foi elaborado com o objetivo de perceber se os moradores se sentem incomodados no seu dia-a-dia pelo ruído proveniente das indústrias localizadas nas AAE, que ficam nas imediações das suas residências. O questionário desenvolveu-se com base em Alves (2017) e considerou os seguintes parâmetros:

1. Os motivos que levaram os moradores das habitações, onde foram elaboradas as medições sonoras, a viver num local onde há conflito de usos, isto é, o conflito das habitações com as indústrias localizadas nas AAE das duas freguesias.

2. Se o(a) morador(a) se encontrada com atividade profissional (empregado(a), desempregado(a) ou reformado(a)) no sentido de perceber se está exposto ao ruído durante o período de trabalho das indústrias (assumindo que não laboram durante a noite).

3. No caso dos moradores se sentirem incomodados com o ruído no seu dia-a-dia, de que forma o sentem, tendo em conta os demais sintomas causados pelo RBF. Tal como

referido na revisão bibliográfica, estes sintomas podem incluir: irritabilidade, cansaço, falta de concentração, má disposição, insónia, entre outros.

4. Em que partes do dia se sentem mais incomodados. Este aspeto é importante para se perceber se a qualidade de vida à noite é afetada, visto que mesmo sem laborar, há sistemas que ficam a funcionar durante o período noturno (como sistemas de ventilação e/ou extração), continuando a produzir ruído.

5. Relativamente à poluição sonora, em que partes da habitação, os moradores sentem de forma mais intensa o ruído.

6. Por fim, se os moradores têm algum problema de saúde que possa estar associado à exposição prolongada a RBF.

O inquérito foi realizado de forma presencial (“porta-a-porta”) e compreendeu um conjunto de 11 questões. A duração média da realização dos seis inquéritos executados foi de aproximadamente 10 minutos. As questões dos inquéritos realizados eram de resposta fechada, contendo espaço para possíveis comentários dos residentes. Foram realizados seis inquéritos, por questionário autoadministrado, tendo sido inquiridas sete pessoas. Duas pessoas foram inquiridas no último dia da realização das medições sonoras, em 31 de Outubro de 2017 e, as restantes no dia 2 de Novembro, de 2017, nas residências referentes aos números de polícia referidos anteriormente, na caracterização de cada ponto de medição (subcapítulo 3.5.2). O questionário executado nesta abordagem encontra-se em Anexo (Anexo I).

3.7 Dados obtidos nas medições sonoras (abordagem objetiva)

3.7.1 Ponto 1

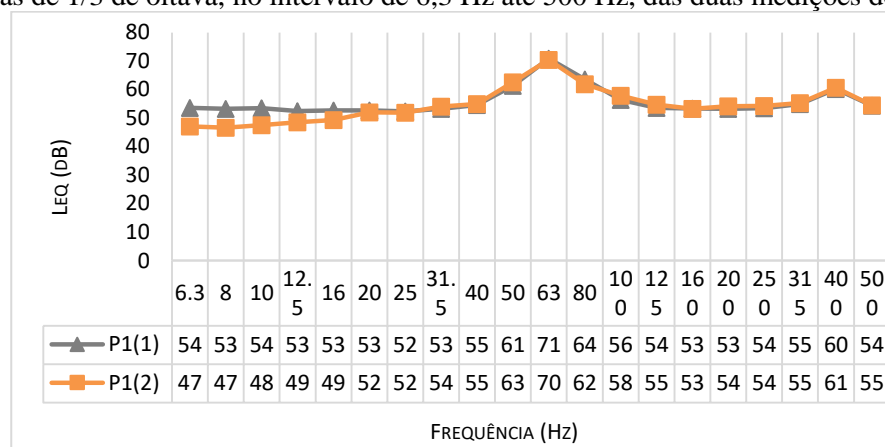
Este ponto localiza-se na AAE de São João de Ponte. A fonte sonora foi a indústria EMEC e o recetor sensível correspondeu ao número de polícia 696.

Os resultados obtidos nas duas medições relativas a este ponto encontram-se representadas na Figura 48. A curva referente à primeira medição, designada por “*PI(1)*”, apresenta uma evolução semelhante à curva correspondente à segunda medição, indicada como “*PI(2)*”.

Ambas as curvas manifestam dois picos. O pico máximo pertence ao valor de frequência de 63 Hz que equivale a um nível de pressão sonora equivalente de 70,9 dB para a curva $PI(1)$ e de 70,4 dB para a curva $PI(2)$. O segundo pico ocorre para o valor de frequência de 400 Hz, correspondendo a um nível de pressão sonora equivalente de 60,2 dB para a curva $PI(1)$ e de 60,7 dB para a curva $PI(2)$.

O valor mínimo dos níveis $L_{eq}(dB)$ registado na primeira medição é de 52,4 dB e na segunda medição é de 46,6 dB respetivamente para as bandas de frequência de 25 Hz e 8Hz.

Figura 48 - Representação dos níveis sonoros equivalentes, em dB, em função da banda de frequências de 1/3 de oitava, no intervalo de 6,3 Hz até 500 Hz, das duas medições do Ponto 1



Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos nas medições.

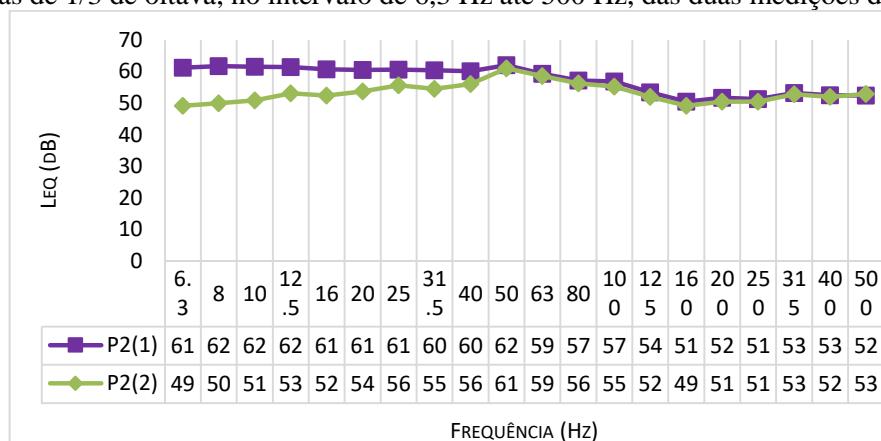
3.7.2 Ponto 2

O Ponto 2 localiza-se também na AAE de São João de Ponte. A fonte sonora foi a indústria *Jordão Cooling Systems* e o recetor sensível foi o número de polícia 193.

Os resultados das duas medições neste ponto encontram-se representados na Figura 49.

O valor máximo registado dos níveis sonoros equivalentes é de 62,1 dB para a curva $P2(1)$ e de 62,1 dB para a curva $P2(2)$, referente ao pico de 50 Hz. O valor mínimo dos níveis $L_{eq}(dB)$ para a curva $P2(1)$ e $P2(2)$ é de 50,5 dB e 49,2 dB respetivamente, tendo em conta o valor de frequência de 160 Hz (Figura 49).

Figura 49 - Representação dos níveis sonoros equivalentes, em dB, em função da banda de frequências de 1/3 de oitava, no intervalo de 6,3 Hz até 500 Hz, das duas medições do Ponto 2



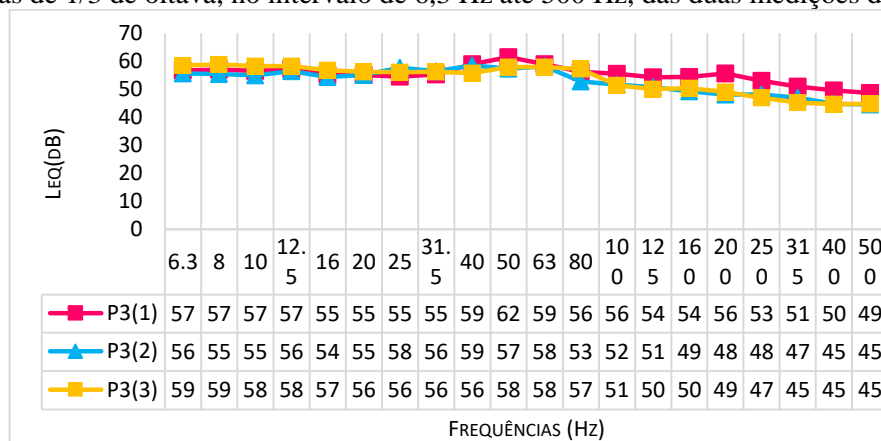
Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos nas medições.

3.7.3 Ponto 3

Este ponto localiza-se também na AAE de São João de Ponte. Neste caso, as fontes sonoras foram provenientes das indústrias *Calco* e *Iretalgarne*, correspondendo os recetores sensíveis aos números de polícia 155A e 155B.

As curvas *P3(1)*, a cor-de-rosa, *P3(2)*, a azul, e *P3(3)*, a amarelo, apresentam picos para diferentes valores de frequências. A curva referente à primeira medição, *P3(1)*, apresenta um pico para o valor de frequência de 50 Hz referente ao $L_{eq}(dB)$ de 61,5 dB. A curva da segunda medição, *P3(2)*, apresenta um pico cujo valor $L_{eq}(dB)$ é de 58,5 dB para 40 Hz. A curva referente à terceira medição, a amarelo, apresenta um pico cujo nível sonoro é de 58,8 dB relativo à banda de frequência de 8 Hz (Figura 50).

Figura 50 - Representação dos níveis sonoros equivalentes, em dB, em função da banda de frequências de 1/3 de oitava, no intervalo de 6,3 Hz até 500 Hz, das duas medições do Ponto 3



Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos nas medições.

3.7.4 Ponto 4

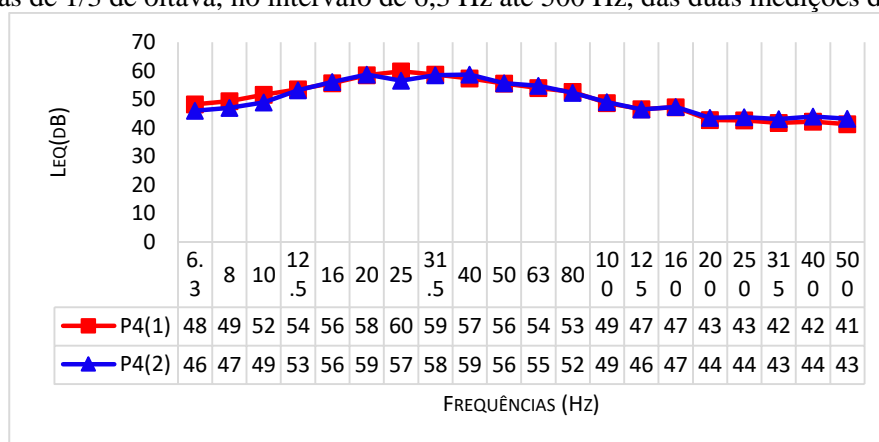
O ponto 4 localiza-se na AAE de Pevidém. As fontes sonoras foram as indústrias *Xarmislar* e *Colchas São Martinho* e o recetor sensível foi o número de polícia 1185.

Os resultados obtidos nas duas medições relativas a este ponto encontram-se representados na Figura 51.

A curva vermelha apresenta o seu pico para o valor de frequência de 25 Hz correspondente ao nível $L_{eq}=59,8$ dB, diminuindo até os 125 Hz. Para o valor de frequência de 160 Hz volta a subir, apresentando um novo pico com um L_{eq} de 47,2 dB. O pico da curva $P4(1)$ corresponde a uma depressão da curva $P4(2)$ que apresenta um valor L_{eq} de 56,5 dB para 25 Hz.

A curva $P4(1)$ apresenta o seu mínimo valor para 500 Hz, com um nível sonoro equivalente de 41,3 Hz e a curva $P4(2)$ apresenta o seu valor mínimo para 315 Hz, com um nível sonoro equivalente de 43,1 Hz.

Figura 51 - Representação dos níveis sonoros equivalentes, em dB, em função da banda de frequências de 1/3 de oitava, no intervalo de 6,3 Hz até 500 Hz, das duas medições do Ponto 4



Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos nas medições.

3.7.5 Ponto 5

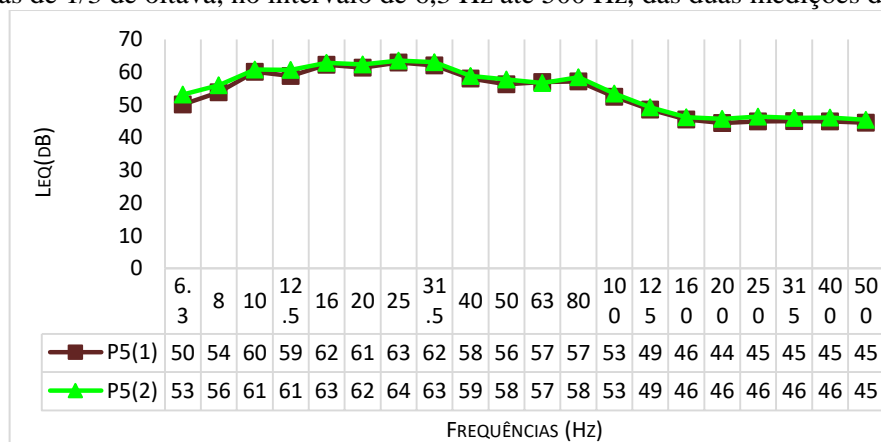
Este ponto localiza-se na AAE de Pevidém. Neste ponto, a fonte sonora foi a indústria têxtil *Lameirinho* e o recetor sensível foi o número de polícia 480.

Os resultados das duas medições neste ponto surgem na Figura 52.

O máximo valor registado (pico máximo) corresponde a um nível L_{eq} de 62,9 dB para a curva castanha, $P5(1)$, e a um nível L_{eq} de 63,5 dB para a curva verde, $P5(2)$. Ambos os

valores estão situados na classe dos 25 Hz. O segundo pico ocorre aos 80 Hz, com níveis sonoros de 57,2 dB para a curva castanha (*P5(1)*) e de 58,4 dB para a curva verde (*P5(2)*). A curva *P5(1)* apresenta o seu mínimo valor para 200 Hz, com um nível sonoro equivalente de 44,4 Hz e a curva *P5(2)* apresenta o seu valor mínimo para 500 Hz, com um nível sonoro equivalente de 45,4 Hz.

Figura 52 - Representação dos níveis sonoros equivalentes, em dB, em função da banda de frequências de 1/3 de oitava, no intervalo de 6,3 Hz até 500 Hz, das duas medições do Ponto 5

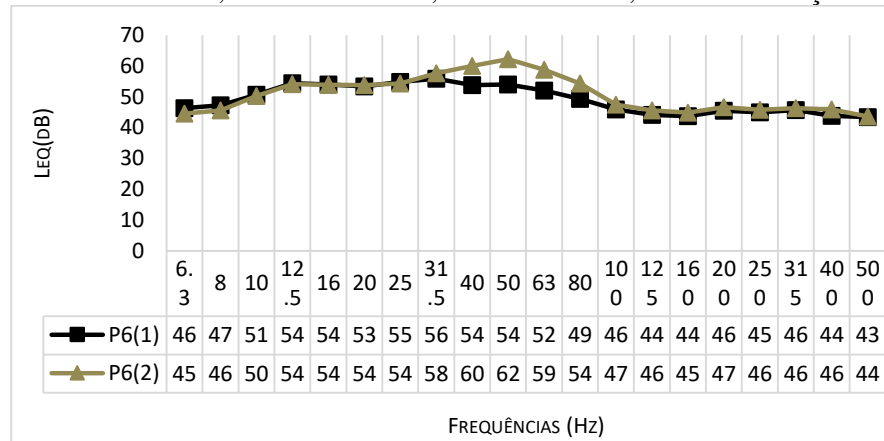


Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos nas medições.

3.7.6 Ponto 6

O ponto 6 localiza-se também na AAE de Pevidém. A fonte sonora foi novamente a indústria têxtil Lameirinho. O recetor sensível correspondeu ao número de polícia 124. Ambas as curvas apresentam dois picos. O primeiro pico verifica-se aos 12,5 Hz com níveis sonoros equivalentes de 54,4 dB para a curva *P6(1)* e de 54,1 dB para a curva *P6(2)*. O segundo pico, o pico máximo, verifica-se na banda de frequência de 31,5 Hz para 55,8 dB na curva *P6(1)*; no caso da curva *P6(2)*, o pico ocorre na banda de frequência de 50 Hz para 62,2 dB. Os níveis mínimos ocorrem na banda de frequência de 500 Hz.

Figura 53 - Representação dos níveis sonoros equivalentes, em dB, em função da banda de frequências de 1/3 de oitava, no intervalo de 6,3 Hz até 500 Hz, das duas medições do Ponto 6

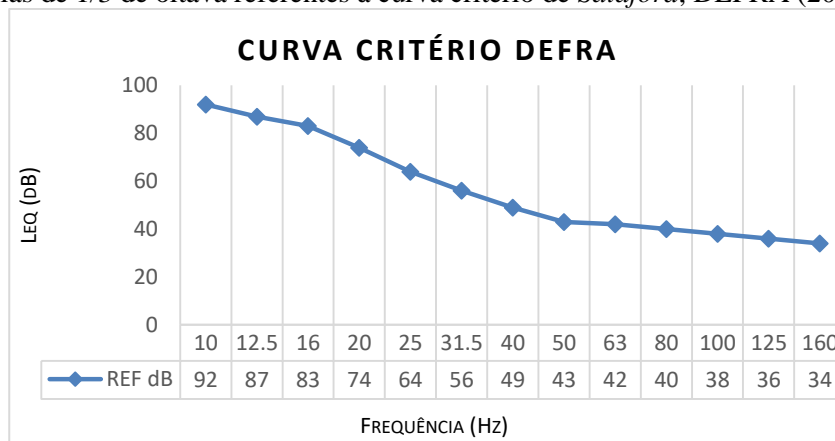


Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos nas medições.

3.8 Comparação dos dados obtidos com curva de referência DEFRA

Nesta secção, tendo em conta os resultados obtidos, os níveis de ruído em dB, para os seis pontos de medição, em 1/3 de oitava, no intervalo compreendido entre 6,3 Hz e 160 Hz, são comparados com a curva critério de *Salford, DEFRA* (2005, 2011), que se encontra representada na Figura 54.

Figura 54 - Representação dos valores dos níveis sonoros equivalentes em dB em função da banda de frequências de 1/3 de oitava referentes à curva critério de *Salford, DEFRA* (2005, 2011)



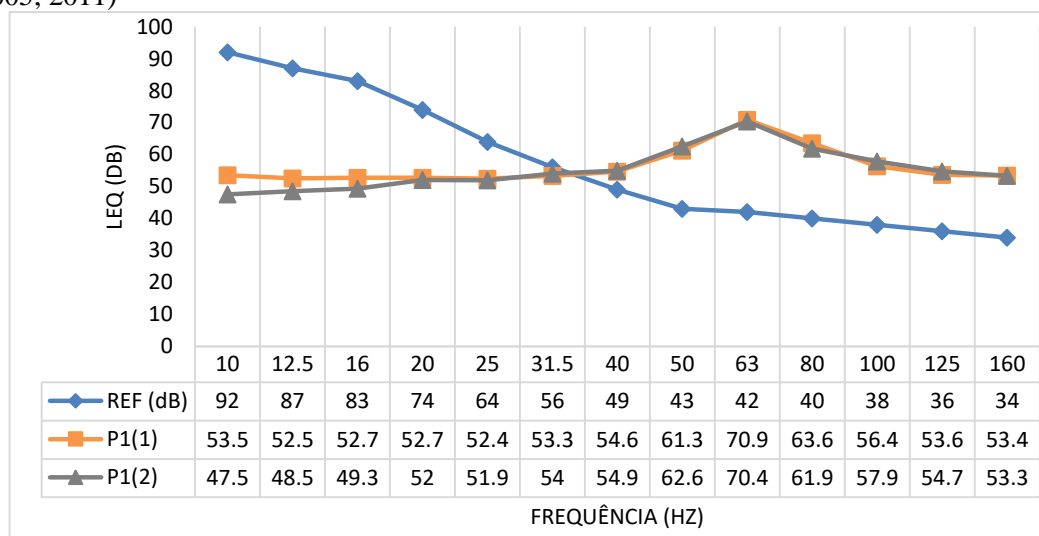
Fonte: Adaptado de DEFRA (2005, 2011).

3.8.1 Ponto 1

No ponto 1 (Figura 55) constata-se que a curva de referência é excedida pelas curvas $PI(1)$ e $PI(2)$, nas bandas de frequências de 40 Hz a 160 Hz, ou seja, em 53,85 % das bandas de 1/3 oitava do intervalo estudado (Figura 55).

A média do afastamento em relação à curva de referência é de 18,83 dB e de 18,26 dB para as curvas $PI(1)$ e $PI(2)$. A máxima diferença de ultrapassagem é de 28,9 dB no caso da curva $PI(1)$ e de 28,4 dB no caso da curva $PI(2)$, correspondentes à banda de frequência de 63 Hz. Para a última banda de frequência do intervalo considerado (160 Hz) essa diferença é de 19,4 dB no caso da primeira curva e 19,3 dB no caso da segunda.

Figura 55 - Comparação das medições obtidas no Ponto 1 com os valores de referência do DEFRA (2005, 2011)



Fonte: Medições realizadas pela autora e DEFRA (2005, 2011).

A avaliação das características de fluatibilidade do ruído foi determinada através da diferença $L_{10}-L_{90}$, por períodos de 1 minuto, durante 15 minutos.

Os valores de $L_{10}-L_{90}$, para as bandas de frequência excedidas, determinados na primeira medição apresentam-se superiores a 4 dB para 100%, 100 %, 93,33%, 26,67%, 26,67%, 53,33% e 46,67% do tempo de medição, respetivamente, para as bandas de frequência de 40 Hz, 50 Hz, 63 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 125 Hz e 160 Hz. Durante o período diurno, das 16h24 até às 16h38, este valor foi ultrapassado durante a maior parte do período (Tabela 24 e Figura 56).

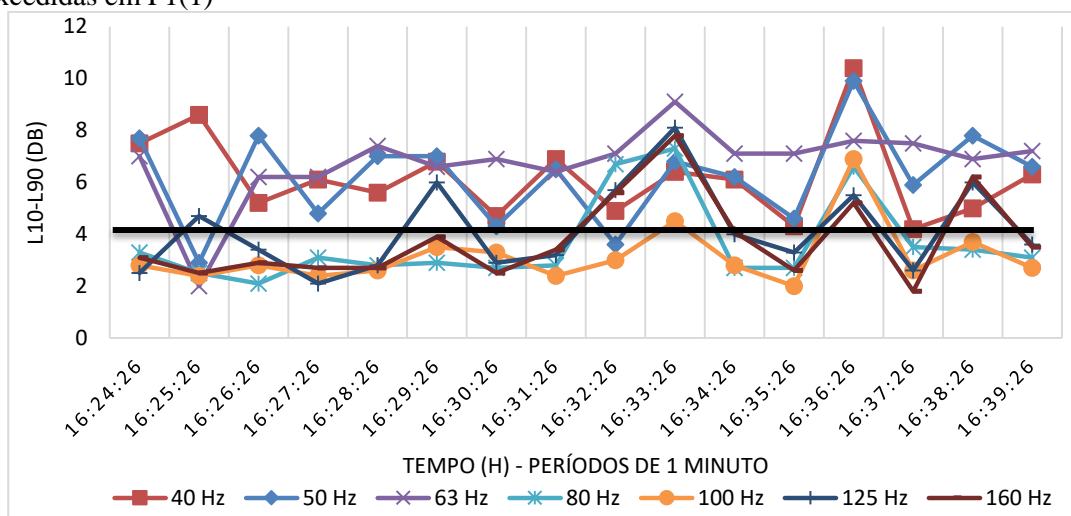
O mesmo procedimento não foi possível executar para a segunda medição do Ponto 1 devido a um erro que ocorreu no *Software dBTrait* ao recolher a informação dos indicadores L_{10} e L_{90} , que alterou por completo os valores de todos os dados. O erro referente à recolha destes indicadores, tendo sido os últimos a obter através do *software*, apenas afetaram a análise das características de fluutuabilidade da segunda medição deste ponto. Contudo, esperava-se que a segunda medição também apresentasse características flutuantes para as bandas de frequência excedidas, devido à semelhança da sua curva, $P2(2)$ à curva referente à primeira medição $P2(1)$.

Tabela 24 - Características de fluutuabilidade do ruído e percentagem do tempo em que $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB em $P1(1)$

Frequência (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
$L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	93.33	26.67	26.67	53.33	46.67

Fonte: Medições realizadas pela autora.

Figura 56 - Características de fluutuabilidade: $L_{10}-L_{90}$ para as bandas de frequência de 1/3 oitava excedidas em $P1(1)$



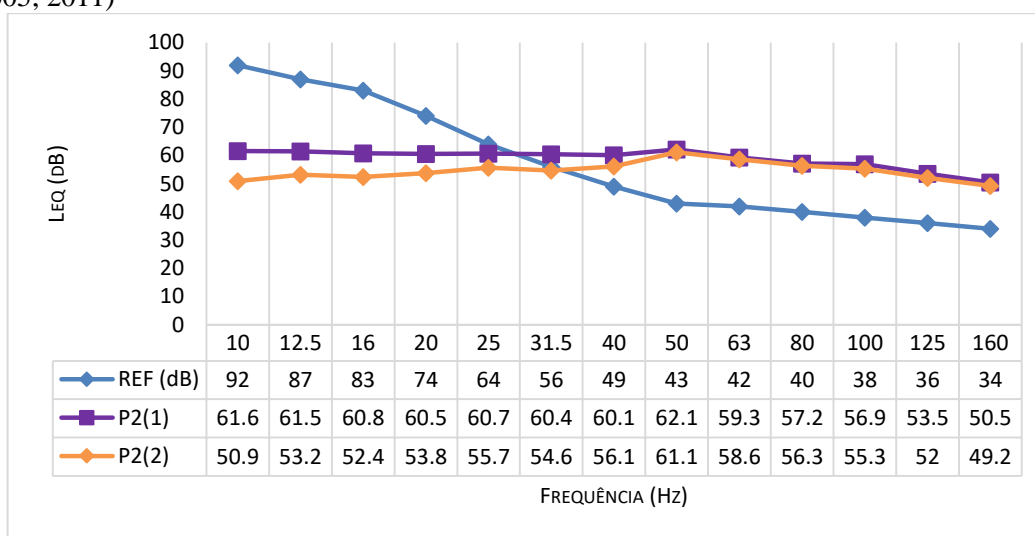
Fonte: Medições realizadas pela autora.

3.8.2 Ponto 2

No ponto 2 (Figura 57), verifica-se que a curva de critério DEFRA é ultrapassada pelas duas curvas, $P2(1)$ e $P2(2)$, nas bandas de frequência de 31,5 Hz a 160 Hz e nas bandas de frequência de 40 Hz a 160 Hz, respetivamente. Assim, a primeira curva ultrapassa a de referência em 61,5 % das bandas de 1/3 de oitava do intervalo em estudo e a segunda ultrapassa-a em 53,9 %.

A média do afastamento em relação à curva de referência é de 15,25 dB e de 15,23 dB para as curvas $P2(1)$ e $P2(2)$ respectivamente. A ultrapassagem é mais elevada para a banda de frequências de 50 Hz, com uma diferença em relação à curva de critério de 19,1 dB no caso da curva $P2(1)$ e de 18,1 dB no caso da curva $P2(2)$. Para a última banda de frequência do intervalo considerado (160 Hz) essa diferença é de 16,5 dB no caso da primeira curva e 15,2 dB no caso da segunda.

Figura 57 - Comparação das medições obtidas no Ponto 2 com os valores de referência do DEFRA (2005, 2011)



Fonte: Medições realizadas pela autora e DEFRA (2005, 2011).

As bandas de frequência ultrapassadas na primeira medição (intervalo [31,5; 160] Hz) e na segunda (intervalo [40; 160] Hz) apresentam características flutuantes, já que a condição $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB se verificou quase na totalidade do tempo (Tabela 25 a e b e Figura 58 a e b).

Tabela 25 - Características de fluabilidade do ruído e percentagem do tempo em que $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB em: $P2(1)$ - Tabela 25a; e em $P2(2)$ - Tabela 25b

Frequência (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
$L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	86.67	80	80	60

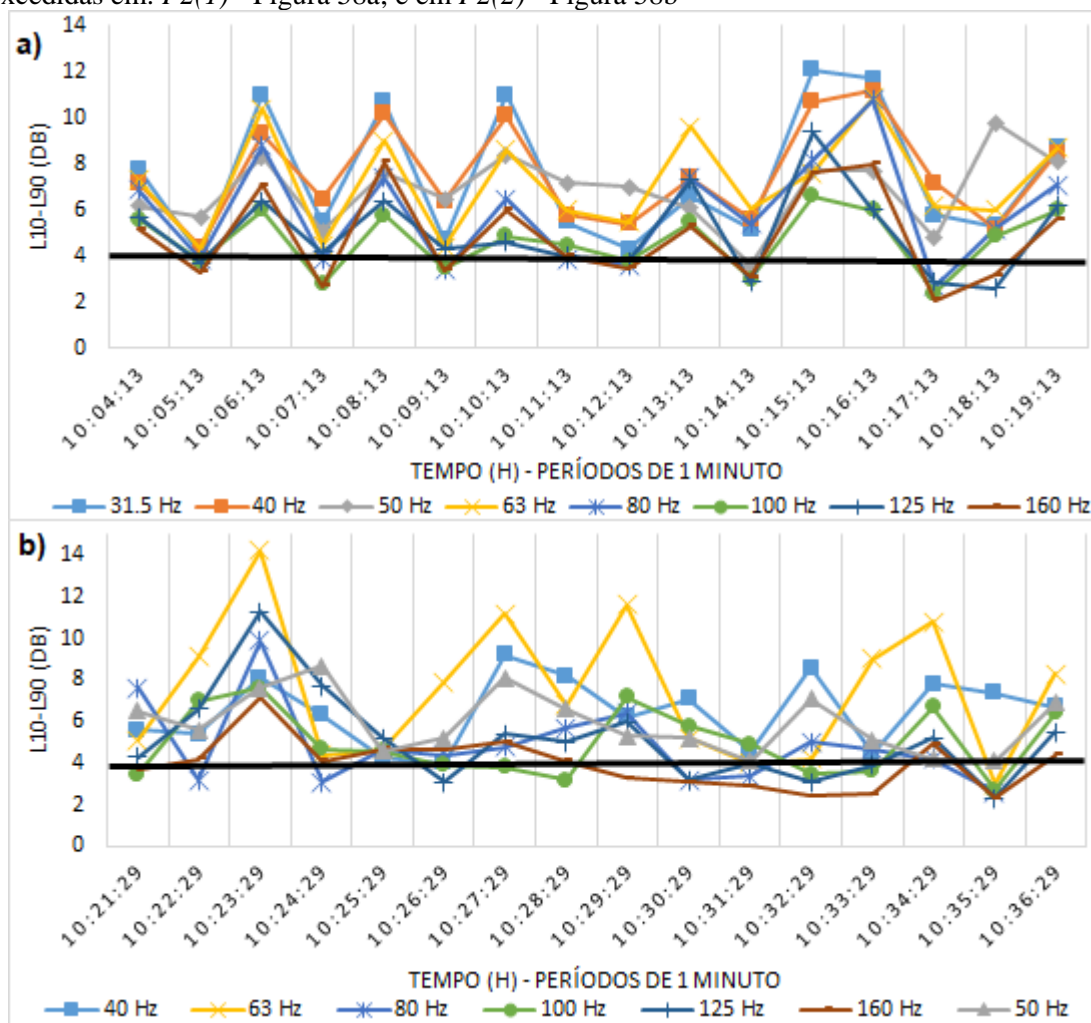
a)

Frequência (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
$L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB	100	100	100	100	86.67	100	100	100	93.33	66.67	86.67	73.33	53.33

b)

Fonte: Medições realizadas pela autora.

Figura 58 – Características de fluvariabilidade $L_{10}-L_{90}$ para as bandas de frequência de 1/3 oitava excedidas em: $P2(1)$ - Figura 58a; e em $P2(2)$ - Figura 58b



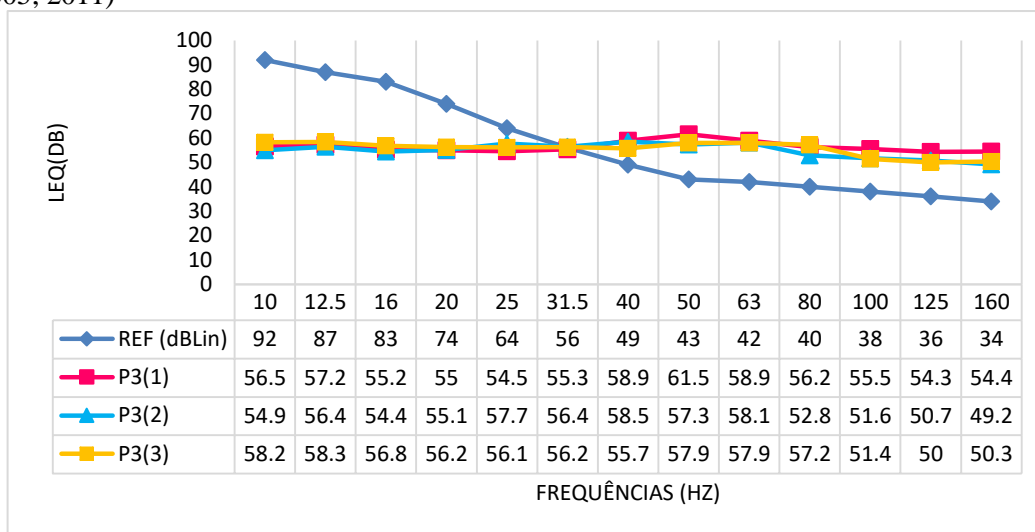
Fonte: Medições realizadas pela autora.

3.8.3 Ponto 3

No Ponto 3 foram executadas três medições, apresentando-se na Figura 59 as comparações das curvas obtidas neste ponto em relação à curva de referência do DEFRA. A primeira curva, $P3(1)$, ultrapassa a de referência em 61,5 % das bandas de 1/3 de oitava do intervalo em estudo e a segunda e terceira medição, $P3(2)$ e $P3(3)$, ultrapassam-na em 53,9 %.

A média do afastamento em relação à curva de referência é de 16,81 dB, 12,08 dB e de 12,33 dB, para as curvas $P3(1)$, $P3(2)$ e $P3(3)$ respectivamente. A máxima diferença de ultrapassagem é de 20,4 dB, 15,2 dB e de 16,3 dB, para as curvas $P3(1)$, $P3(2)$ e $P3(3)$, respectivamente, correspondentes à banda de frequência de 160 Hz.

Figura 59 - Comparação das medições obtidas no Ponto 3 com os valores de referência do DEFRA (2005, 2011)



Fonte: Medições realizadas pela autora e DEFRA (2005, 2011).

As bandas de frequência ultrapassadas na primeira medição (intervalo de [31,5; 160] Hz), na segunda e na terceira medição (intervalo de [40; 160] Hz) apresentam características flutuantes, já que a condição $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB se verificou quase na totalidade do tempo (Tabela 26 a e b e Figura 59 a e b).

Tabela 26 - Características de fluatibilidade do ruído e percentagem do tempo em que $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB em: P3(1) - Tabela 26a; P3(2) - Tabela 26b; e em P3(3) - Tabela 26c

Frequência (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
L10-L90 ≥ 4 dB (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	93.33	80	73.33	80	80

a)

Frequência (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
L10-L90 ≥ 4 dB (%)	100	100	100	100	100	100	100	93.33	93.33	53.33	60	60	40

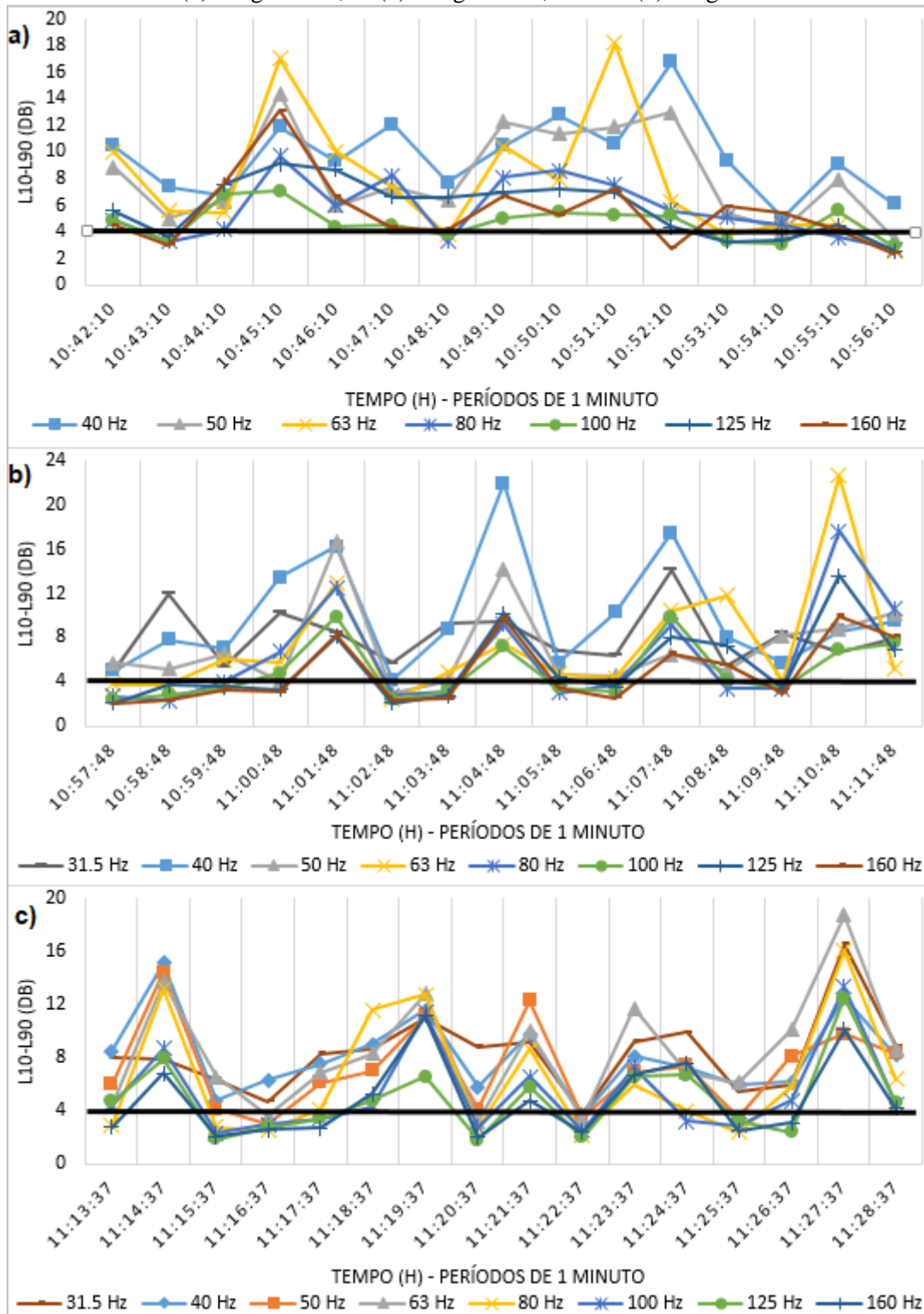
b)

Frequência (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
L10-L90 ≥ 4 dB (%)	100	100	100	100	100	100	100	93.33	86.67	60	53.33	60	46.67

c)

Fonte: Medições realizadas pela autora.

Figura 60 - Características de fluatibilidade L10-L90 para as bandas de frequência de 1/3 oitava excedidas em: P3(1) - Figura 60a; P3(2) – Figura 60b; e em P3(3) - Figura 60c



Fonte: Medições realizadas pela autora.

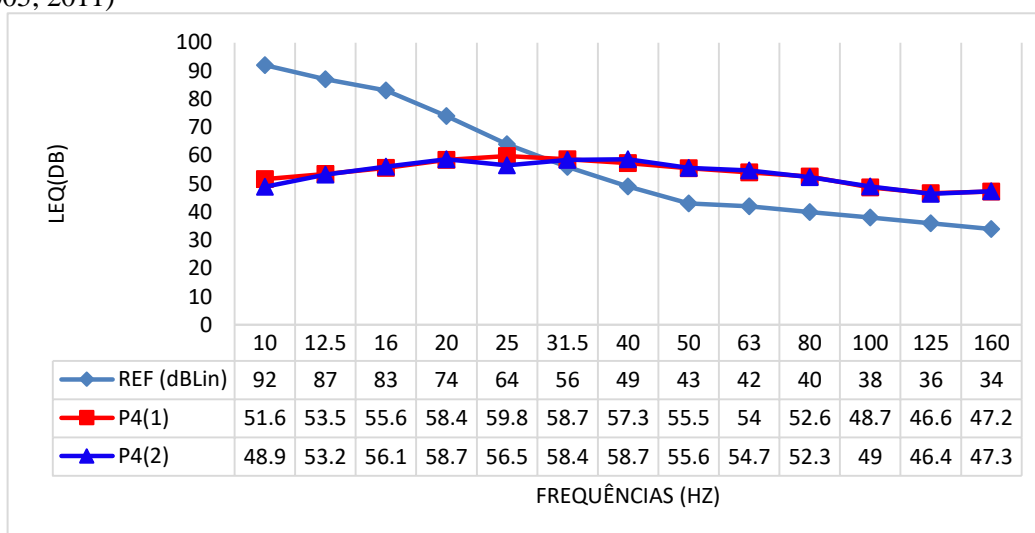
3.8.4 Ponto 4

A comparação das curvas relativas às duas medições efetuadas no ponto 4 com a curva de referência do DEFRA pode ser observada na Figura 61.

Pela análise gráfica, a curva de referência é ultrapassada pelas duas curvas, $P4(1)$ e $P4(2)$, nas bandas de frequência de 31,5 Hz a 160 Hz, ou seja, em 61,5 % das bandas de 1/3 oitava do intervalo estudado.

A média do afastamento em relação à curva de referência é de 10,33 dB e de 10,55 dB, para as curvas $P4(1)$ e $P4(2)$ respetivamente. A máxima diferença de ultrapassagem é de 13,2 dB e de 13,3 dB para as curvas $P4(1)$ e $P4(2)$ respetivamente na última banda de frequência do intervalo considerado (160 Hz).

Figura 61 - Comparação das medições obtidas no Ponto 4 com os valores de referência do DEFRA (2005, 2011)



Fonte: Medições realizadas pela autora e DEFRA (2005, 2011).

As bandas de frequência ultrapassadas na primeira medição (intervalo [31,5; 160] Hz) e na segunda (intervalo [40; 160] Hz) apresentam características flutuantes, já que a condição $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB se verificou quase na totalidade do tempo (Tabela 27 a e b e Figura 62 a e b).

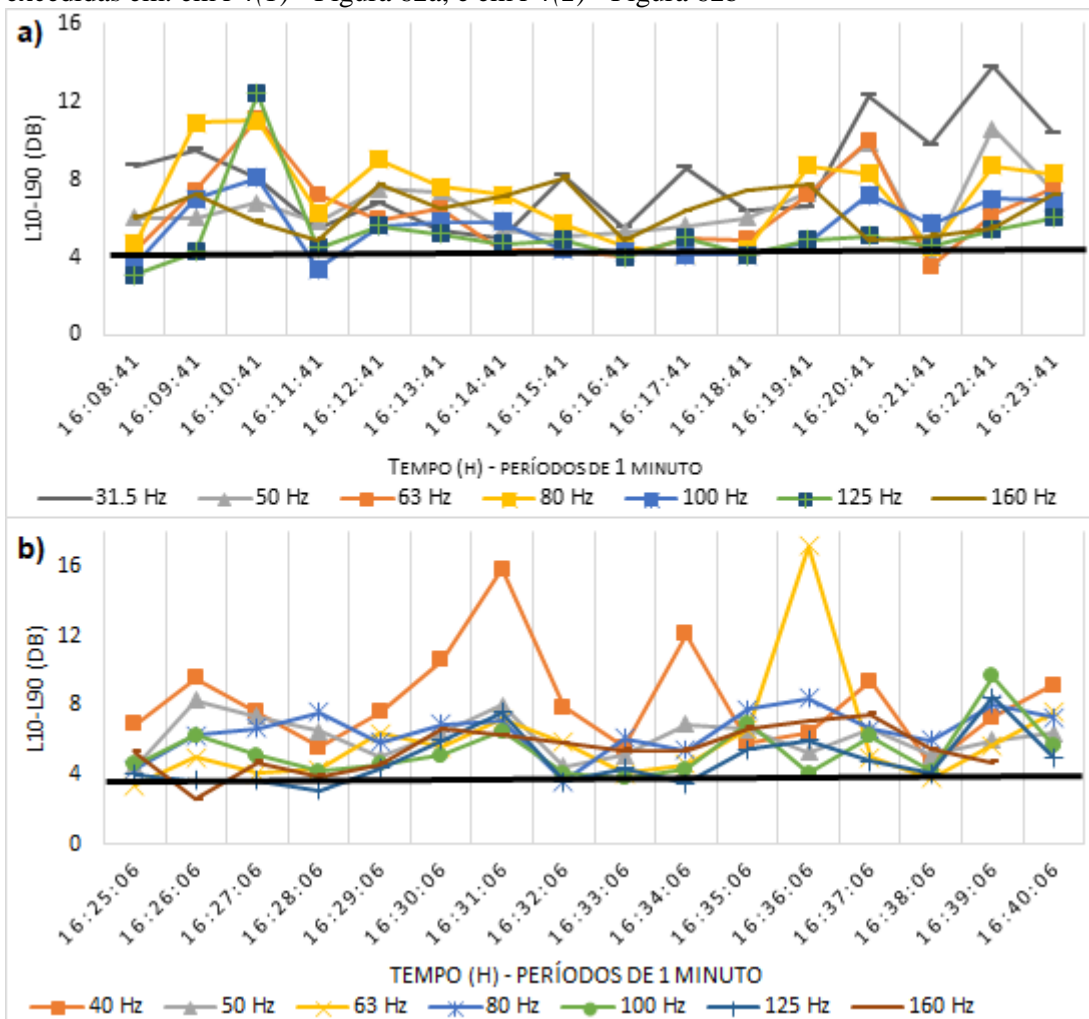
Tabela 27 - Características de fluatibilidade do ruído e percentagem do tempo em que $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB em: $P4(1)$ - Tabela 27a; e em $P4(2)$ - Tabela 27b

Frequência (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
$L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93.33	93.33	100

Frequência (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
$L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	93.33	100	100	100	93.33

Fonte: Medições realizadas pela autora.

Figura 62 - Características de fluatibilidade $L_{10}-L_{90}$ para as bandas de frequência de 1/3 oitava excedidas em: em $P4(1)$ - Figura 62a; e em $P4(2)$ - Figura 62b



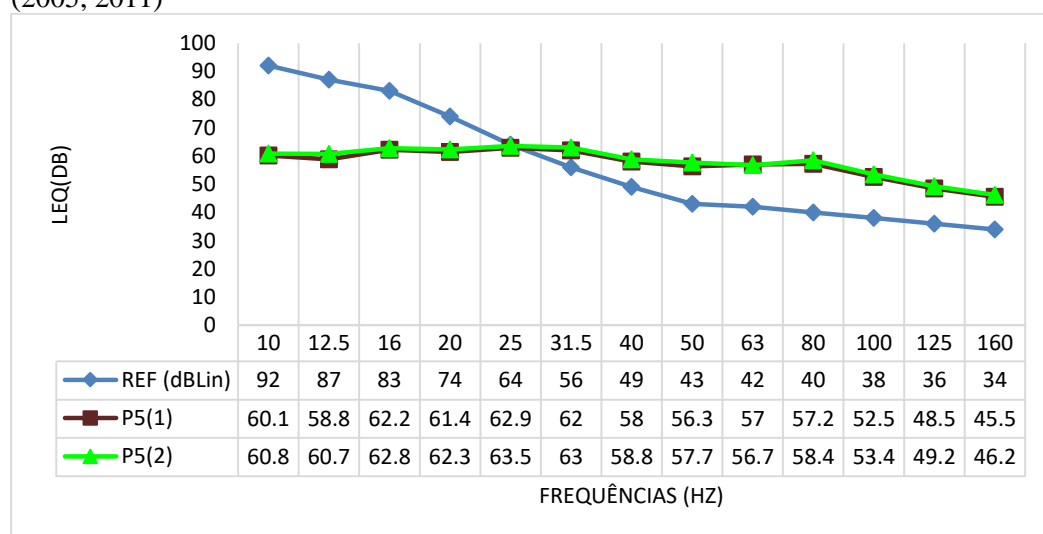
Fonte: Medições realizadas pela autora.

3.8.5 Ponto 5

A comparação das curvas relativas às duas medições efetuadas no Ponto 5 com a curva de referência do DEFRA pode ser observada na Figura 63. A comparação permite concluir que a curva de referência é excedida pelas curvas $P5(1)$ e $P5(2)$ nas bandas de frequência de 31,5 Hz a 160 Hz, ou seja, em 61,5 % das bandas de 1/3 oitava do intervalo estudado.

A média do afastamento em relação à curva de referência é de 12,38 dB e de 13,18 dB para as curvas $P5(1)$ e $P5(2)$ respetivamente. A máxima diferença de ultrapassagem é de 17,2 dB e de 18,4 dB para as curvas $P5(1)$ e $P5(2)$ respetivamente na banda de frequência de 80 Hz. Para a última banda de frequência do intervalo considerado, ou seja, para 160 Hz, essa diferença é de 12,38 dB no caso da primeira curva e de 13,18 dB no caso da segunda.

Figura 63 - Comparação das medições obtidas no Ponto 5 com os valores de referência do DEFRA (2005, 2011)



Fonte: Medições realizadas pela autora e DEFRA (2005, 2011).

As bandas de frequência ultrapassadas na primeira e na segunda medição (intervalo [31,5; 160] Hz) apresentam características flutuantes, já que a condição $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB se verificou na maior parte do período (Tabela 28 a e b e Figura 64 a e b).

Tabela 28 - Características de fluatibilidade do ruído e percentagem do tempo em que L10-L90 ≥ 4 dB em: P5(1) - Tabela 28a; e em P5(2) - Tabela 28b

Frequência (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	
L10-L90 ≥ 4 dB (%)	100	100	100	100	100	100	100	93.33	86.67	60	0	0	26.67	20

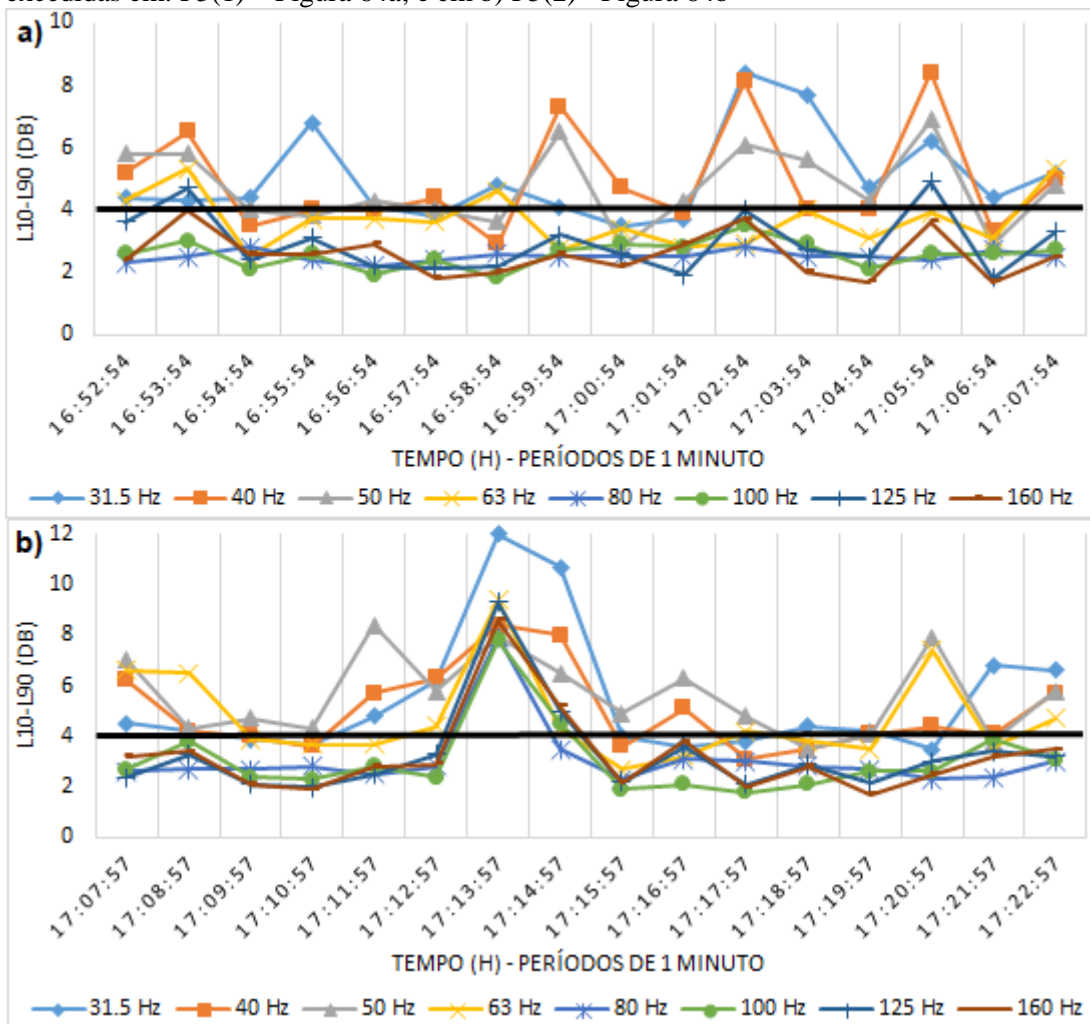
a)

Frequência (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160	
L10-L90 ≥ 4 dB (%)	100	100	100	100	100	100	100	93.33	100	93.33	13.33	26.67	20	26.67

b)

Fonte: Medições realizadas pela autora.

Figura 64 - Características de fluatibilidade L10-L90 para as bandas de frequência de 1/3 oitava excedidas em: P5(1) – Figura 64a; e em b) P5(2) - Figura 64b



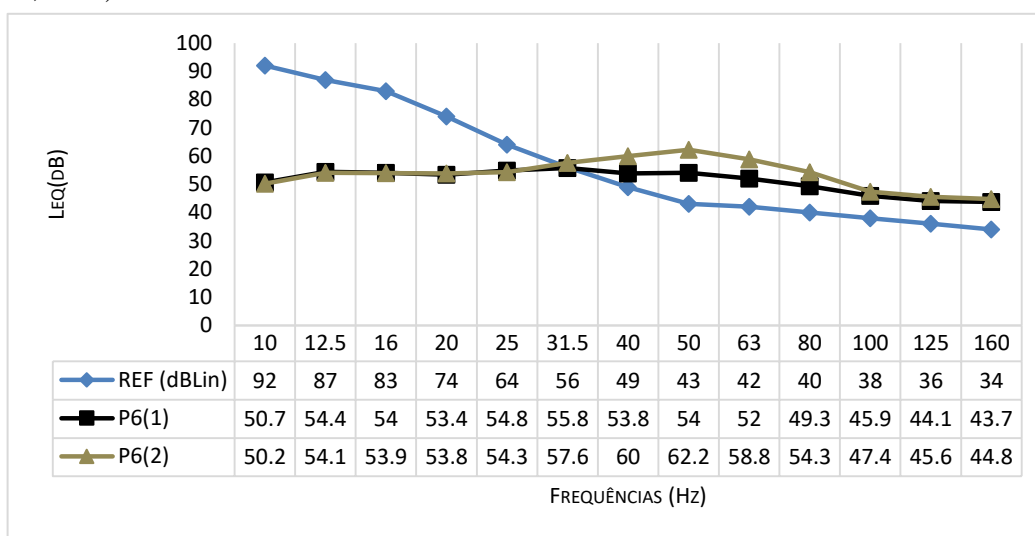
Fonte: Medições realizadas pela autora.

3.8.6 Ponto 6

Na Figura 65 apresenta-se a comparação das curvas das duas medições obtidas neste ponto com a curva de referência do DEFRA. A primeira medição representa-se por *P6(1)* e a segunda medição por *P6(2)*.

A curva de *P6(1)* ultrapassa a curva de referência do DEFRA nas bandas de frequência de 40 Hz a 160 Hz. A curva de *P6(2)* ultrapassa-a na banda de frequência de 31,5 Hz a 160 Hz (Figura 65). Verifica-se assim uma ultrapassagem de 53,9 % das bandas de 1/3 de oitava estudadas, no caso da curva *P6(1)*, e de 61,5% no caso curva referente a (*P6(2)*). A média do afastamento em relação à curva de referência é de 8,69 dB e de 11,39 dB para as curvas *P6(1)* e *P6(2)* respetivamente. A máxima diferença de ultrapassagem é de 11 dB e de 19,2 dB para as curvas *P6(1)* e *P6(2)* respetivamente na banda de frequência de 50 Hz. Para a última banda de frequência do intervalo considerado, ou seja, para 160 Hz, essa diferença é de 9,7 dB no caso da primeira curva e de 10,8 dB no caso da segunda.

Figura 65 - Comparação das medições obtidas no Ponto 6 com os valores de referência do DEFRA (2005, 2011)



Fonte: Medições realizadas pela autora e DEFRA (2005, 2011).

As bandas de frequência ultrapassadas na primeira medição (intervalo [40; 160] Hz) e na segunda (intervalo [31,5; 160] Hz) apresentam características flutuantes, já que a condição $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB se verificou na maior parte do período (Tabela 29a e b e Figura 66a e b).

Tabela 29 - Características de fluutuabilidade do ruído e percentagem do tempo em que $L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB em: P6(1) - Tabela 29a; e em P6(2) - Tabela 29b

Frequência (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
$L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	66.67	46.67	26.67	26.67

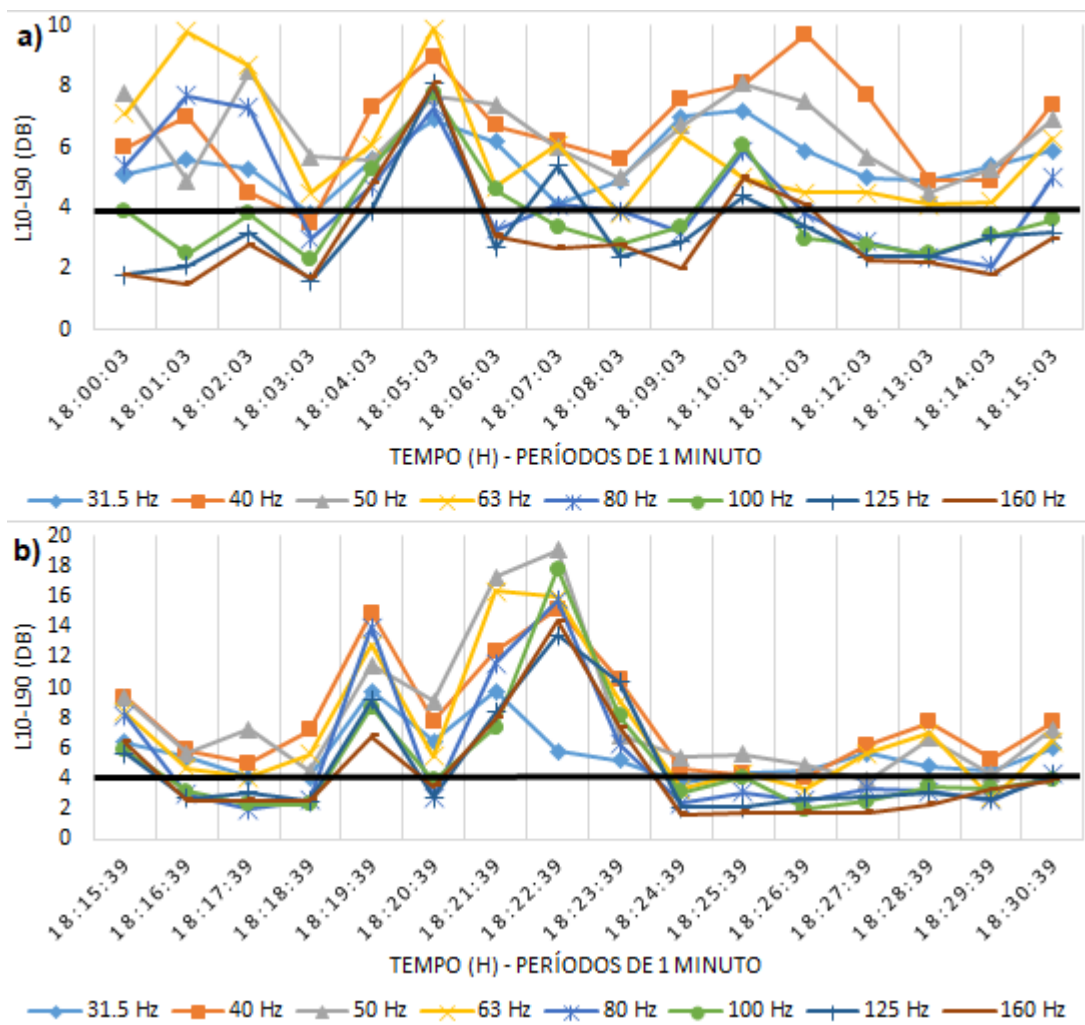
a)

Frequência (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
$L_{10}-L_{90} \geq 4$ dB (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	80	40	53.33	46.67	46.67

b)

Fonte: Medições realizadas pela autora.

Figura 66 - Características de fluutuabilidade $L_{10}-L_{90}$ para as bandas de frequência de 1/3 oitava excedidas em P6(1) - Figura 66a; e em P6(2) - Figura 66b



Fonte: Medições realizadas pela autora.

3.8.7 Breve análise da comparação dos resultados obtidos com a curva de DEFRA

Em todos os pontos de medição, os níveis sonoros medidos excedem os valores de referência da curva critério da metodologia de *Salford*, (REF dB), especialmente, nas bandas de frequência de 31,5 Hz a 160 Hz (muito baixas frequências). Oito das medições, *P2(1)*, *P3(2 e 3)*, *P4(1 e 2)*, *P5(1 e 2)* e *P6(2)* ultrapassam a curva de critério nas bandas de frequência referidas e as restantes cinco medições, *P1(1 e 2)*, *P2(2)*, *P3(1)* e *P6(1)*, nas bandas de frequência de 40 Hz a 160 Hz.

Nessas bandas ultrapassadas, todos os pontos de medição apresentam características flutuantes, em que a diferença dos indicadores $L_{10}-L_{90}$ se apresenta superior ou igual a quatro para a maior parte do tempo de cada medição. O ponto 4 foi o ponto que apresentou, para as bandas excedidas no método do DEFRA, características de fluabilidade na maior percentagem do tempo, com valores de $L_{10}-L_{90} \geq 4dB$ em 93,33% do tempo de cada medição (15 minutos). O ponto 5 foi o que apresentou a percentagem mais baixa das características de fluabilidade nas bandas excedidas quando comparadas com a curva critério. Na primeira medição, não apresentou características de fluabilidade nas bandas de frequência de 80 Hz e 100 Hz.

Estes resultados podem ser justificados pela fonte sonora em causa, isto é, pelos diferentes tipos de indústrias que contribuem para o RBF, bem como pela existência de outras fontes de poluição sonora de baixa frequência, que sendo ou não momentâneas podem ter influenciado os resultados. Dando-se, neste último caso, principal importância à passagem de veículos pesados ou à presença de cabos de alta tensão, já que no âmbito da avaliação de ruído ambiental se torna difícil isolar a fonte sonora principal em estudo.

Na secção que se segue será feita a caracterização tonal de cada ponto de medição, com base nos resultados obtidos na abordagem objetiva.

3.9 Avaliação da componente tonal do ruído dos dados obtidos – aplicação do critério de incomodidade

A aplicação do critério de incomodidade, segundo o RGR, passa pela correção do valor dos níveis sonoros equivalentes, L_{Aeq} , determinado durante as medições. Este valor deve

ser corrigido através da soma do indicador $K1$ ou $K2$, de acordo com as características tonais ou impulsivas do ruído, respetivamente (D.L. 9/2007 – Anexo I: Artigo 13º).

Neste caso, o ruído particular de cada uma das medições não apresenta características impulsivas, logo $K2 = 0$ dB(A). Nos casos em que se verifique que o ruído apresenta características tonais será adicionado ao valor de L_{Aeq} o indicador $K1 = 3$ dB(A).

Assim, o método para detetar as características tonais do ruído dentro do intervalo de tempo de avaliação, consiste em verificar, no espectro de 1/3 de oitava, se o nível sonoro de uma banda excede o das adjacentes em 5 dB(A) ou mais, caso em que o ruído deve ser considerado tonal.

Na avaliação do RBF proveniente de fontes industriais, foi verificada a existência de componentes tonais de acordo com o estipulado na legislação portuguesa (Decreto-Lei nº 9, de 17 de janeiro de 2007). Esta verificação será feita para valores $L_{eq}(dB)$ e $L_{Aeq}(dBA)$. A conversão em dB(A) considerou os valores apresentados na Tabela 30, conforme o exposto na revisão bibliográfica.

Tabela 30 - Filtro de ponderação A para bandas de frequência centrais na gama audível e as respetivas bandas de oitava e de 1/3 de oitava

Frequência (Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	100	125	160
Ponderação A	70.4	63.4	56.7	50.5	44.7	39.4	34.6	30.2	26.2	22.5	19.1	16.1	13.4

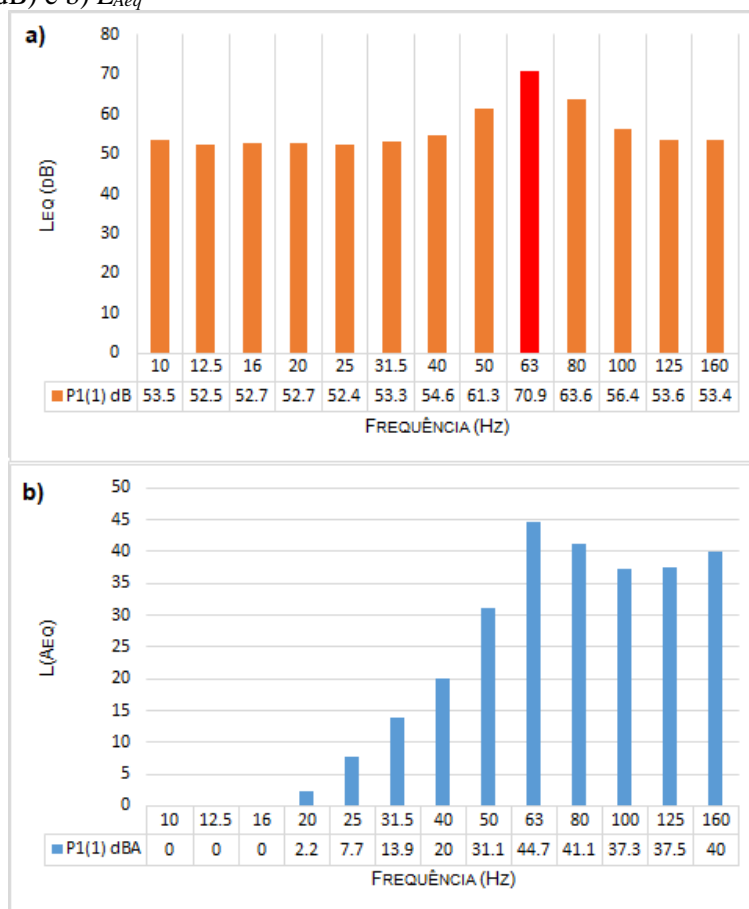
Fonte: Adaptado de Silva, 2007.

3.9.1 Ponto 1

De acordo com o exposto, a verificação da componente tonal do Ponto 1 encontra-se representada na Figura 67 para a primeira medição, $PI(1)$, e na Figura 68 para a segunda medição, $PI(2)$.

Relativamente à primeira medição, para os níveis sonoros equivalentes sem filtro (Figura 67a), verificou-se que o espectro apresenta características tonais na banda de 1/3 oitava de 63 Hz, já que a diferença dos níveis sonoros em relação às bandas adjacentes é superior a 5 dB. No que se refere aos valores L_{Aeq} (Figura 67b), o espectro não apresenta características tonais, pois apesar da banda de frequências de 63 Hz sobressair em relação às da sua esquerda, nas bandas de frequência à sua direita, a diferença é inferior a 5 dB(A).

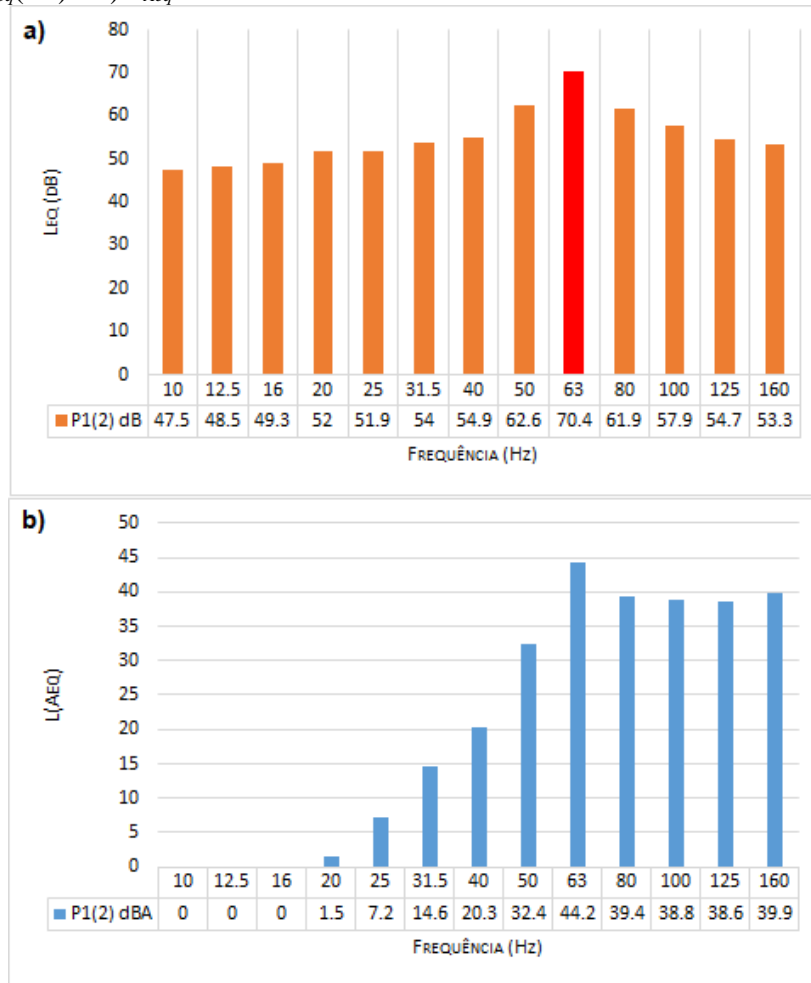
Figura 67 - Verificação das componentes tonais da primeira medição do Ponto 1 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}



Fonte: elaboração própria a com base nas medições de 30/10/2017.

Relativamente à segunda medição, verificou-se que o espectro apresenta características tonais na banda de 1/3 oitava de 63 Hz, para os níveis sonoros equivalentes sem filtro (Figura 68a). Apesar da diferença do nível sonoro equivalente com ponderação A (Figura 68a e 68b) dessa faixa de frequência ultrapassar os 5 dB(A) em relação às bandas adjacentes à sua esquerda, o mesmo não se verifica à direita, logo quando considerando o filtro A esse mesmo ruído não apresenta características tonais.

Figura 68 - Verificação das componentes tonais da segunda medição do Ponto 1 referentes aos valores: a) $L_{eq}(dB)$ e b) L_{Aeq}



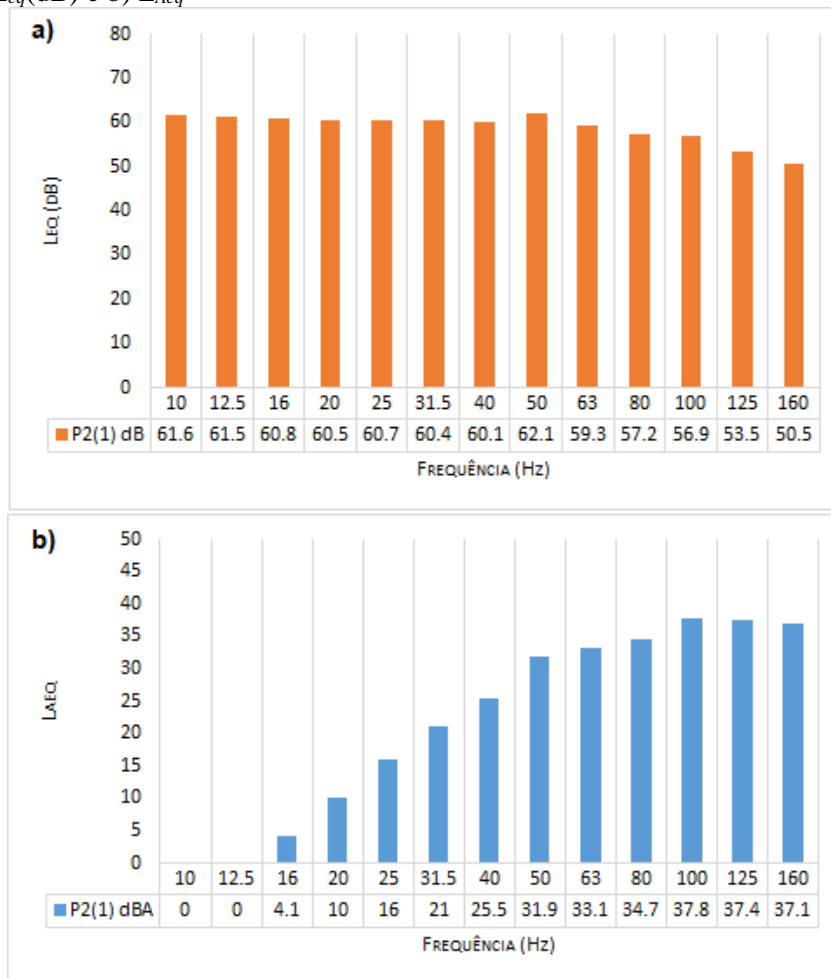
Fonte: Medições realizadas pela autora.

3.9.2 Ponto 2

A verificação da componente tonal do Ponto 2 encontra-se representada na Figura 69 para a primeira medição, $P2(1)$, e na Figura 70 para a segunda medição, $P2(2)$.

Relativamente à primeira medição, não se verificam características tonais no espectro sonoro, quer para os níveis sonoros equivalentes sem filtro (Figura 69a), quer para os valores LA_{eq} (Figura 69b).

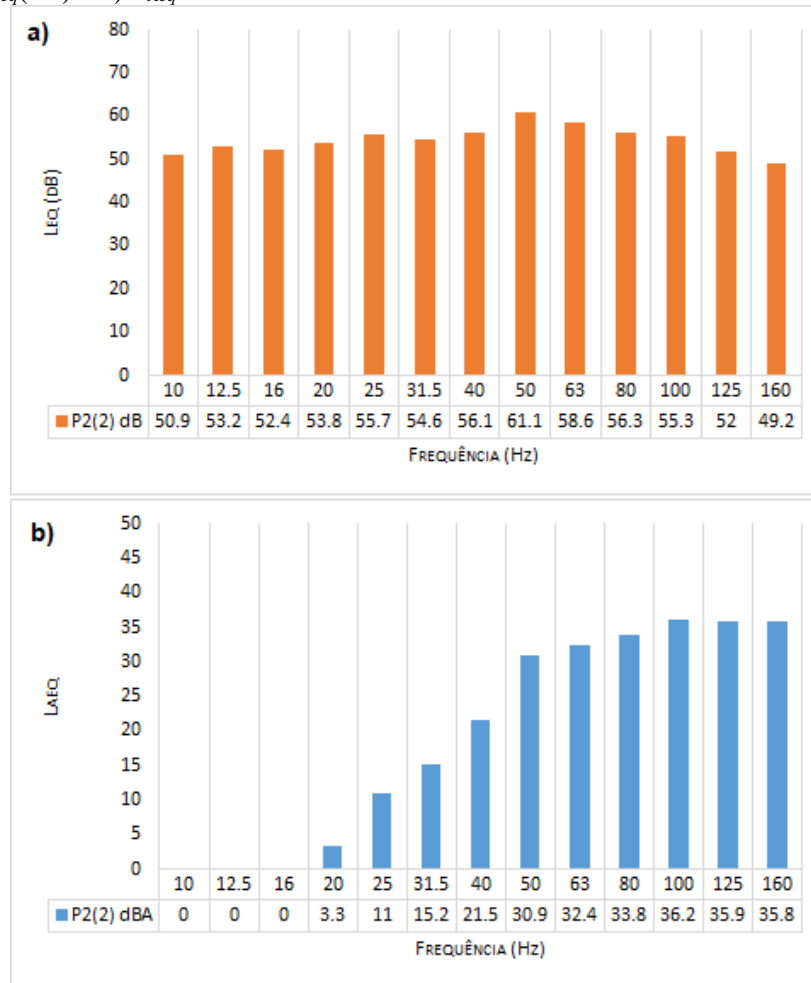
Figura 69 - Verificação das componentes tonais da primeira medição do Ponto 2 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}



Fonte: Medições realizadas pela autora.

Embora ambas apresentem uma diferença superior ou igual a 5 dB para os valores L_{eq} e 5 dB(A) para os valores L_{Aeq} à esquerda da banda de frequências de 50 Hz, tal como na primeira medição, também no caso da segunda, o espectro sonoro não manifesta características tonais, tanto para os níveis sonoros equivalentes sem filtro como para os níveis com ponderação A (Figura 70a e 70b).

Figura 70 - Verificação das componentes tonais da segunda medição do Ponto 2 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}



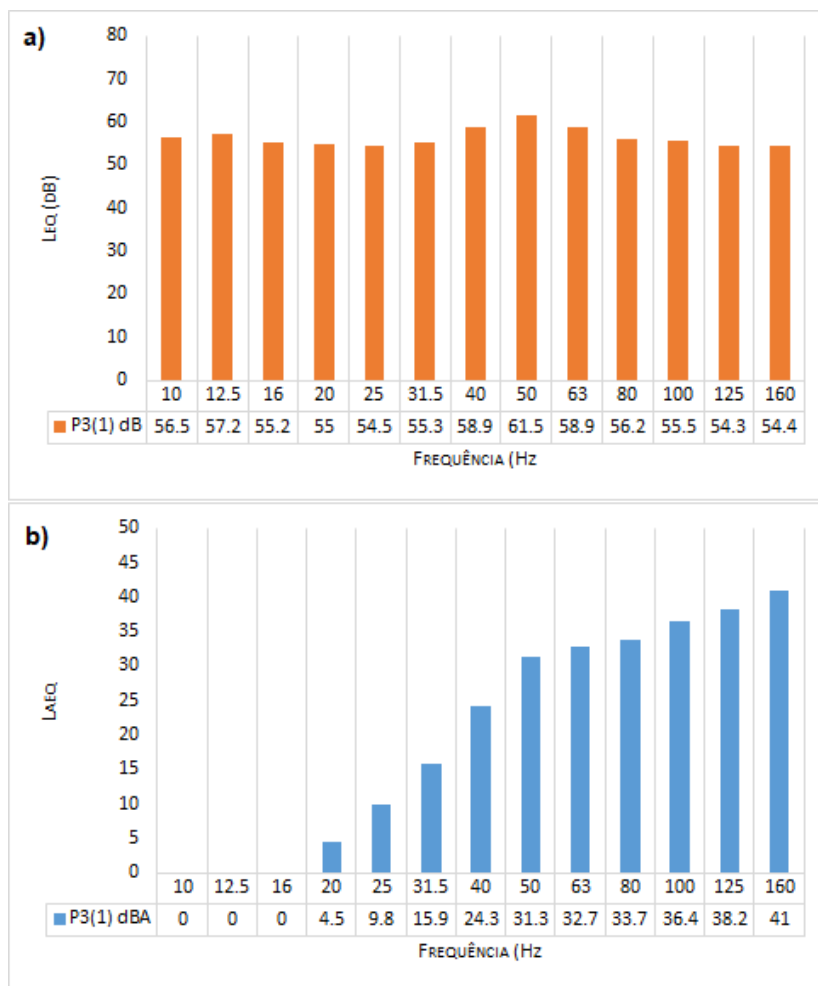
Fonte: Medições realizadas pela autora.

3.9.3 Ponto 3

A análise da componente tonal do ponto 3 encontra-se representada na Figura 71 para a primeira medição, $P3(1)$, na Figura 72 para a segunda medição, $P3(2)$ e na Figura 73 para a terceira medição, $P3(3)$.

Relativamente à primeira medição, o espectro sonoro não apresenta componentes tonais, tanto para os níveis sonoros equivalentes sem filtro (Figura 71a), como para os níveis com ponderação A (Figura 71b), embora neste último caso se verifique uma diferença superior a 5 dB para as bandas de frequências antecedentes à de 50 Hz.

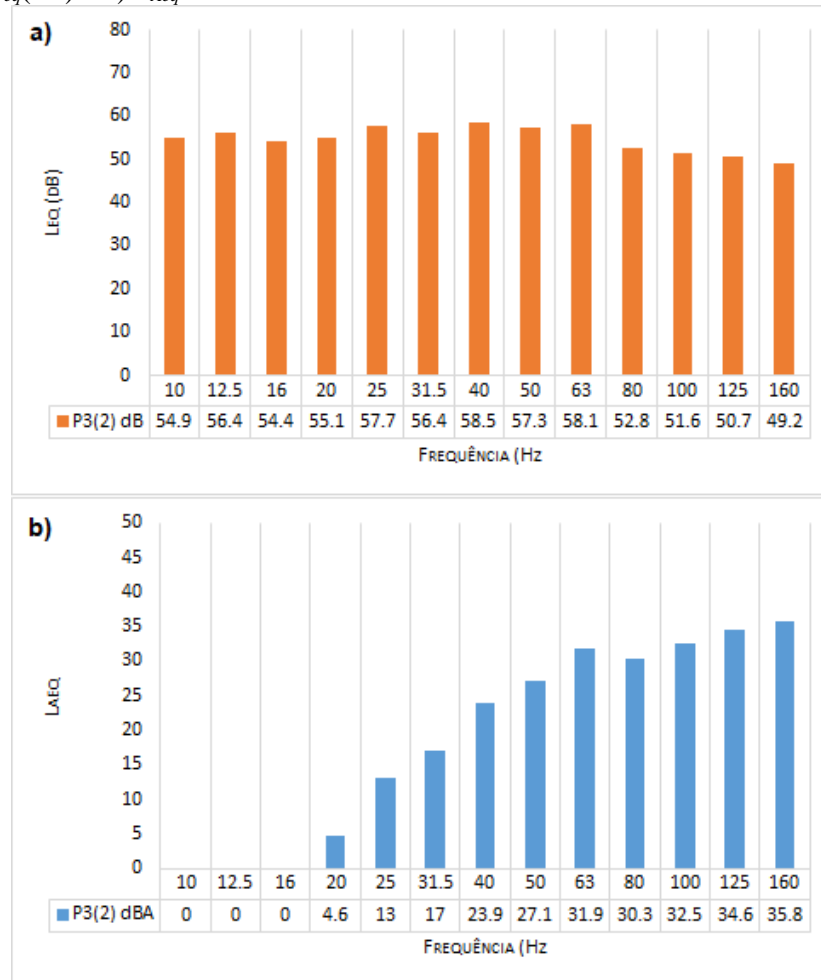
Figura 71 - Verificação das componentes tonais da primeira medição do Ponto 3 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}



Fonte: Medições realizadas pela autora.

O espectro sonoro da segunda medição também não exibe componentes tonais, quer para os níveis sonoros equivalentes sem filtro (Figura 72a), quer para os níveis com ponderação A (Figura 72b).

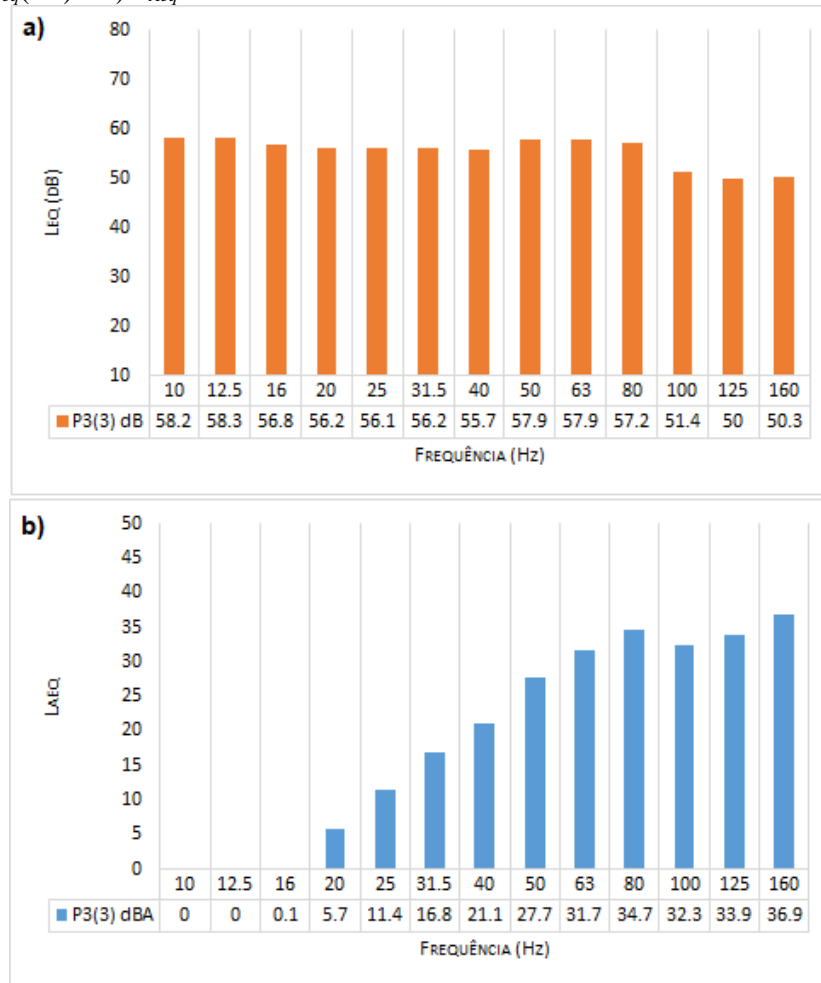
Figura 72 - Verificação das componentes tonais da segunda medição do Ponto 3 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}



Fonte: Medições realizadas pela autora.

No caso da terceira medição e, tal como as outras duas, pela avaliação dos espectros sonoros, sem filtro (Figura 73a) e com ponderação A (Figura 73b), percebe-se que não apresentam características tonais.

Figura 73 - Verificação das componentes tonais da terceira medição do Ponto 3 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}



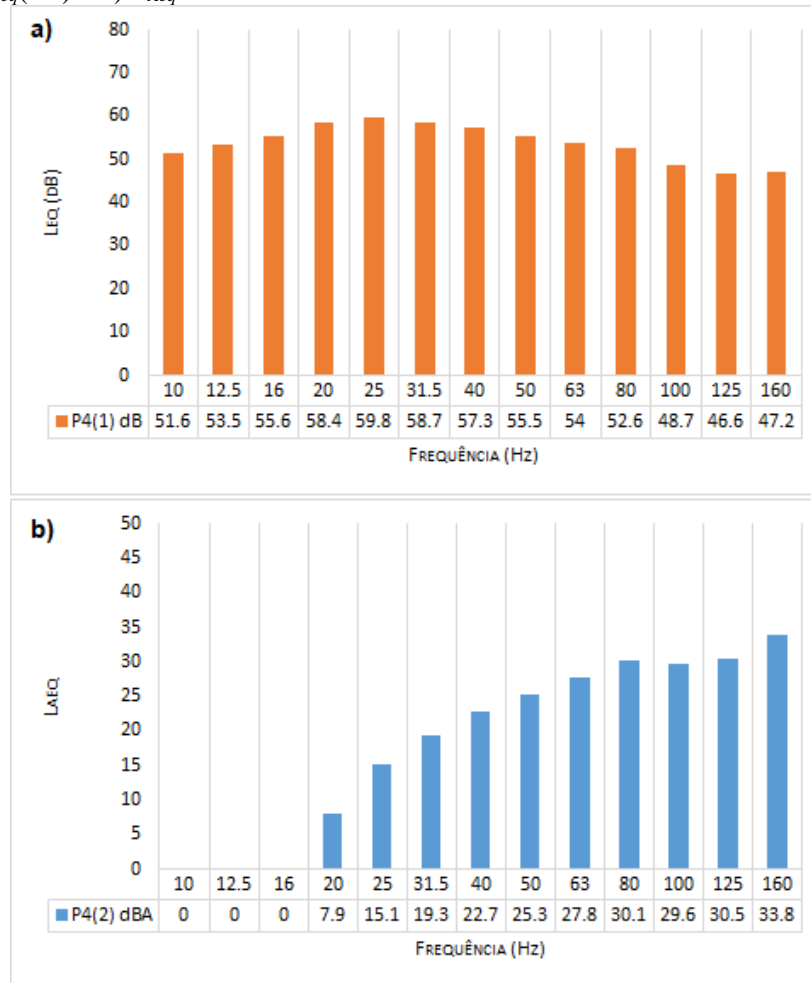
Fonte: Medições realizadas pela autora.

3.9.4 Ponto 4

A análise da componente tonal do Ponto 4 encontra-se representada na Figura 74 para a primeira medição, $P4(1)$ e na Figura 75 para a segunda medição, $P4(2)$.

O espectro sonoro da primeira medição não apresenta componentes tonais, tanto para os níveis sonoros equivalentes sem filtro (Figura 74a), como para os níveis com ponderação A (Figura 74b).

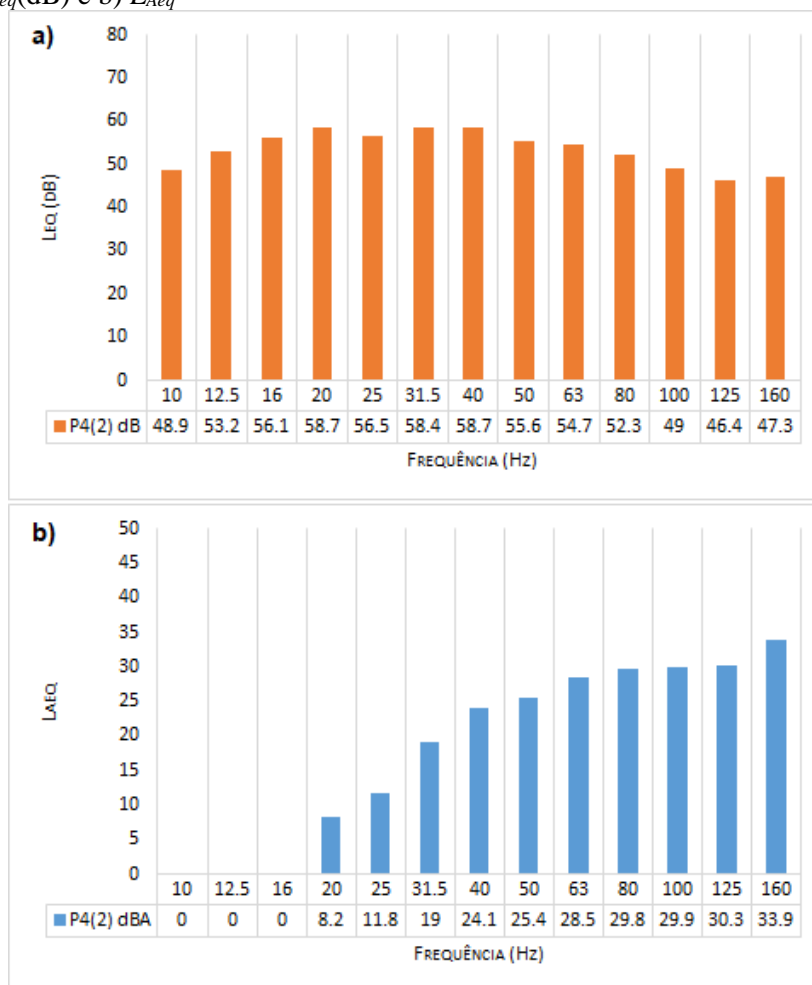
Figura 74 - Verificação das componentes tonais da primeira medição do Ponto 4 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}



Fonte: Medições realizadas pela autora.

Tal como na primeira medição, também no caso da segunda, o espectro sonoro não manifesta características tonais, tanto para os níveis sonoros equivalentes sem filtro como para os níveis com ponderação A (Figura 75a e 75b).

Figura 75 - Verificação das componentes tonais da segunda medição do Ponto 4 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}



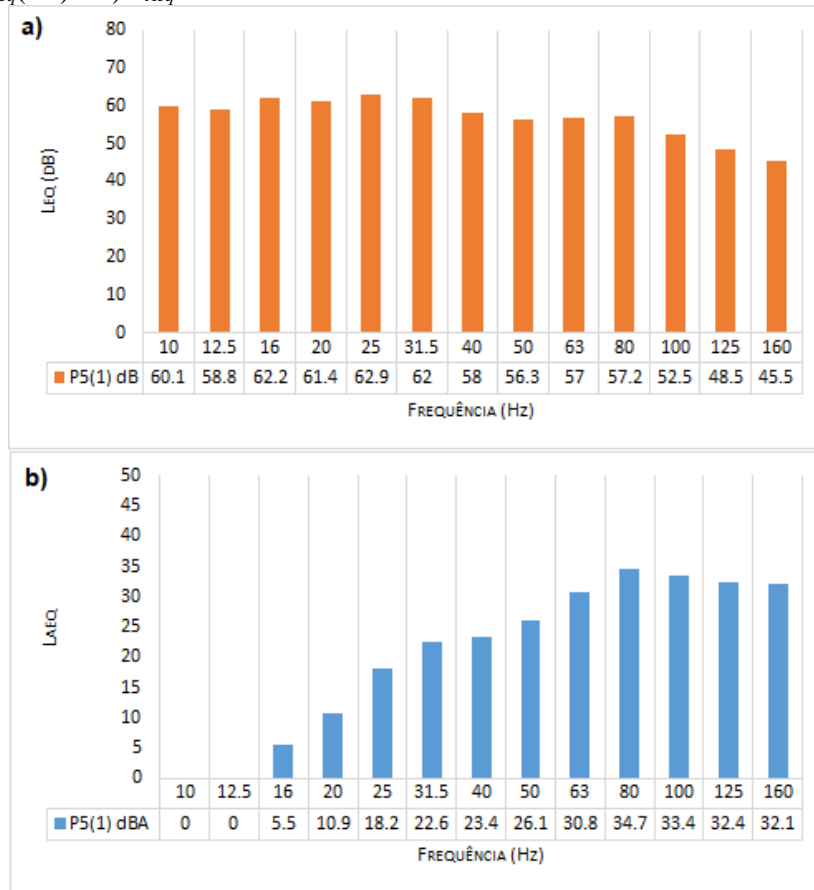
Fonte: Medições realizadas pela autora.

3.9.5 Ponto 5

A análise da componente tonal do PONTO 5 encontra-se representada na Figura 76 para a primeira medição, $P5(1)$ e na Figura 77 para a segunda medição, $P5(2)$.

O espectro sonoro da primeira medição não apresenta componentes tonais, tanto para os níveis sonoros equivalentes sem filtro (Figura 76a), como para os níveis com ponderação A (Figura 76b).

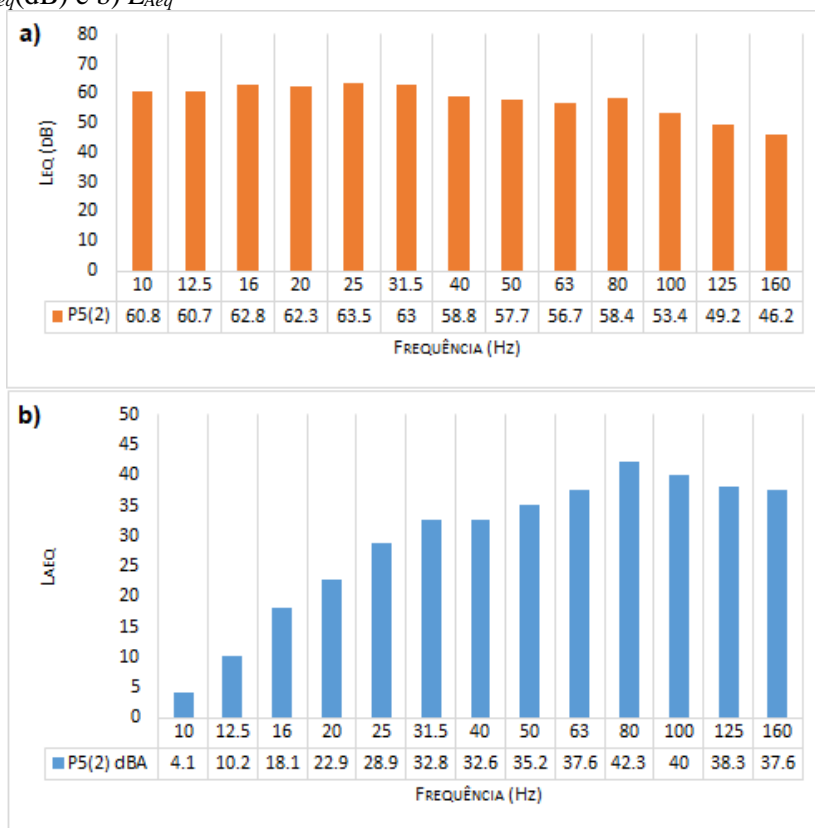
Figura 76 - Verificação das componentes tonais da primeira medição do Ponto 5 referentes aos valores: a) $L_{eq}(dB)$ e b) L_{Aeq}



Fonte: Medições realizadas pela autora.

No caso da segunda medição, apesar da banda de frequência de 80 Hz se destacar relativamente aos níveis sonoros equivalentes em dB (Figura 77a), a diferença de 5 dB só se apresenta para as bandas adjacentes à sua direita (dos 100 Hz aos 16 Hz). Relativamente aos valores em dB(A) a diferença de 5 dB(A) só se verifica à esquerda da banda de 80 Hz (Figura 77b). Assim, o espectro sonoro não apresenta características tonais, quer para os níveis sonoros equivalentes sem filtro, quer para os níveis com ponderação A.

Figura 77 - Verificação das componentes tonais da segunda medição do Ponto 5 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}



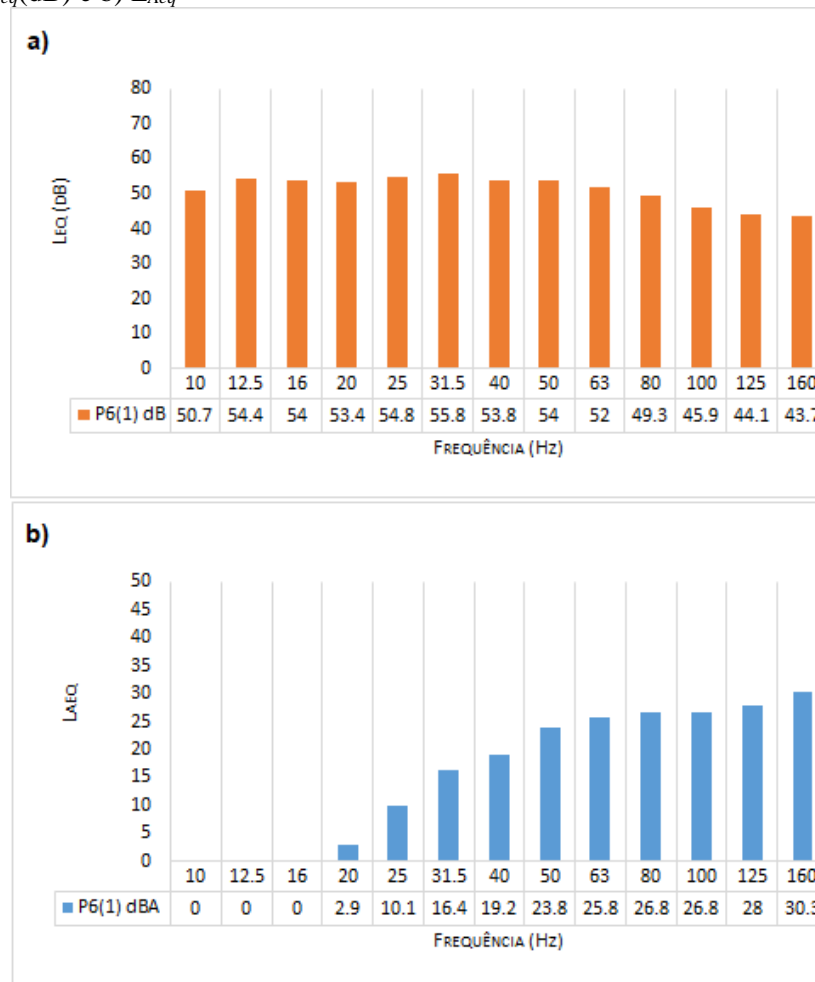
Fonte: Medições realizadas pela autora.

3.9.6 Ponto 6

A análise da componente tonal do Ponto 6 encontra-se representada na Figura 78 para a primeira medição, $P6(1)$ e na Figura 79 para a segunda medição, $P6(2)$.

O espectro sonoro da primeira medição não manifesta componentes tonais, tanto para os níveis sonoros equivalentes sem filtro, como para os níveis com ponderação A (Figuras 78a e 78b).

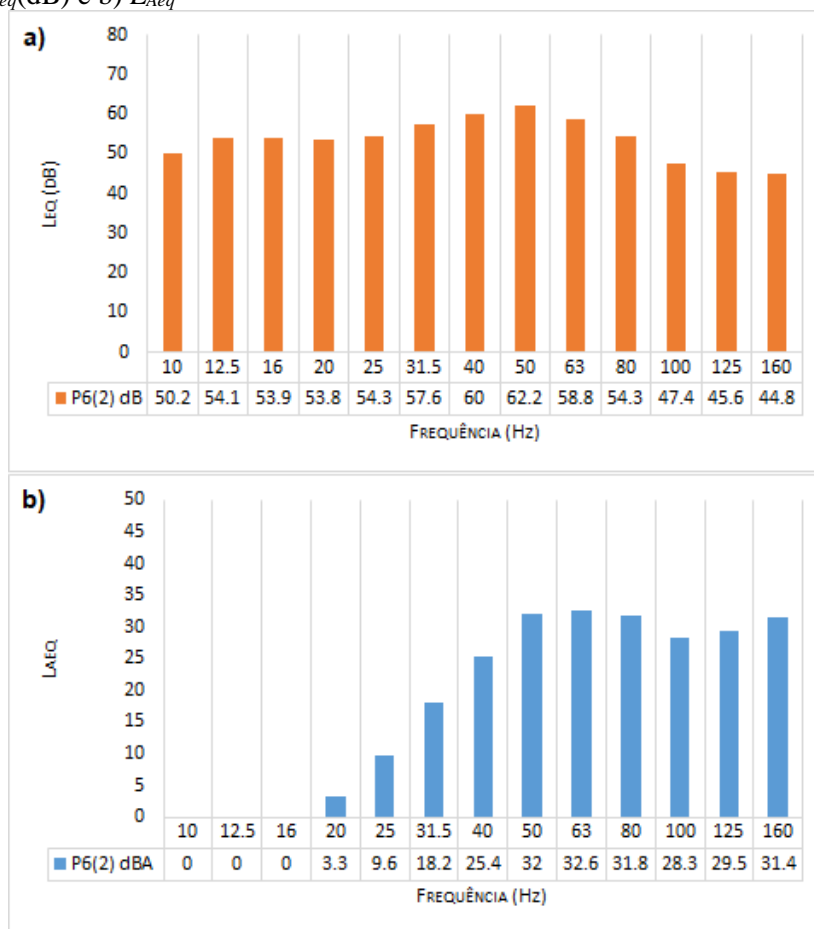
Figura 78 - Verificação das componentes tonais da primeira medição do Ponto 6 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}



Fonte: Medições realizadas pela autora.

Tal como no caso da primeira medição, também no espectro da segunda não são identificadas características tonais, tanto para os níveis sonoros equivalentes sem filtro (Figura 79a), como para os níveis com ponderação A (Figura 79b).

Figura 79 - Verificação das componentes tonais da segunda medição do PONTO 6 referentes aos valores: a) L_{eq} (dB) e b) L_{Aeq}



Fonte: Medições realizadas pela autora.

3.9.7 Breve análise da avaliação tonal dos resultados obtidos

Apenas se verificaram características tonais nas duas medições do Ponto 1, para a banda de frequência de 63 Hz, cujo nível médio L_{eq} (dB) é de 70,9 dB e de 70,4 dB, para a primeira e segunda medição, respetivamente. Uma correção a estes valores deve ser efetuada, adicionando-se 3 dB a cada medição.

Verificou-se para todos os pontos que os resultados segundo a curva de ponderação A não consideram grande parte dos níveis sonoros equivalentes nas baixas frequências, em especial, nas bandas de frequências entre 10 Hz e 50 Hz.

Assim a componente tonal verificada no Ponto 1 torna o ruído produzido pela fonte sonora em estudo ainda mais incomodativo.

3.10 Diferença entre os valores de $L_{eq}(dB(C) - dB(A))$

No método alternativo que consiste na diferença entre os níveis sonoros equivalentes com a ponderação C e os níveis com a ponderação A, como indicador de RBF, o cálculo foi feito considerando períodos de tempo de um minuto. A avaliação teve em conta o valor do nível sonoro equivalente do período total de 15 minutos, “*overall*”, que será apresentada em forma de tabela para cada um dos seis pontos de medição, contendo informação dos níveis máximos, mínimos e equivalentes em dB(C) e dB(A), seguidos da diferença dos mesmos, por intervalo de tempo.

3.10.1 Ponto 1

Na primeira medição deste ponto, o resultado da diferença dos níveis sonoros $dB(C)-dB(A)$, para o período total da medição (*overall* - 15 minutos) foi inferior a 15 dB. Para o período total da medição, o valor do nível equivalente de ponderação A foi de 64 dB(A) e o da ponderação C foi de 72,7 dB(C). A diferença entre estes níveis foi de $L_{eq}(C)-L_{eq}(A) = 8,7$ dB (Tabela 31).

O procedimento análogo, aplicado para os níveis sonoros, do período total, obtidos na segunda medição, revela uma diferença dos valores $L_{eq}(C)-L_{eq}(A)$ de 8,9 dB, mais uma vez inferior a 15 dB. O que, neste caso, aconteceu para todos os períodos de medição relativamente aos níveis mínimos e máximos, como se pode ver na Tabela 32.

Tabela 31 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na primeira medição do Ponto 1

Data type	Leq (A)			Leq (C)			Leq C - Leq A		
Period start	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
16:24:26	61.6	60.1	66.9	72.2	68.9	74.9	10.6	8.8	8
16:25:26	61.9	61.3	62.3	70.2	69.4	72	8.3	8.1	9.7
16:26:26	62.9	60	73.6	72.7	69.3	78.9	9.8	9.3	5.3
16:27:26	61.5	60.2	63.5	70.9	69.3	73.7	9.4	9.1	10.2
16:28:26	61.4	60.2	62.6	71.5	68.9	74.1	10.1	8.7	11.5
16:29:26	63.3	60.4	73.2	72.2	68.8	77.8	8.9	8.4	4.6
16:30:26	66.3	60.4	73.3	71.4	69.2	76.5	5.1	8.8	3.2
16:31:26	63.4	59.7	67.8	72.5	69.2	74.1	9.1	9.5	6.3
16:32:26	66	59.8	77.2	73.4	69.2	85.5	7.4	9.4	8.3
16:33:26	67.5	60.1	78.6	76.3	69.6	89.9	8.8	9.5	11.3
16:34:26	65.2	60.7	70.6	72.2	68.8	74.8	7	8.1	4.2
16:35:26	62.7	61.3	67.3	70.9	69	74.4	8.2	7.7	7.1
16:36:26	62.8	60.1	72.1	75.8	69.4	88.8	13	9.3	16.7
16:37:26	61.3	60.1	63.5	70.8	68.8	74.2	9.5	8.7	10.7
16:38:26	65.6	60.9	77.1	72.6	69.3	79.9	7	8.4	2.8
Overall	64	59.7	78.6	72.7	68.8	89.9	8.7	9.1	11.3

Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos no *Software dBTrait*.

Tabela 32 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na segunda medição do Ponto 1

Data type	Leq (A)			Leq (C)			Leq C - Leq A		
	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
16:40:14	61.2	60.2	61.7	71.2	69	73.9	10	8.8	12.2
16:41:14	61.1	59.8	63.8	72.3	69.4	74.3	11.2	9.6	10.5
16:42:14	61.7	60.1	63	70.5	69.4	74.2	8.8	9.3	11.2
16:43:14	64.3	59.8	76.2	72.3	69.5	78.9	8	9.7	2.7
16:44:14	65.4	60.7	75.1	74.1	69.4	84.6	8.7	8.7	9.5
16:45:14	61.6	59.9	62.4	71	68.8	74.2	9.4	8.9	11.8
16:46:14	66.4	60.1	75.1	75.4	69.5	84.1	9	9.4	9
16:47:14	61.7	60	63.3	70.3	69.1	73.9	8.6	9.1	10.6
16:48:14	63	60	74.3	72.4	69.4	78.7	9.4	9.4	4.4
16:49:14	64.8	59.9	76	73.5	68.9	83.7	8.7	9	7.7
16:50:14	61.6	60.4	62.1	70.9	69.1	73.8	9.3	8.7	11.7
16:51:14	61.7	60	68.3	72.4	69.4	75	10.7	9.4	6.7
16:52:14	66.1	60.4	78.5	71.7	69.4	80.4	5.6	9	1.9
16:53:14	63.6	59.8	75.4	73.1	69.2	82.9	9.5	9.4	7.5
16:54:14	61.5	59.9	63.7	71.3	69.4	73.6	9.8	9.5	9.9
Overall	63.5	59.8	78.5	72.4	68.8	84.6	8.9	9	6.1

Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos no *Software dBTrait*.

3.10.2 Ponto 2

No período total da primeira medição do ponto 2, o valor do nível equivalente de ponderação A foi de 58,2 dB(A) e o da ponderação C de 68,3 dB(C). A diferença entre os níveis $L_{eq}(C)-L_{eq}(A)$ foi, portanto, de 10,1 dB, sendo portanto inferior ao limite de incomodidade de 15 dB (Tabela 33).

O mesmo método, aplicado para os níveis sonoros do período total obtidos na segunda medição, revela uma diferença dos valores também inferior a 15 dB (7,5 dB) (Tabela 34).

Tabela 33 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na primeira medição do Ponto 2

Data type	Leq (A)			Leq (C)			Leq C - Leq A		
	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
10:04:13	57.9	57	58.9	67.1	64.4	72.2	9.2	7.4	13.3
10:05:13	57.9	57.2	58.6	66	64.4	68.5	8.1	7.2	9.9
10:06:13	58.2	57	61.2	69.1	64.6	78.7	10.9	7.6	17.5
10:07:13	58	57.4	59.2	65.8	64.4	69.6	7.8	7	10.4
10:08:13	59.1	57.3	68.9	69.9	64.7	77.7	10.8	7.4	8.8
10:09:13	58.3	57.2	60.8	66.5	64.9	69.4	8.2	7.7	8.6
10:10:13	58.9	57.5	62.5	68.6	65	73.9	9.7	7.5	11.4
10:11:13	58.6	57.2	63.8	66.7	64.3	70.3	8.1	7.1	6.5
10:12:13	57.9	57.3	58.9	66.5	64.6	69.4	8.6	7.3	10.5
10:13:13	58.4	57.2	61	68.1	64.6	76.2	9.7	7.4	15.2
10:14:13	57.9	57.4	58.5	68.4	66.1	74.1	10.5	8.7	15.6
10:15:13	58.8	57.4	64.4	72.5	66.9	81.9	13.7	9.5	17.5
10:16:13	58.4	57	61.1	70.4	65.3	76.9	12	8.3	15.8
10:17:13	57.5	56.8	58.1	66.1	64.5	69.6	8.6	7.7	11.5
10:18:13	57.6	56.9	58.9	66.2	64.1	68.3	8.6	7.2	9.4
Overall	58.2	56.8	68.9	68.3	64.1	81.9	10.1	7.3	13

Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos no *Software dBTrait*.

Tabela 34 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na segunda medição do Ponto 2

Data type	Leq (A)			Leq (C)			Leq C - Leq A		
	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
10:21:29	58.7	56.4	64.7	66.2	63.5	70.6	7.5	7.1	5.9
10:22:29	59.5	57	66.6	66.8	64.3	70.8	7.3	7.3	4.2
10:23:29	60.3	57.2	65.2	69	64.2	75.4	8.7	7	10.2
10:24:29	59.5	57	66.7	66.6	64.1	70.3	7.1	7.1	3.6
10:25:29	57.3	56.4	58.8	65.2	63.9	67.5	7.9	7.5	8.7
10:26:29	58	56.9	59.6	65	63.8	66.6	7	6.9	7
10:27:29	59	57.3	63.9	67.4	64.5	71.4	8.4	7.2	7.5
10:28:29	59.6	56.6	64.3	66.6	63.3	71.3	7	6.7	7
10:29:29	59.3	57.7	62.3	67.5	65.3	71.3	8.2	7.6	9
10:30:29	58.5	57.2	61.6	66.9	63.8	77.4	8.4	6.6	15.8
10:31:29	59.1	57	66.5	65.7	64.3	68.3	6.6	7.3	1.8
10:32:29	59.6	57.2	66.1	67.1	64.7	70.3	7.5	7.5	4.2
10:33:29	59.6	57.4	66.4	66.3	64.7	69.1	6.7	7.3	2.7
10:34:29	58.8	57.1	64.7	66	63.6	71.1	7.2	6.5	6.4
10:35:29	58.2	56.3	62.2	64.4	63.1	67.4	6.2	6.8	5.2
Overall	59.1	56.3	66.7	66.6	63.1	77.4	7.5	6.8	10.7

Fonte: elaboração própria através dos dados obtidos no *Software dBTrait*.

3.10.3 Ponto 3

Nas três medições deste ponto, a diferença dos níveis sonoros equivalentes $dB(C)-dB(A)$, para o período total da medição (*overall* - 15 minutos) encontram-se abaixo do mencionado limite de 15 dB. Conforme apresentado nas Tabelas 35, 36 e 37, os valores apurados para a primeira, segunda e terceira medições foram respectivamente de 10 dB, 10,8 dB e 11,6 dB (Tabela 35, 36 e 37).

Tabela 35 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na primeira medição do Ponto 3

Data type	Leq (A)			Leq (C)			Leq C - Leq A		
	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
10:42:10	57.4	50.3	69	67.3	62	77.3	9.9	11.7	8.3
10:43:10	56.8	54.9	61	65.5	63.7	67.6	8.7	8.8	6.6
10:44:10	54.9	47.7	57.9	64	59.6	66.3	9.1	11.9	8.4
10:45:10	62	53.5	70.2	71.7	63.9	80.8	9.7	10.4	10.6
10:46:10	57.1	52.4	65.3	66.8	63.1	73.2	9.7	10.7	7.9
10:47:10	58	53.2	66.7	67.9	63.5	78.3	9.9	10.3	11.6
10:48:10	54.7	52.5	59.4	65	62.3	69.6	10.3	9.8	10.2
10:49:10	58.6	51.3	70.4	68.9	62.7	80.5	10.3	11.4	10.1
10:50:10	59.2	52.6	71.7	68.3	62.6	79.1	9.1	10	7.4
10:51:10	57.4	50.6	68.2	68.3	61.7	77.6	10.9	11.1	9.4
10:52:10	56.4	51.1	64.8	68.8	61.9	80.1	12.4	10.8	15.3
10:53:10	52.2	48.9	58.1	63.3	60.4	66.6	11.1	11.5	8.5
10:54:10	55.2	48.1	67.8	63.4	60.5	72.2	8.2	12.4	4.4
10:55:10	54.6	46.5	67.2	64	59	73.9	9.4	12.5	6.7
10:56:10	48.4	46.7	54	60.3	58.2	62.4	11.9	11.5	8.4
Overall	57.1	46.5	71.7	67.1	58.2	80.8	10	11.7	9.1

Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos no *Software dBTrait*.

Tabela 36 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na segunda medição do Ponto 3

Data type	Leq (A)			Leq (C)			Leq C - Leq A		
	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
10:57:48	47.4	46.7	48.2	59.6	58	61.8	12.2	11.3	13.6
10:58:48	48.2	46.5	50.9	60.5	58.2	65.8	12.3	11.7	14.9
10:59:48	48.8	47.5	52.6	61	58.7	67.4	12.2	11.2	14.8
11:00:48	50.8	46.8	60.4	62.6	58	71.5	11.8	11.2	11.1
11:01:48	57	47.4	68.5	68.2	57.9	80.7	11.2	10.5	12.2
11:02:48	48.5	47.2	50.2	60	58.4	61.8	11.5	11.2	11.6
11:03:48	49	47.4	51.4	62.3	59	69.8	13.3	11.6	18.4
11:04:48	56.6	47.3	68.5	68.3	59.5	75.8	11.7	12.2	7.3
11:05:48	51.4	46.7	61.6	61.3	58.4	69.1	9.9	11.7	7.5
11:06:48	49.1	46.9	56.2	60.4	57.8	66.8	11.3	10.9	10.6
11:07:48	53.9	47	62.9	65.5	57.3	74	11.6	10.3	11.1
11:08:48	50.4	46.9	58.2	63.1	58.5	71.2	12.7	11.6	13
11:09:48	51.8	47.7	61.7	61.9	58.6	69.6	10.1	10.9	7.9
11:10:48	60.6	47.5	72.3	69.9	58.9	81.5	9.3	11.4	9.2
11:11:48	56.3	48.2	70.6	65.1	59	78.3	8.8	10.8	7.7
Overall	53.9	46.5	72.3	64.7	57.3	81.5	10.8	10.8	9.2

Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos no *Software dBTrait*.

Tabela 37 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na terceira medição do Ponto 3

Data type	Leq (A)			Leq (C)			Leq C - Leq A		
	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
11:13:37	48.8	47.2	53.1	62	58.7	68.8	13.2	11.5	15.7
11:14:37	54.4	47.4	65.4	67.3	59.2	76.2	12.9	11.8	10.8
11:15:37	47.9	47.1	50.5	59.9	57.9	65.4	12	10.8	14.9
11:16:37	51	46.4	62.3	60.1	57.8	67.1	9.1	11.4	4.8
11:17:37	50.5	47.1	62.8	61.9	58.4	68.6	11.4	11.3	5.8
11:18:37	55.3	46.6	67.9	64.9	57.8	77.7	9.6	11.2	9.8
11:19:37	56.9	47.2	68.7	68.6	58.1	81.3	11.7	10.9	12.6
11:20:37	48.1	46.6	53.7	61.3	58.4	66	13.2	11.8	12.3
11:21:37	52.5	46.3	60.6	63.4	58.1	70.3	10.9	11.8	9.7
11:22:37	47	46.3	47.6	58.4	57.7	59.5	11.4	11.4	11.9
11:23:37	53.9	46.4	66.2	64.7	58.1	76.6	10.8	11.7	10.4
11:24:37	50.1	46.5	58.6	63.4	58	69.9	13.3	11.5	11.3
11:25:37	50.9	47.4	59.7	61	58.5	65.6	10.1	11.1	5.9
11:26:37	51.5	47.6	60.7	62.9	58.4	71.6	11.4	10.8	10.9
11:27:37	59.1	46.7	71.6	70.9	58.4	84.2	11.8	11.7	12.6
Overall	53.3	46.3	71.6	64.9	57.7	84.2	11.6	11.4	12.6

Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos no *Software dBTrait*.

3.10.4 Ponto 4

Na primeira medição deste ponto, o resultado da diferença dos níveis sonoros equivalentes $dB(C)-dB(A)$, para o período total da medição (*overall* - 15 minutos) foi inferior a 15 dB. Para o período total da medição, o valor do nível equivalente de ponderação A foi de 50,3 dB(A) e o da ponderação C foi de 63,6 dB(C). A diferença entre estes níveis foi, portanto, de 13,3 dB (Tabela 38).

Relativamente à segunda medição, os valores da diferença $L_{eq}(C)-L_{eq}(A)$ apurados foram de 11 dB, sendo portanto inferiores a 15 dB (Tabela 39).

Tabela 38 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na primeira medição do Ponto 4

Data type	Leq (A)			Leq (C)			Leq C - Leq A		
Period start	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
16:08:41	44.8	43.1	50.7	60.5	57.8	63	15.7	14.7	12.3
16:09:41	45.3	42.8	51.6	62.8	58.2	67.9	17.5	15.4	16.3
16:10:41	52.4	44.1	60.8	66	60.5	70.5	13.6	16.4	9.7
16:11:41	51.4	43.4	60.5	62	58.7	66	10.6	15.3	5.5
16:12:41	52.5	43.6	61.1	62	58.3	66.7	9.5	14.7	5.6
16:13:41	52.1	42.7	61.8	61.4	58.3	65.8	9.3	15.6	4
16:14:41	52.8	42.5	62.1	62.3	57.9	66.5	9.5	15.4	4.4
16:15:41	51.5	43.3	61.7	61.4	58.6	64.9	9.9	15.3	3.2
16:16:41	53.1	43.8	61.5	62.3	59.9	67.8	9.2	16.1	6.3
16:17:41	49.9	43.2	61.5	60.6	57.6	64	10.7	14.4	2.5
16:18:41	44.7	42.9	51.4	59.8	57.4	64.4	15.1	14.5	13
16:19:41	49.8	45.6	53.4	64.5	62.2	68.1	14.7	16.6	14.7
16:20:41	46.8	44.2	51.8	65.9	59.7	72	19.1	15.5	20.2
16:21:41	45.9	44.2	51.6	63.7	60.2	66.7	17.8	16	15.1
16:22:41	47.6	43.7	52.5	68.3	60.2	74	20.7	16.5	21.5
Overall	50.3	42.5	62.1	63.6	57.4	74	13.3	14.9	11.9

Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos no *Software dBTrait*.

Tabela 39 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na segunda medição do Ponto 4

Data type	Leq (A)			Leq (C)			Leq C - Leq A		
Period start	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
16:25:06	53.4	52.9	55.2	63.6	61.9	66.5	10.2	9	11.3
16:26:06	54.9	53	62.5	64.8	61.8	69.7	9.9	8.8	7.2
16:27:06	56.1	45.3	63.4	64.3	61.1	67.6	8.2	15.8	4.2
16:28:06	53.2	45.5	61.3	63.1	60.2	66.7	9.9	14.7	5.4
16:29:06	53	44.2	61.8	63.1	59.8	65.6	10.1	15.6	3.8
16:30:06	53.9	43.9	61.6	64.4	60.5	68.1	10.5	16.6	6.5
16:31:06	52.6	43.8	61.1	65.1	59.7	70.8	12.5	15.9	9.7
16:32:06	53.1	43.8	60.9	64.9	60.3	69.1	11.8	16.5	8.2
16:33:06	51.7	43.6	61.5	62.3	59.9	67.2	10.6	16.3	5.7
16:34:06	53.4	44.5	61.4	64.7	60.7	71.6	11.3	16.2	10.2
16:35:06	53.1	44	60.9	62.4	59.5	66	9.3	15.5	5.1
16:36:06	51.1	43.3	61.2	63.9	58.3	71.5	12.8	15	10.3
16:37:06	45.2	43.1	51.8	61.1	58.3	66.3	15.9	15.2	14.5
16:38:06	51.4	44.4	58.1	62.9	60	70.9	11.5	15.6	12.8
16:39:06	46.4	44.3	50.8	63.9	60.6	67.7	17.5	16.3	16.9
Overall	52.8	43.1	63.4	63.8	58.3	71.6	11	15.2	8.2

Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos no *Software dBTrait*.

3.10.5 Ponto 5

Nas duas medições deste ponto, a diferença dos níveis sonoros equivalentes $dB(C)-dB(A)$, para o período total da medição (*overall* - 15 minutos) encontram-se abaixo do limite e

são iguais a 13,3 dB e 13,2 dB para a primeira e segunda medição, respetivamente (Tabelas 40 e 41).

Tabela 40 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na primeira medição do Ponto 5

Data type	Leq (A)			Leq (C)			Leq C - Leq A		
Period start	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
16:52:54	52.3	51.6	57.2	66.2	63.9	74	13.9	12.3	16.8
16:53:54	53.3	51.8	59.7	67.1	64.3	76.2	13.8	12.5	16.5
16:54:54	52.5	51.9	53.7	65.4	64	66.7	12.9	12.1	13
16:55:54	52.8	52	53.7	65.8	64.4	69.1	13	12.4	15.4
16:56:54	52.7	52.2	53.5	65.3	63.6	66.9	12.6	11.4	13.4
16:57:54	52.8	52.2	53.3	65.6	64.2	67.3	12.8	12	14
16:58:54	53.2	52.6	54.2	66.3	64.8	68	13.1	12.2	13.8
16:59:54	53.3	52.8	54.5	66.6	65	69	13.3	12.2	14.5
17:00:54	53.2	52.7	54.4	66	64.2	67.3	12.8	11.5	12.9
17:01:54	53.1	52.7	54.3	66.1	65.1	67.5	13	12.4	13.2
17:02:54	53.5	52.8	57.1	67.6	64.9	73.6	14.1	12.1	16.5
17:03:54	53.6	52.8	55.2	67.5	65.4	71.7	13.9	12.6	16.5
17:04:54	53.6	52.9	55.3	66.4	65	67.7	12.8	12.1	12.4
17:05:54	53.4	52.5	56.2	67.3	64.5	73.6	13.9	12	17.4
17:06:54	53.4	52.6	56.9	66.2	64.8	67.8	12.8	12.2	10.9
Overall	53.1	51.6	59.7	66.4	63.6	76.2	13.3	12	16.5

Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos no *Software dBTrait*.

Tabela 41 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na segunda medição do Ponto 5

Data type	Leq (A)			Leq (C)			Leq C - Leq A		
Period start	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
17:07:57	53.5	52.8	55.8	67	65.6	68.8	13.5	12.8	13
17:08:57	53.9	52.9	57.3	66.7	64.8	70.3	12.8	11.9	13
17:09:57	53.4	52.8	54.8	66	64.8	68.4	12.6	12	13.6
17:10:57	53.3	52.9	54	65.8	64.4	67.4	12.5	11.5	13.4
17:11:57	53.8	53	56.5	66.3	63.9	71.4	12.5	10.9	14.9
17:12:57	54	53	56.9	66.8	64.2	72.2	12.8	11.2	15.3
17:13:57	57.6	53.8	64.3	71	65.7	78.9	13.4	11.9	14.6
17:14:57	53.9	52.6	58.7	68	64.5	74.2	14.1	11.9	15.5
17:15:57	53.2	52.7	53.7	66.3	65	68.2	13.1	12.3	14.5
17:16:57	53.4	52.8	56.2	66.9	65.3	69.3	13.5	12.5	13.1
17:17:57	53.3	52.8	54.4	66.8	64.6	73.3	13.5	11.8	18.9
17:18:57	53.3	52.7	54.8	66.6	65.2	69.7	13.3	12.5	14.9
17:19:57	53.3	52.8	53.8	66.2	65.2	67.4	12.9	12.4	13.6
17:20:57	53.7	52.7	57.2	66.8	65.1	69.4	13.1	12.4	12.2
17:21:57	53.4	52.7	55.1	67.6	65.1	69.8	14.2	12.4	14.7
Overall	54	52.6	64.3	67.2	63.9	78.9	13.2	11.3	14.6

Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos no *Software dBTrait*.

3.10.6 Ponto 6

Na primeira medição deste ponto, o resultado da diferença dos níveis sonoros equivalentes $dB(C)-dB(A)$, para o período total da medição (*overall* - 15 minutos) foi inferior a 15 dB. Para o período total da medição, o valor do nível equivalente de

ponderação A foi de 51,9 dB(A) e o da ponderação C foi de 61,2 dB(C). A diferença entre estes níveis foi, então, de 9,3 dB.

Idêntico procedimento foi realizado para a segunda medição. O cálculo revelou uma diferença de 14,8 dB (Tabela 43).

Tabela 42 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na primeira medição do Ponto 6

Data type	Leq A			Leq C			Leq C - Leq A		
	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
18:00:03	47.8	46.6	50.4	60	57.5	62.3	12.2	10.9	11.9
18:01:03	50.5	46.7	64.2	60.6	57.5	68.8	10.1	10.8	4.6
18:02:03	48.2	46.2	56.1	60.1	57.5	64.1	11.9	11.3	8
18:03:03	46.6	45.5	51.5	58.8	57.9	60.5	12.2	12.4	9
18:04:03	49.8	46.4	55.5	60.9	57.9	71	11.1	11.5	15.5
18:05:03	53.5	46.5	60.3	63	57.8	72.3	9.5	11.3	12
18:06:03	50.7	46.2	60.3	60.9	58.1	70.6	10.2	11.9	10.3
18:07:03	51.4	46.4	61	63.1	57.8	74.9	11.7	11.4	13.9
18:08:03	49.4	47.6	52.3	60	58.8	61.5	10.6	11.2	9.2
18:09:03	59.5	48.6	71.3	63.5	59.2	71.6	4	10.6	0.3
18:10:03	52.6	47.7	59.2	62.9	60.1	71.5	10.3	12.4	12.3
18:11:03	50.3	46.8	60.6	61.7	58.8	71.6	11.4	12	11
18:12:03	48.3	46.5	54.8	59.7	58.1	62.1	11.4	11.6	7.3
18:13:03	47.4	46.1	51	58.9	57.5	61.2	11.5	11.4	10.2
18:14:03	47.4	46.6	48.6	59.8	58	61.2	12.4	11.4	12.6
Overall	51.9	45.5	71.3	61.2	57.5	74.9	9.3	12	3.6

Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos no *Software dBTrait*.

Tabela 43 - Diferença dos níveis sonoros equivalentes, máximos e mínimos $dB(C)-dB(A)$ na segunda medição do Ponto 6

Data type	Leq (A)			Leq (C)			Leq C - Leq A		
	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax	Leq	Lmin	Lmax
18:15:39	54.5	46.5	62.7	63	57.7	72	8.5	11.2	9.3
18:16:39	48.3	46.5	53.9	59.7	57.9	65.5	11.4	11.4	11.6
18:17:39	47.7	46.9	49.6	59.5	58.2	61.4	11.8	11.3	11.8
18:18:39	47.5	46.6	49.8	60	58.3	62.8	12.5	11.7	13
18:19:39	53.5	46.4	63.8	69.2	59.1	81.5	15.7	12.7	17.7
18:20:39	48	46.4	54	61.1	58.6	67.5	13.1	12.2	13.5
18:21:39	55.1	46.8	61.2	71.8	59.4	83.6	16.7	12.6	22.4
18:22:39	54.7	46	65	72.4	57.9	84.3	17.7	11.9	19.3
18:23:39	51.6	45.9	58.6	65.3	57.8	79.3	13.7	11.9	20.7
18:24:39	46.7	45.8	51.6	58.9	57.5	62.3	12.2	11.7	10.7
18:25:39	48.4	45.3	56.3	59.3	57.9	62.7	10.9	12.6	6.4
18:26:39	46.3	45	49.6	58.4	57	59.9	12.1	12	10.3
18:27:39	46.4	45.1	50.1	59.1	57.2	61.4	12.7	12.1	11.3
18:28:39	46.3	44.7	48.9	59.6	57.4	63.6	13.3	12.7	14.7
18:29:39	48	43.7	58.6	58.6	56.5	63.5	10.6	12.8	4.9
Overall	50.8	43.7	65	65.6	56.5	84.3	14.8	12.8	19.3

Fonte: Elaboração própria através dos dados obtidos no *Software dBTrait*.

3.10.7 Breve análise da diferença entre os valores de $L_{eq} dB(C)-dB(A)$

Neste método verificou-se que a diferença entre $dB(C)-dB(A)$ foi aproximadamente igual a 15 dB na segunda medição do ponto 6. Para a maior parte dos pontos, a diferença $dB(C)-dB(A) \geq 15dB$ foi ultrapassada nos indicadores L_{min} e L_{max} , não sendo, contudo, relevante na utilização deste método.

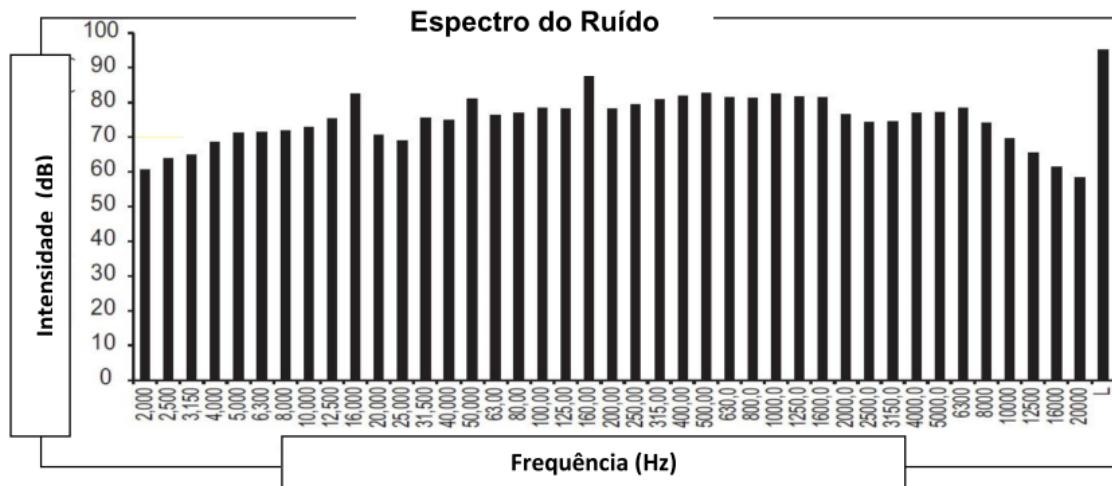
Verificou-se ainda que a diferença $dB(C)-dB(A)$ foi de 14,8 dB para a segunda medição do ponto 6, ponto que apresenta a menor média da diferença de ultrapassagem da curva de critério DEFRA. A justificação pode residir no facto deste método se apresentar inadequado para tratar níveis baixos de $dB(A)$, uma vez que as baixas frequências contêm uma parte que pode ser inaudível (os infrassons), o que diminui o incómodo causado (Downey e Parnell, 2017; Kjellberg et al., 1997).

Relativamente aos restantes pontos, este método apresenta-se, também, inadequado. Com efeito, os resultados obtidos tanto com o critério DEFRA como com o método de avaliação das características tonais permitiram refutar o analisado nesta secção com a utilização da diferença entre os níveis sonoros equivalentes com a ponderação C e com a ponderação A.

3.11 Comparação dos resultados obtidos com estudo de referência

Para efeitos de comparação do conteúdo espectral dos resultados das medições nos seis pontos com outros estudos similares, optou-se por recorrer ao trabalho publicado por Cavacas (2014). Neste estudo, a autora avaliou o impacto do RBF produzido por uma indústria têxtil na saúde. Para o efeito, o ruído foi reproduzido em laboratório e o seu impacto foi testado em laboratório em animais (Figura 80). O estudo demonstrou que a exposição ao ruído provoca efeitos ao nível da deterioração dentária dos animais expostos.

Figura 80 - Espectro de distribuição das frequências e intensidades do ruído ocupacional gravadas numa fábrica têxtil do norte de Portugal e reproduzidas no ambiente ao qual foram expostos os animais



Fonte: Cavacas (2014).

Na comparação limitou-se a análise aos pontos em que a fonte de ruído foi uma indústria têxtil, tal como foi feito por Cavacas (2014). No sentido de perceber o comportamento do RBF, para estes pontos, a comparação foi feita exclusivamente ao nível do desenvolvimento da curva definida pelos espectros sonoros, isto é, apenas relativa à variação da curva com as bandas de frequência, ignorando os valores dos níveis sonoros. Assim, essas comparações foram realizadas tendo em conta as medições dos pontos 3, 4, 5 e 6. À exceção do ponto 3, as fontes sonoras foram indústrias têxteis. No caso do ponto 3, a fonte foi uma indústria de calçado que, no entanto, apresenta no interior equipamentos de confeção semelhantes aos de uma indústria têxtil.

Com esta análise pretende-se ainda avaliar o comportamento do RBF, ou seja, como varia do interior para o exterior de uma fábrica. Tal como diversos autores explicam (Alves, Silva e Remoaldo, 2015; Berglund et al., 1996; Broner, 1978; Carreira, 2016; Leventhall, 2003), o comportamento do ruído relaciona-se com a forma como varia do interior para o exterior, já que que o RBF apresenta características que permitem o atravessamento de paredes e de outros obstáculos.

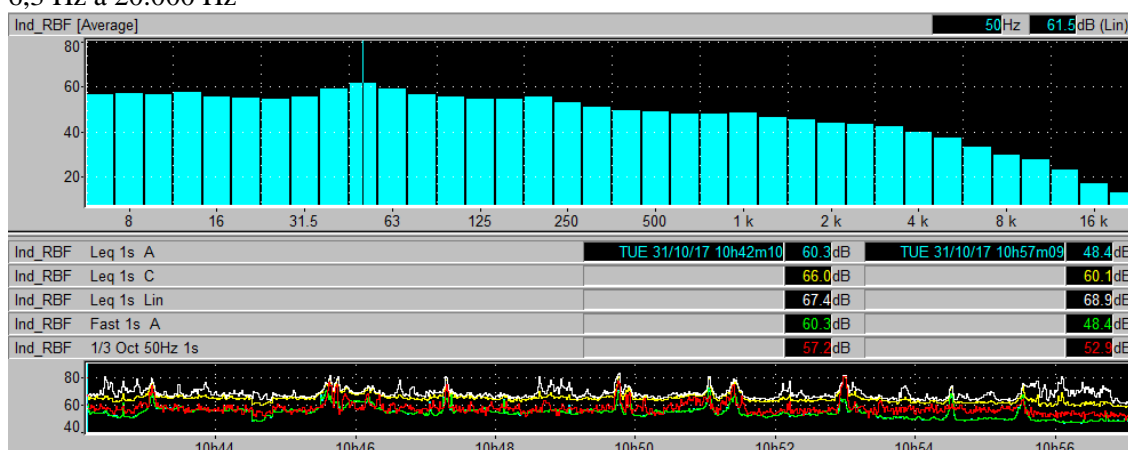
A curva do espectro sonoro gravado no estudo realizado por Cavacas (2014) apresenta-se crescente nas banda de frequências de 6,3 Hz até 16 Hz, decrescendo ligeiramente nas bandas adjacentes e voltando a subir de forma mais ou menos crescente até aos 160 Hz (podendo apresentar características tonais nesta banda de frequências). No intervalo de frequências compreendido entre os 200 Hz e os 500 Hz a tendência continua a subir, descendo de forma pouco acentuada até à banda de frequências de 3150 Hz. A partir desta

banda de frequências os níveis sonoros voltam a subir ligeiramente, apresentando-se novamente decrescente no intervalo de frequências compreendido entre 6300 Hz até 20.000 Hz (Figura 80).

3.11.1 Ponto 3

Relativamente à primeira curva de medição no Ponto 3, esta apresenta o seu maior desenvolvimento entre as bandas de frequência de 6,3 Hz até 50 Hz, desde dessa faixa até 1000 Hz apresenta uma descida mais ou menos constante, notando-se alguns altos e baixos pouco significativos. A partir da banda de 1000 Hz até 20.000 Hz, apresenta uma descida muito acentuada (Figura 81).

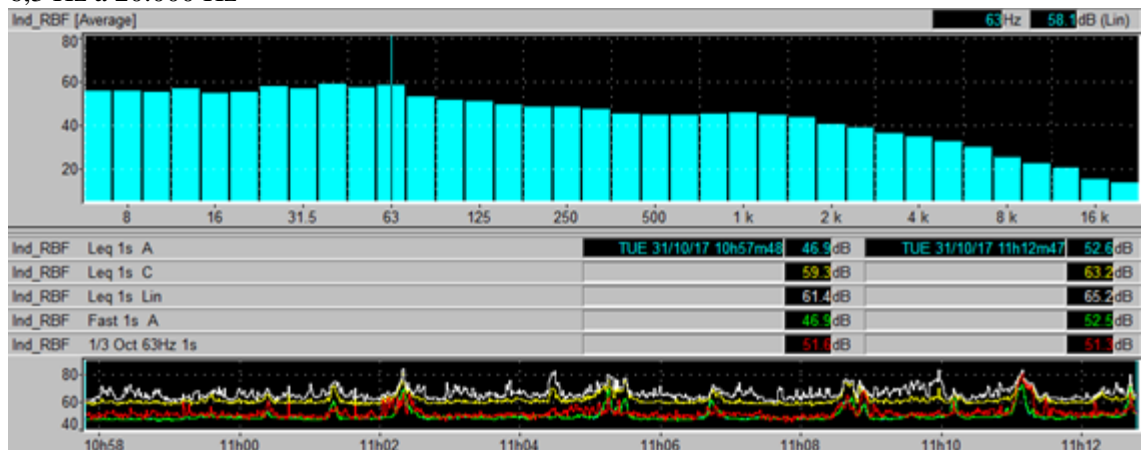
Figura 81 - Espectro sonoro da primeira medição do Ponto 3: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz



Fonte: Fonte: *Software dBTrait* com base nas medições realizadas pela autora.

A segunda curva de medição apresenta o seu maior desenvolvimento entre as bandas de frequência de 6,3 Hz até 63 Hz, desde dessa faixa até 1000 Hz apresenta uma descida mais ou menos constante, notando-se alguns altos e baixos pouco significativos. A partir da banda de 1000 Hz até 20.000 Hz, apresenta uma descida muito acentuada (Figura 82).

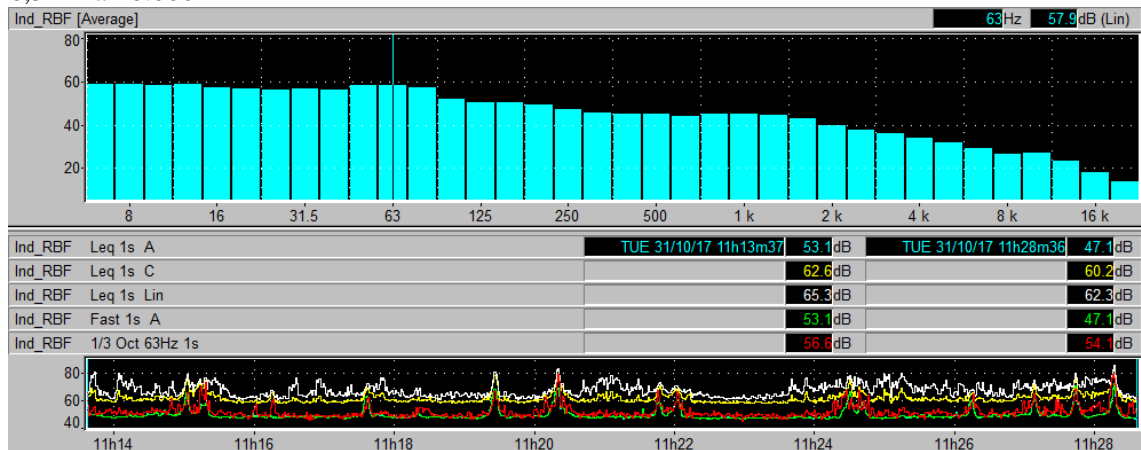
Figura 82 - Espectro sonoro da segunda medição do Ponto 3: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz



Fonte: *Software dBTrait* com base nas medições realizadas pela autora.

A terceira curva de medição apresenta o seu maior desenvolvimento entre as bandas de frequência de 6,3 Hz até 80 Hz, desde dessa faixa até 1600 Hz apresenta uma descida mais ou menos constante, notando-se alguns altos e baixos pouco significativos. A partir da banda de 1600 Hz até 20.000 Hz, apresenta uma descida muito acentuada (Figura 83).

Figura 83 - Espectro sonoro da terceira medição do Ponto 3: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz



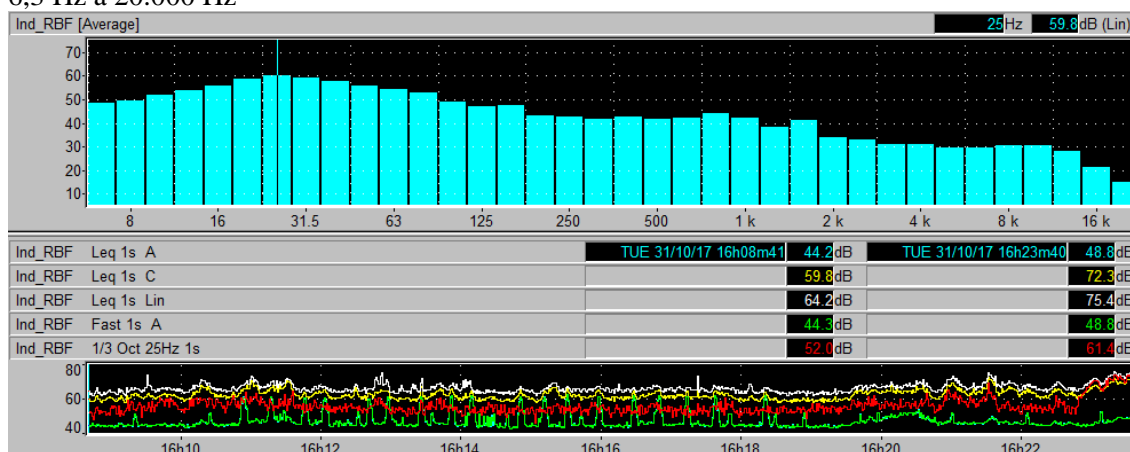
Fonte: *Software dBTrait* com base nas medições realizadas pela autora.

3.11.2 Ponto 4

Relativamente à primeira curva de medição no Ponto 4, esta apresenta o seu maior desenvolvimento entre as bandas de frequência de 6,3 Hz até 25 Hz, desde dessa faixa até 315 Hz apresenta uma descida considerável, voltando a subir de forma pouco significativa até à banda de 800 Hz. Desta faixa de frequências até 20.000 Hz, apresenta novamente uma descida significativa mais ou menos constante, notando-se alguns altos e baixos pouco relevantes (Figura 84).

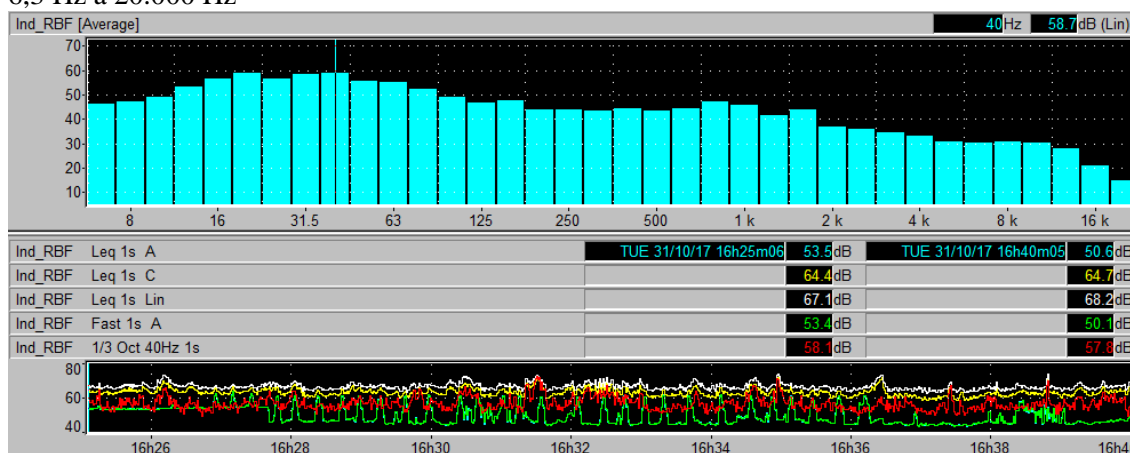
A análise da segunda curva de medição apresenta-se semelhante à anterior como se pode ver na Figura 85.

Figura 84 - Espectro sonoro da primeira medição do Ponto 4: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz



Fonte: Software dBTrait com base nas medições realizadas pela autora.

Figura 85 - Espectro sonoro da segunda medição do Ponto 4: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz

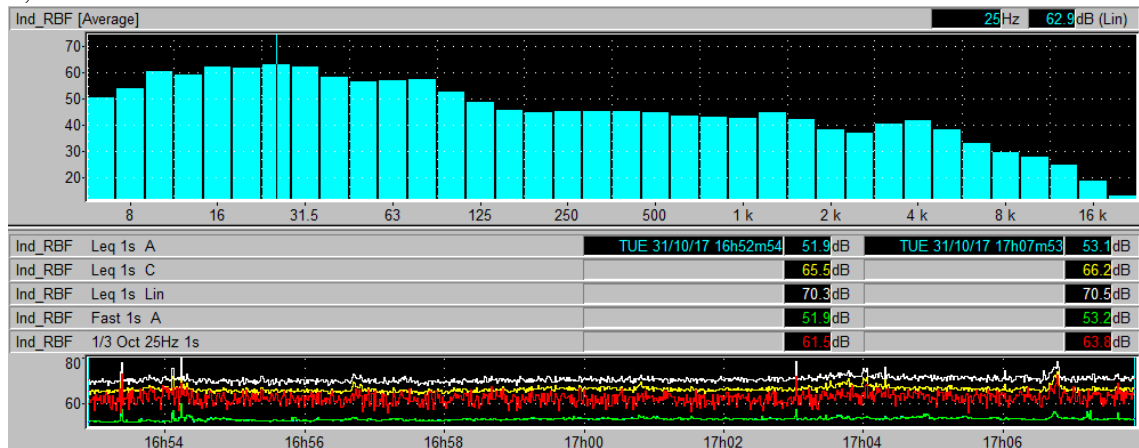


Fonte: Software dBTrait com base nas medições realizadas pela autora.

3.11.3 Ponto 5

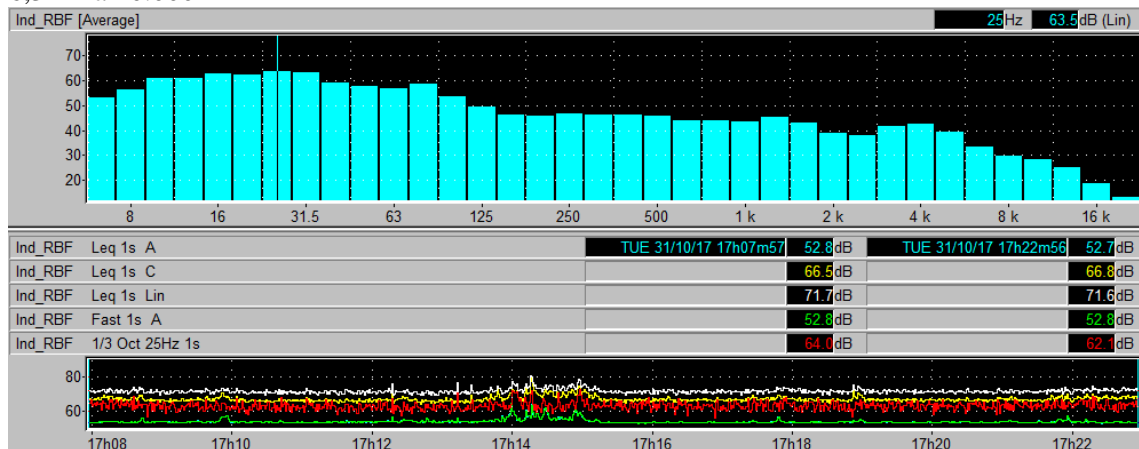
Relativamente aos espectros sonoros obtidos nas duas medições do Ponto 5, as curvas apresentam um crescimento até às bandas de frequência de 25 Hz e, a partir desta banda de frequência, as curvas apresentam-se decrescentes até à faixa de frequência de 160 Hz. A partir daí voltam a subir de forma pouco acentuada até a faixa de 500 Hz e depois decrescem com alguns altos e baixos pouco significativos, nos intervalos de frequência de [630 a 2000] Hz (Figuras 86 e 87).

Figura 86 - Espectro sonoro da primeira medição do PONTO 5: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz



Fonte: Software dBTrait com base nas medições realizadas pela autora.

Figura 87 - Espectro sonoro da segunda medição do PONTO 5: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz

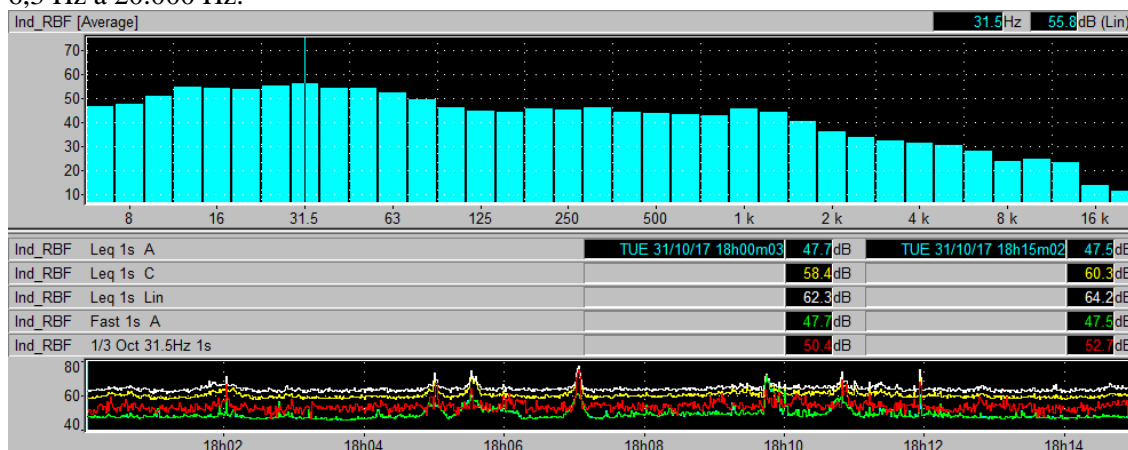


Fonte: Software dBTrait com base nas medições realizadas pela autora.

3.11.4 Ponto 6

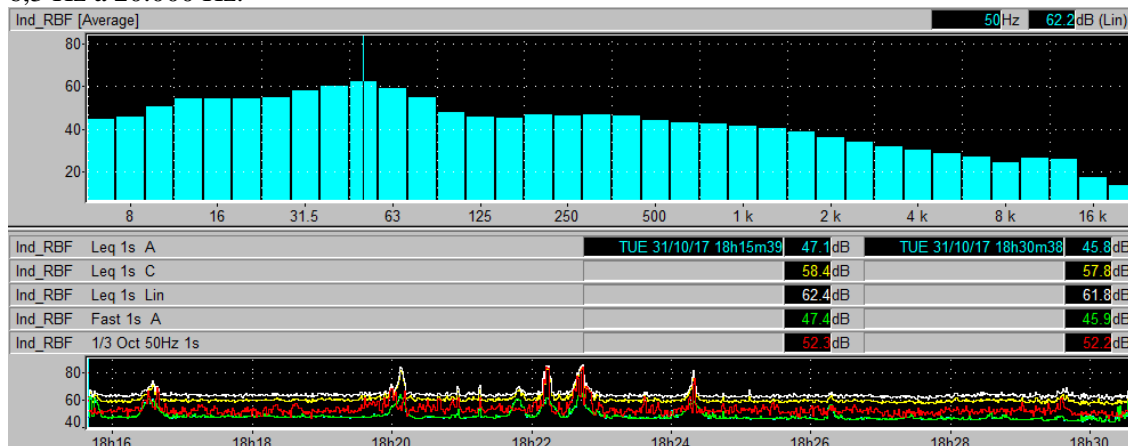
As curvas definidas pelos níveis sonoros obtidos nas duas medições do Ponto 6, apresentam uma evolução crescente até às bandas de frequência de 12,5 Hz e de 50 Hz, respetivamente para a primeira e segunda medição. A partir destas bandas de frequência, as curvas apresentam-se decrescentes até à faixa de frequência de 20.000 Hz, com alguns altos e baixos pouco significativos. Regista-se um ligeiro aumento a partir da faixa de 2000 Hz até os 4000 Hz, apresentando-se ambas as curvas decrescentes desde esta última banda até 20.000 Hz (Figuras 88 e 89).

Figura 88 - Espectro sonoro da primeira medição do Ponto 6: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz.



Fonte: Software dBTrait com base nas medições realizadas pela autora.

Figura 89 - Espectro sonoro da segunda medição do PONTO 6: distribuição dos níveis médios Leq(dB) em relação ao intervalo de frequências compreendido entre as bandas de frequência de 6,3 Hz a 20.000 Hz.



Fonte: Software dBTrait com base nas medições realizadas pela autora.

3.11.5 Breve análise da comparação dos resultados obtidos com o estudo de referência

Esta análise relativa à comparação dos resultados obtidos com o estudo realizado por Cavacas (2014) baseou-se somente na forma do espectro sonoro e não relativamente aos níveis sonoros pelo facto de não haver informação condicionante, para que tal fosse possível, no referido estudo, como a distância do recetor à fonte sonora.

Para os pontos analisados nesta secção, a curva definida pelo espectro de frequências do estudo de Cavacas (2014) apresenta um desenvolvimento alargado no espectro de frequências total, ou seja, tanto nas baixas frequências, como nas médias e altas frequências, se verifica uma curva com um desenvolvimento acentuado, contendo alguns altos e baixos, pouco significativos.

Os resultados dos pontos de medição apresentam curvas mais acentuadas nas bandas de baixa frequência e uma descida consideravelmente acentuada nas médias e altas frequências, ao contrário do observado no espectro reproduzido em laboratório referente ao estudo de Cavacas (2014), onde, como foi dito, se observa uma curva com poucos desníveis, tanto nas baixas frequências como nas médias e altas frequências.

Estas observações podem ser justificadas através da baixa atenuação do RBF perante obstáculos (Alves, Silva e Remoaldo, 2015; Berglund et al., 1996; Broner, 1978; Carreira, 2016; Leventhall, 2003), já que o estudo de Cavacas (2014) foi gravado no âmbito de ruído ocupacional numa indústria têxtil e os resultados obtidos nos pontos 3, 4, 5 e 6 foram captados no espaço exterior, tratando-se de ruído ambiental, o que comprova o facto de o RBF conseguir atravessar as paredes dos pavilhões industriais.

3.12 Dados obtidos na abordagem subjetiva: inquérito à população residente

3.12.1 Ponto 1

O inquirido neste ponto foi um homem, empregado, casado, a viver num agregado familiar de 6 pessoas.

O inquirido chegou a viver noutra local, mas mudou-se para a residência atual pelo facto de ter construído esta casa que apresenta melhores condições de habitação para o próprio e para a sua família. Vive nesta casa há 16 anos. Afirma que o ruído proveniente da fábrica em frente à sua casa (*EMEC*) é uma perturbação constante, tendo já feito queixa na CMG, a alertar para o ruído incomodativo e constante emitido pela fábrica em questão. Diz apresentar sintomas de *stress* e cansaço devido ao ruído, e que uma das filhas apresentava constantemente sintomas de falta de atenção, irritabilidade, cansaço e *stress*, tendo sido obrigado a colocar vidros duplos com o intuito de reduzir ao máximo o ruído no interior da sua residência. “Por vezes a minha filha sentia-se mesmo mal ao ponto de não conseguir estar no quarto”. O inquirido referiu que o verão correspondia à pior estação, pois, antes de colocar ar condicionado, era um “tormento” por obriga-lo a abrir as janelas o que fazia aumentar os níveis de ruído no interior da residência. Nessas alturas, tinha mais dificuldades em adormecer e ter um sono constante era um “desafio enorme”, chegando a ter insónias.

3.12.2 Ponto 2

Não tendo sido possível comunicar com os residentes da habitação localizada no Ponto 2, optou-se por inquirir o vizinho (residência vizinha ao Ponto 3).

O inquirido no Ponto 2 foi uma mulher, empregada, casada, a viver num agregado familiar de 4 pessoas.

A inquirida chegou a viver noutra local, mas mudou-se para a residência atual pelo “terreno ser melhor”. Vive nesta casa há 30 anos. Afirma que o ruído proveniente das fábricas já foi mais perturbante e que nessa altura sentia *stress* e irritabilidade, o que se

pode dever a uma possível alteração das mesmas tanto ao nível das condições de isolamento como da própria gerência o que devido à falta de dados não é possível concluir, estando já “habituada àquele ruído”. Diz, neste momento, não apresentar sintomas causados pela exposição ao ruído, e que os familiares já se sentiram mais incomodados do que o verificado na atualidade. A inquirida referiu ainda que só sente o ruído no exterior da habitação, não apresentando dificuldades em adormecer. Relativamente a doenças, diz não apresentar doenças ao nível metabólico e não saber se apresenta doenças cardiovasculares.

3.12.3 Ponto 3

O inquirido que habita em frente a este ponto de avaliação foi um homem, empregado e casado. Vivem neste agregado familiar 3 pessoas.

O inquirido referiu que viveu noutra local, tendo-se mudado para a residência atual devido, principalmente, às melhores oportunidades de emprego. Está nesta habitação há 6 anos. Diz não se sentir afetado pelo ruído quer de dia quer de noite, pois no período diurno não se encontra na habitação e no período noturno a grande parte das fábricas perto da sua residência não se encontram a funcionar. Além disso, afirma ter instalado vidros duplos, para minimizar o impacto do ruído gerado na envolvente. Para além disso, mencionou não apresentar doenças cardiovasculares, tais como hipertensão, nem outros sintomas causados pelo ruído tais como *stress*, insónias, irritabilidade.

3.12.4 Ponto 4

O inquirido neste ponto foi um homem, empregado, casado, a viver num agregado familiar de 3 pessoas.

O inquirido chegou a viver noutra local, mas mudou-se para a residência atual pelo facto de ter constituído família (recentemente casado). Vive nesta casa há 4 anos. Diz não se sentir afetado pelo ruído durante dia, pois corresponde ao seu período laboral. À noite as fábricas em frente à sua residência já se encontram fechadas e o único ruído da ventilação de uma das fábricas só é sentido no exterior da habitação, não sendo incomodativo. Durante a noite o inquirido não tem qualquer problema em adormecer, nem se sente

perturbado pelo ruído, mesmo não tendo vidros duplos em nenhum compartimento da habitação. Afirma não apresentar doenças cardiovasculares, nem a nível metabólico, nem outros sintomas causados pelo ruído tais como *stress*, insónias ou irritabilidade, cansaço, acrescentando para finalizar: “diariamente, não me sinto incomodado pelo ruído destas fábricas”.

3.12.5 Ponto 5

O inquirido que habita em frente ao Ponto 5 foi um homem, empregado e casado. Vivem, atualmente, neste agregado familiar 3 pessoas (o filho mais velho já não habita no local). O inquirido referiu que viveu noutra local acabando por referir “desde que me lembro vivo aqui”. Diz sentir-se afetado pelo ruído ao final do dia e à noite, períodos em que está em casa, devido ao “barulho constante” gerado pelos ventiladores, localizados em frente à habitação. Além disso, afirma que por se tratar de uma habitação com poucas dimensões sente o ruído nos compartimentos que se encontram à frente da fábrica e que os vidros duplos ajudam a minimizar a propagação do ruído gerado para o interior, mas não impedem o que se torna incomodativo “ao fim de algum tempo”. Nesse período de exposição menciona sentir sintomas como *stress*, falta de concentração, irritabilidade e cansaço, no caso de ter tido um dia também cansativo. Relativamente a doenças, diz não apresentar doenças cardiovasculares, nem metabólicas.

3.12.6 Ponto 6

Neste ponto foram inquiridas duas pessoas, no decorrer das medições sonoras, uma cuja habitação se encontrava na localização escolhida para a colocação do sonómetro e, outra, na habitação imediatamente ao lado.

Um dos inquiridos, foi um homem (acompanhado pela filha), empregado, casado, a viver num agregado familiar de 4 pessoas.

O inquirido chegou a viver noutra local tendo-se mudado para a residência atual pela dimensão que apresentava e o seu baixo valor na altura. Vive nesta casa há 20 anos. Afirma que o ruído proveniente da fábrica e dos silos é muito perturbante, tanto no horário de funcionamento como quando se apresenta fechada, facto que constata na hora de

almoço, sendo que o faz diariamente em casa, como quando chega do seu dia de trabalho. Diz sentir-se diariamente perturbado, em especial durante a hora de almoço, período em que vai a casa, sentindo cansaço, irritabilidade, *stress* e, por vezes, falta de apetite. A filha, interveio nesta fase do inquérito acrescentando que para além de *stress*, sente falta de concentração no caso de ter que trabalhar, ao fim do dia, tanto no seu quarto como na sala. Durante a noite, o inquirido menciona ser necessário manter as janelas fechadas para que possa descansar com qualidade e afirma não apresentar doenças cardiovasculares, nem metabólicas.

O outro inquirido, foi uma mulher, desempregada, casada, a viver num agregado familiar de 3 pessoas.

A inquirida chegou a viver noutra local, num apartamento, mas mudou-se para a residência atual pelo espaço exterior que apresenta, podendo usufruir da sua horta já que o terreno é grande o suficiente. Vive nesta casa há 17 anos. Afirma que o ruído proveniente da fábrica e da central é constantemente perturbante, pedindo mesmo que as medições fossem feitas e caso se verificasse que os níveis de exposição ultrapassassem os admissíveis, a voltasse a contactar. Afirma sentir-se diariamente perturbada, tanto no período diurno como no noturno, mas com maior ênfase no durante o dia. Diz apresentar sintomas como cansaço, falta de concentração, *stress* e, mesmo, má disposição e não ter conhecimento de doenças cardiovasculares, contudo, apresenta problemas de tiroide (doença metabólica) de origem genética. A inquirida referiu ainda que durante a noite só sente o ruído no exterior da habitação, ou caso necessite de abrir a janela (o que não acontece por ter ar condicionado), não apresentando dificuldades em adormecer, mas durante o dia tem dificuldades em estar na cozinha e na sala (compartimentos juntos segundo a inquirida).

3.12.7 Breve análise da abordagem subjetiva: inquéritos

Os moradores inquiridos, referentes aos Pontos 1, 5 e 6, sentem-se incomodados no seu dia-a-dia, pelo ruído proveniente das indústrias na sua envolvente (Tabela 44).

O Ponto 1 revela-se de facto incomodativo para os residentes que habitam atrás da fábrica cujo ruído se mantém à noite devido aos sistemas de ventilação/extração. A característica tonal do Ponto 1 e o facto do seu ruído ser também gerado pelo sistema de ventilação, faz com que seja potenciado o incómodo por ele sentido, como mencionado por Leventhall

(2003:38) “a exposição de ruído de ventilação com e sem componentes tonais indicou maior fadiga na presença de características tonais”. Assim, os resultados objetivos vão ao encontro ao que o dono da moradia afirmou, quando diz estar exposto a “um ruído incomodativo e constante”, características típicas do RBF, e por sentir, ele e a sua família, sintomas como *stress*, cansaço, falta de concentração, má disposição (por parte da filha), irritabilidade e insónias no verão. Fruto do seu descontentamento, o morador apresentou uma queixa na CMG.

O inquirido do Ponto 5 sente-se diariamente exposto ao ruído, principalmente ao fim do dia e à noite, período em que está em casa e a fábrica se encontra encerrada, apresenta sintomas causados pela exposição ao RBF, como *stress*, falta de concentração e irritabilidade, onde a proximidade da fonte e a presença de ventiladores junto à habitação podem justificar esta análise.

O Ponto 6 foi confirmado como incomodativo nos períodos diurno e noturno, pela análise subjetiva das duas pessoas inquiridas, o que pode ser justificado pela existência da central elétrica, do outro lado da rua das habitações, bem como, a existência de silos, que emitem ruído após o horário de funcionamento da fábrica. Um dos inquiridos sente cansaço, *stress*, irritabilidade e falta de apetite e, o outro apresenta sintomas como cansaço, falta de concentração, *stress* e má disposição.

Desta forma conclui-se que todos os recetores sensíveis, à exceção do morador junto ao qual se realizou a medição dos Ponto 2, 3 e 4, se sentem incomodados com o ruído (Tabela 44).

A inquirida do Ponto 2 diz já se ter sentido incomodada com o ruído, das indústrias no passado, atualmente diz ter-se adaptado ao mesmo, o que pode ser justificado pela grande distância à fonte sonora visto que o questionário se fez numa habitação vizinha.

Os recetores sensíveis questionados, no Ponto 3 e 4, também não se sentem expostos, nem incomodados pelo ruído, o que pode ser justificado, no caso do Ponto 4, pela parte da fábrica pelo facto de a habitação se encontrar a uma altitude superior às fábricas traseiras. No caso do Ponto 3, o facto do inquirido não se sentir incomodado pelo ruído, pode ser justificado pela parte da fábrica de frente para a habitação não apresentar sistemas de ventilação e, mesmo, pela grande distância à fonte sonora que este ponto apresenta quando comprado com os restantes. Apesar de se verificar nestes dois pontos o funcionamento destes equipamentos de ventilação, depois do período laboral da fábrica.

Tabela 44 – Síntese dos resultados obtidos nos inquéritos à população residente em cada ponto de medição

Pontos de Medição	Recetor Sensível incomodado pela fonte industrial?	Em que alturas se sente mais incomodado?	Sintomas apresentados pela exposição ao RBF	Doenças apresentadas pelos recetores
1	Sim	Constantemente, com maior ênfase no verão	Inquirido: <i>stress</i> e cansaço e insónia; Familiares: falta de atenção, irritabilidade, cansaço e <i>stress</i> e má disposição	-
2	Não	Sentiu no passado, estando já a inquirida habituada ao ruído	Sentiu no passado, <i>stress</i> e irritabilidade. Atualmente, não.	-
3	Não	Nunca	-	-
4	Não	Nunca	-	-
5	Sim	Final do dia e à noite, fora do horário de funcionamento da fábrica	<i>Stress</i> , falta de concentração, irritabilidade	-
6	Sim	Período diurno e noturno (com e sem horário laboral da fábrica)	Cansaço, irritabilidade, <i>stress</i> e falta de apetite	-
	Sim		Cansaço, falta de concentração, <i>stress</i> e má disposição	Tiroide (doença metabólica)

Fonte: Elaboração própria com base nos resultados dos inquéritos.

Capítulo IV - Síntese dos Resultados: Avaliação da incomodidade do ruído

Partindo das conclusões mencionadas nas várias secções do capítulo anterior, referente a cada um dos métodos expostos, neste capítulo será feita uma síntese dessas mesmas conclusões permitindo perceber de forma geral os resultados obtidos nos métodos utilizados nas duas abordagens em estudo: objetiva e subjetiva.

4. Abordagens utilizadas na avaliação da incomodidade do RBF

4.1 Abordagem Objetiva

Após a realização da primeira etapa prática, ou seja, depois de efetuadas as medições de ruído *in situ*, conforme o que foi referido nos procedimentos e em cada um dos seis locais previamente apresentados, procedeu-se à sua comparação com diferentes métodos de análise de incomodidade de RBF.

De acordo com os resultados expostos verifica-se que, para todos os pontos de medição, os níveis sonoros medidos excedem os valores de referência da curva critério da metodologia de *Salford* (DEFRA) especialmente, nas bandas de frequência de 31,5 Hz a 160 Hz, ou seja, de muito baixas frequências (Tabela 45).

Assim, tendo em conta as indicações da metodologia DEFRA (2005; 2011), as fontes de ruído provenientes das indústrias, em todos os pontos de medição, podem causar incomodidade aos recetores sensíveis que estão expostos a esse ruído.

Pela avaliação da flutuabilidade, de acordo com as orientações do DEFRA, os níveis sonoros medidos nestas bandas de frequência são considerados audíveis para a maior parte dos recetores sensíveis que estão expostos a eles. Apenas a primeira medição do ponto 5 não apresenta características de flutuabilidade nas bandas de frequência de 80 Hz e 100 Hz, ou seja, nestas bandas de frequência apresenta-se não incomodativo (sendo um som contínuo).

Tabela 45 – Resultados obtidos nas ultrapassagens das curvas de cada ponto relativamente à curva critério DEFRA e a caracterização dos pontos de medição.

Ponto	Localização	Nº de medição	Bandas excedidas (Hz)	Fonte sonora (tipo de indústria)	Características do pavilhão industrial	Autores
1	AAE S. João de Ponte	1ª	40 -160	Transformação de vidro (EMEC)	Sistema ventilação e exaustão	Berglund et al. (1996); Broner (1978); Leventhall (2003)
		2ª	40 -160			
2	AAE S. João de Ponte	1ª	31.5 -160	Fabrico de equipamentos de refrigeração comercial (Jordão Cooling Systems)	Sistemas de ventilação, existência de um silo	Berglund et al. (1996); Broner (1978); Leventhall (2003); Alves-Pereira e Branco (2007)
		2ª	40 -160			
3	AAE S. João de Ponte	1ª	40 -160	Fabrico de calçado (Calco) e fabrico de tetos, perfis e isolamentos (Iretalgarne)	Máquinas de processamento de calçado no interior da fábrica semelhantes às de uma indústria têxtil	-
		2ª	31.5 -160			
		3ª	31.5 -160			
4	AAE de Pevidém	1ª	31.5 -160	Têxteis Lar (Xarmistar e Colchas S. Martinho)	Sistema ventilação	Alves-Pereira, Melo, Motylewski, Kotlicka e Branco, 2003; Cardoso, Oliveira, Silva, Águas e Pereira, 2006; Cavacas, 2014
		2ª	31.5 -160			
5	AAE de Pevidém	1ª	31.5 -160	Têxtil (Lameirinho)	Sistemas de ventilação, equipamento de confeção de têxteis no interior	Alves-Pereira, Melo, Motylewski, Kotlicka e Branco, 2003; Cardoso, Oliveira, Silva, Águas e Pereira, 2006; Cavacas, 2015
		2ª	31.5 -160			
6	AAE de Pevidém	1ª	40 -160	Têxtil (Lameirinho)	Silos, central elétrica, equipamento de confeção de têxteis no interior	Alves-Pereira, Melo, Motylewski, Kotlicka e Branco, 2003; Cardoso, Oliveira, Silva, Águas e Pereira, 2006; Cavacas, 2016
		2ª	31.5 -160			

Fonte: Elaboração própria com base nas medições realizadas.

Através dos resultados obtidos nos seis locais de medição verifica-se que todas as indústrias estudadas produzem ruído com maior conteúdo de baixa frequência. O espectro sonoro de todos os pontos de medição apresenta curvas mais acentuadas até aos 160 Hz, decrescendo até às médias e altas frequências (intervalo compreendido entre 500 Hz e 20.000 Hz).

A ultrapassagem de todos os pontos de medição em bandas de frequência muito baixas pode ser justificada pela proximidade à fonte sonora (indústrias), pelas características da envolvente nestes locais (passagem de veículos, postes de alta tensão), pela presença no exterior dos pavilhões industriais de sistemas de ventilação, exaustão ou silos, ou pela sua proximidade a centrais elétricas e, ainda, pelo tipo de maquinaria presente no interior dessas indústrias. Os pontos 1, 2, 4, 5 e 6 localizam-se muito próximo das fontes de ruído industriais, os quais têm no exterior das instalações sistemas de ventilação/ extração, e/ou silos, e/ou uma central elétrica na vizinhança (Tabela 36). Estes equipamentos, tal como esperado, contribuem fortemente para a produção de RBF, conforme mencionado nos estudos de Berglund et al. (1996), de Broner (1978), de Leventhall (2003) e de Alves-Pereira e Branco (2007).

De acordo com os estudos em meio ocupacional realizados nomeadamente por Alves-Pereira et al. (2003); Cardoso et al. (2006) e Cavacas (2016), os equipamentos das indústrias têxteis constituem uma fonte de RBF para os trabalhadores que a ele estão

expostos. Por isso, no interior das empresas, os níveis sonoros são elevados tanto para as baixas como para as altas frequências. Por outro lado, era espectável que dentro desses locais, o espectro sonoro fosse mais constante e apesar dos altos níveis de baixa frequência, a curva se apresentasse ligeiramente mais (ou igualmente) acentuada nas médias e altas frequências, como nos estudos atrás referidos. Assim, partindo deste princípio esperar-se-ia que no exterior das indústrias têxteis, essa curva fosse superior nas frequências mais baixas e inferior nas mais altas. Esta previsão deve-se ao facto de as baixas frequências ultrapassarem facilmente os obstáculos, devido aos elevados comprimentos de onda que atingem tal como referido por Broner (1978), Berglund et al. (1996), Leventhall (2003), Alves et al. (2015) e Carreira (2016). Nesta investigação concluiu-se que as curvas definidas pelos níveis sonoros equivalentes nos pontos 3, 4, 5 e 6 e, mesmo nos restantes, apresentam uma maior acentuação nas baixas frequências, diminuindo a partir da banda referente a 160 Hz até às altas frequências. Estes encontram-se afetados pelo ruído proveniente de indústrias têxteis (ou similares como no caso no ponto 3), podendo este facto, pelos motivos anteriormente referidos, ter contribuído para a ultrapassagem da curva critério dos níveis sonoros equivalentes L_{eq} (dB).

As duas medições dos pontos 1 e 2 e a primeira medição do ponto 3 registaram a maior diferença de ultrapassagem em relação à curva de referência, o que pode ser justificado pelas características da envolvente destes locais. Nestes pontos, na sua proximidade, encontravam-se postes de alta tensão, que como referido na revisão bibliográfica (Alves, et al., 2016; Alves, Silva, e Remoaldo, 2015), podem contribuir para a emissão de RBF. Outro motivo prende-se com a passagem de veículos, que em mais ou menos quantidade, se verificou em todos os pontos, principalmente, a passagem de veículos pesados, como mencionado por Hassan (2009) e Leventhall (2003), Hassan (2009) e Carreira (2016). Para além disso, o ponto 1 apresenta-se com componentes tonais na banda de frequência de 63 Hz. Tal facto torna-o ainda mais incomodativo devido à sua tonalidade. Este ponto apresentou caracter tonal apenas quando a medição se efetuou sem filtro. No que diz respeito à avaliação das características tonais, os restantes pontos não apresentaram tonalidade.

Verificou-se para todos os pontos que a ponderação A não considera grande parte dos níveis sonoros nas baixas frequências, em especial, as bandas de frequências abaixo de 160 Hz (intervalo estudado). Daqui deduz-se que, nas medições de ruído com maior energia de baixa frequência, a consideração deste filtro para além de subestimar o RBF, não demonstra as possíveis características tonais que o ruído poderia ter se fosse medido

sem filtro de ponderação, tal como os autores mencionam nos seus estudos (Alves et al., 2016; Alves Pereira e Castelo Branco, 2007; Berglund et al., 1996; Broner, 1978; Carreira, 2016; Landström et al. 1995; e Leventhall, 2003, 2014).

Por fim, verificou-se relativamente ao método da diferença $dB(C)-dB(A)$ dos valores L_{eq} , para a duração total de 15 minutos, que nenhum ponto atingiu o limite para o qual se começa a sentir incómodo, ou seja, um valor igual ou superior a 15 $dB(A)$. Só o ponto 6 apresentou um valor muito próximo do estabelecido no método com uma diferença de 14,8 dB. Uma possível justificação, tal como mencionado na revisão da literatura, reside no facto deste método ser inadequado. Como Kjellberg et al. (1997) concluem no seu estudo, as correlações entre a diferença $dB(C)-dB(A)$ e o incómodo sentido apresentam um valor limitado.

4.2 Abordagem Subjetiva

Tendo em conta a subjetividade existente na avaliação da incomodidade, optou-se por sustentar os resultados observados com base nas medições realizadas nos seis pontos. Não sendo este o principal objetivo da dissertação, considerou-se uma amostra pequena, referente apenas às habitações onde foi colocado o sonómetro, para cada ponto de medição.

Como se conclui pela análise dos resultados dos inquiridos, os recetores sensíveis referentes às habitações localizadas nos Pontos 1, 5 e 6, são as que se sentem incomodados no seu dia-a-dia, pelo ruído proveniente das indústrias na sua envolvente.

O Ponto 1, como foi já mencionado na abordagem objetiva, caracteriza-se por ser um local afetado pelo RBF, pelos seguintes motivos: os valores dos níveis sonoros apresentam-se acima dos aceitáveis pelo método DEFRA (2005, 2011); esses níveis são audíveis nas bandas de frequências que ultrapassam os desse método, devido às características de flutuabilidade; e, para além disso, apresenta características tonais que torna este ponto ainda mais perturbante. Tal facto é também confirmado pelo inquirido desta habitação não só pelos sintomas que apresenta, em conjunto com um dos familiares, como também pela queixa que apresentou na CMG.

O Ponto 2 apresenta, através da análise da abordagem objetiva, valores de níveis sonoros acima dos aceitáveis pelo método DEFRA (2005, 2011), níveis esses audíveis nas bandas

de frequências que ultrapassam os desse método, devido às características de fluabilidade e sem verificação de características tonais. De acordo com a inquirida, o facto de no seu local de residência já ter sentido um ruído mais intenso, levou à sua adaptação relativamente ao ruído ao qual está exposta na atualidade, visto que apesar de estar presente não é sentido com a mesma intensidade. Apesar, de não ser significativo, não invalida a sua presença conforme o analisado anteriormente. Facto que pode ser justificado pelo facto de o recetor sensível não habitar na residência onde foi colocado o sonómetro e, por sua vez, pela distância à fonte. Além disso, pode-se deduzir que da exposição prolongada ao RBF “pode ocorrer um processo de adaptação e de habituação do organismo às circunstâncias causadoras de *stress*” conforme concluído no estudo realizado por Cavacas (2014:142).

A análise da abordagem objetiva do Ponto 3 e do Ponto 4 são semelhantes à do Ponto 2. O inquirido do Ponto 3 diz não se sentir incomodado pelo ruído, o que pode ser justificado pela parte da fábrica de frente para a habitação não apresentar sistemas de ventilação e, mesmo, pela grande distância à fonte sonora que este ponto apresenta quando comprado com os restantes. O recetor sensível questionado, do Ponto 4, também não se apresenta incomodado pelo ruído, o que pode ser justificado pela parte da fábrica pelo facto de a habitação se encontrar a uma altitude superior às fábricas traseiras. Apesar de se verificar nestes dois pontos que os sistemas de ventilação continuam a produzir ruído depois do período laboral da fábrica.

No ponto 5, a abordagem objetiva, difere apenas nas características de fluabilidade no que diz respeito aos outros pontos, já que duas das bandas de frequência excedidas não são audíveis, contudo, o inquirido apresenta sintomas causados pela exposição ao RBF, onde a proximidade da fonte e a presença de ventiladores podem justificar esta análise.

O sexto Ponto foi confirmado como incomodativo nos períodos diurno e noturno, tanto pela análise objetiva como pela análise subjetiva, o que pode ser justificado pela existência da central elétrica do outro lado da rua das habitações, bem como, a existência de silos, que emitem ruído após o horário de funcionamento da fábrica.

Assim, conclui-se que os Pontos 1, 5 e 6 são os mais incomodativos tanto pelo tipo da fonte sonora (tipo de indústria), como pela proximidade dos recetores sensíveis à fonte. A realização dos inquéritos veio corroborar o que foi investigado na primeira abordagem, desta forma, pela subjetividade que a incomodidade causada pelo ruído apresenta, constata-se que se deve completar a avaliação acústica com a realização de inquéritos.

Capítulo V - Conclusões Finais e Perspetivas Futuras

O RBF é cada vez mais reconhecido como um problema a nível mundial, por estar presente em todos os ambientes, mesmo nos ditos ambientes “silenciosos” já que a sua propagação sofre uma baixa atenuação, podendo a fonte de ruído estar tão longínqua que não permite a sua identificação (Leventhall, 2003; Moorhouse, Waddington e Adams, 2005; Cavacas, 2014).

Como o objetivo deste estudo era avaliar a incomodidade causada pelo RBF proveniente de fontes industriais nos recetores sensíveis que habitam em AAE, procedeu-se a duas abordagens.

A abordagem objetiva foi realizada através de medições acústicas nos locais definidos. Os valores obtidos foram comparados e analisados segundo quatro abordagens: i) comparação dos níveis sonoros com a curva de critério DEFRA; ii) cálculo da avaliação da fluutuabilidade L10-L90; iii) cálculo da diferença entre dB(C) e dB(A); e iv) avaliação das características tonais do ruído de forma a perceber se o ruído pode ser ainda mais incomodativo. Para além disso, os espetros sonoros foram comparados com o espetro sonoro usado no estudo de referência realizado por Cavacas (2014).

A abordagem subjetiva correspondeu à realização de inquéritos direcionados à população residente nas áreas estudadas, de forma a complementar a avaliação executada pela medição sonoras.

Através dos dados obtidos nas abordagens, objetiva e subjetiva, foi possível obter as seguintes conclusões:

1. Todas as fontes industriais estudadas podem causar incómodo aos habitantes nas proximidades das mesmas (recetores sensíveis), já que todos os pontos apresentaram níveis sonoros elevados, acima dos recomendados no critério de DEFRA, em especial para nas bandas de frequência de 1/3 de oitava de 31,5 Hz a 160 Hz. Através dos resultados dos inquéritos percebe-se que as fábricas cujos sistemas de ventilação ou silos se encontram na proximidade das habitações causam incómodo durante o seu funcionamento bem como após o período laboral. Desta forma, foi possível concluir que os Pontos 1, 5 e 6 são os mais incomodativos e os Pontos 2, 3 e 4 não causam incómodo aos residentes, já que o período de possível incomodidade gerado pelas fábricas corresponde, também, ao período laboral destes. Ou seja, por não estarem em casa nesse período, não sentem o ruído proveniente da indústria em funcionamento.

2. Nessas bandas de frequência excedidas pelo critério, verificam-se características flutuantes na maioria do tempo de medição, para todos pontos, sendo por isso audíveis nessas bandas. Os inquéritos realizados revelaram que para os pontos atrás referidos, a população se sente incomodada, o que vem confirmar esta afirmação.

3. A avaliação da tonalidade permitiu concluir que o primeiro ponto, localizado em São João de Ponte, é ainda mais incomodativo quando avaliado sem filtro. Quando a avaliação é feita com filtro de ponderação A, percebe-se, em todos os pontos, que o uso do mesmo subestima as baixas frequências, não se verificando as componentes tonais que no ambiente acústico existem. O recetor sensível confirma que o Ponto 1 é de facto incomodativo, descrevendo o ruído sentido como um som de fundo, ao ponto de provocar sintomas típicos causados pela exposição ao RBF.

4. Através da avaliação da diferença $dB(C)-dB(A)$ concluiu-se que todos os pontos se apresentaram abaixo do limite de incomodidade, ou seja abaixo de 15 dB. Esta conclusão resulta da comparação com o critério DEFRA, bem como da aplicação do método de avaliação das características tonais. Este último pode reduzir o incómodo causado perante níveis baixos de $dB(A)$. Apesar de tudo, a diferença $dB(C)-dB(A)$ no Ponto 6 revelou um valor próximo de 15 dB. Com efeito, este ponto foi classificado pelos residentes como incomodativo.

5. Os resultados dos pontos de medição apresentam curvas mais acentuadas nas bandas de baixa frequência e uma descida consideravelmente acentuada nas médias e altas frequências. Contrariamente, no espectro reproduzido em laboratório referente ao estudo de Cavacas (2014), observa-se uma curva com poucos desníveis, tanto nas baixas como nas médias e altas frequências. Através desta análise percebe-se que de facto o RBF sofre uma pequena atenuação perante obstáculos, propagando-se facilmente, o que vai ao encontro do referido no início deste capítulo.

A minimização do incómodo causado pelo RBF analisado neste estudo pode ser em grande parte conseguido através de políticas de planeamento que evitam o conflito de uso residencial/industrial. Em investigações futuras sobre a avaliação da incomodidade causada pelo RBF, deve-se repensar a utilização do filtro de ponderação A, por subestimar o ruído nas baixas frequências. Considera-se ainda que o limite inferior da banda de frequências deve ser mais alargado, ou seja, inferior a 50 Hz, para que se possa obter uma maior informação quanto ao ambiente acústico real, onde o RBF é reconhecido e não subestimado na avaliação de um ambiente sonoro.

Referências Bibliográficas

- A Nossa Terra (2008). *Minho em Mil Sugestões*. Site: <http://www.anossaterra.pt/?co=0&tp=11&ct=0&cop=0&mop=108&it=pagina> – acessado a 22 de Outubro de 2017.
- Alayrac, M; Marquis-Favre, C; Viollon, S. (2011). *Total annoyance from an industrial noise source with a main spectral component combined with a background noise*. *Acoustical Society of America*, 130(1), 189–199.
- Alves, J. A. (2017). *Os impactes da poluição sonora na saúde e na sustentabilidade dos lugares – estudo de caso no município de Guimarães*. Universidade do Minho- Instituto de Ciências Sociais.
- Alves, J. A., Silva, L. T., & Remoaldo, P. C. C. (2015). *The Influence of Low-Frequency Noise Pollution on the Quality of Life and Place in Sustainable Cities: A Case Study from Northern Portugal*. *Sustainability*, 7(10), 13920–13946.
- Alves, J., Silva, L., Remoaldo, P., & Arezes, P. (2016a). *Proposta metodológica para avaliação audiométrica e da incomodidade do ruído de baixa frequência*. *EuroRegio 2016*, 1-10.
- Alves, J. A., Silva, L. T., Remoaldo, P. C. A., & Mendes, B. R. D. G. (2016b). “*Como um som de noite e um faiscar de dia*”: os impactes da poluição sonora de baixa frequência em áreas residenciais no município de Guimarães, Portugal. In *Pluris 2016–7. ° Congresso Luso Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável* (pp. 1-12). Viva Editora.
- Alves-Pereira, M., Melo, J. J. D., Motylewski, J., Kotlicka, E., & Branco, N. A. A. C. (2003). *Legislation Hinders Research Into Low Frequency Noise*, 1–16.
- Alves-Pereira, Mariana; Branco, N. A. A. C. (2007). *Sobre o Impacto de Infrasons e Ruído de Baixa Frequência na Saúde Pública - Dois casos de Exposição Residencial*. *Revista Lusófona de Ciências e Tecnologias da Saúde*, 4(11), 186–200.

Alves-Pereira, Mariana; Branco, N. A. A. C. (2009). *Contribuição para o conceito dose-resposta em exposições a Infrasons e ruído de baixa frequência*. Revista Lusófona de Ciências e Tecnologias da Saúde, 6(1), 31–44.

APA - Agência Portuguesa do Ambiente (2004). *Ruído e a Cidade*. Site: http://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/o_rudo_e_a_cidade.pdf - acedido a 5 de Setembro de 2017.

Arezes, P. M. F. M. (2002). *Percepção do Risco de Exposição Ocupacional ao Ruído*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho – Escola de Engenharia.

Arezes, P. M., & Miguel, A. S. (2002). *A exposição ocupacional ao ruído em Portugal*. Riscos Ocupacionais, 20(1), 61–69.

Bangjun, Z., Lili, S., & Guoqing, D. (2003). *The influence of the visibility of the source on the subjective annoyance due to its noise*. Applied Acoustics, 64(12), 1205–1215.

Barbosa, M. (2009). *Ruído e Desempenho Cognitivo dos Professores: Um estudo exploratório*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, 2009.

Berglund, B., Hassmén, P., & Job, R. F. S. (1996). *Sources and effects of low-frequency noise*. The Journal of the Acoustical Society of America, 99(5), 2985–3002.

Berglund, B., Lindvall, T., & Schwela, D. H. (1999). *Guidelines for community noise*. In Guidelines for community noise. OMS.

Beyard, M. (1988) *Business and industrial park development handbook*, The Urban Land Institute, Washington, D.C.

Bistafa RS. (2006). *Acústica aplicada ao controle do ruído*. Editora Edgard Blucher. 1ª ed. São Paulo; 2006.

Boeker, E. & Grondelle, R.V. (1995). *Environmental physics*, John Wiley & Sons, 2nd.

Boger, M. E., Barbosa-Branco, A., & Ottoni, Á. C. (2009). *A influência do espectro de ruído na prevalência de Perda Auditiva Induzida por Ruído em trabalhadores*. Brazilian Journal of Otorhinolaryngology, 75(3), 328–334.

- Broner, N. (2010). *A Simple Criterion for Low Frequency Noise Emission Assessment*. Noise Notes, 9(4), 3–16.
- Broner, N., Leventhall, H. G. (1980). *A modified PNdB for assessment of low frequency noise*. Journal of Sound and Vibration, 73(2), 271-277.
- Broner, N., Leventhall, H.G. (1993). *Low Frequency Noise Annoyance Assessment by Low Frequency Noise Rating (LFNR) Curves*. Journal of Low Frequency Noise and Vibration 2(1) 20-28.
- Cardoso, A. P., Oliveira, M. J. R., da Silva, Á. M., Águas, A. P., & Pereira, A. S. (2006). *Efeito da exposição prolongada a ruído ocupacional na função respiratória de trabalhadores da indústria têxtil*. Revista Portuguesa de Pneumologia, 12(1), 45–60.
- Carmona, M. (2008). *Procura da boa norma para a localização industrial*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- Carreira, A. S. da S. (2016). *Transmissão de vibração e ruído de baixa frequência em edifícios de betão armado*. Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa - Instituto Superior Técnico.
- Cavacas, M. A. A. M. (2014). *Alterações morfológicas dentárias provocadas pelo ruído industrial*. Tese de Doutoramento, Universidade do Porto, 2014.
- CMG (2017). *Dados Demográficos*. Site: <http://www.cm-guimaraes.pt/pages/1058> - acedido a 22 de Outubro de 2017.
- CMG (2017). *Freguesias*. Site: <http://www.cm-guimaraes.pt/pages/844> - acedido a 22 de Outubro de 2017.
- Cocchi, A., Fausti, P., & Piva, S. (1992). *Experimental characterisation of the low frequency noise annoyance arising from industrial plants*. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 11(4), 124-132.
- DGOTDU (1998). *Planos Directores Municipais: Georeferenciação de áreas urbanas, turísticas e Municipais*. Lisboa: DGOTDU.

Downey, G., & Parnell, J. (2017). *Assessing low frequency noise from industry – a practical approach*. In 12th ICBEN Congress on Noise as a Public Health Problem (p. 12).

Eleftheriou, P. C. (2002). *Industrial noise and its effects on human hearing*. *Applied Acoustics*, 63(1), 35-42.

European Centre for Environment and Health, World Health Organization (2011). *Burden of Disease from Environmental Noise: Quantification of Healthy Life Years Lost in Europe*. Regional Office for Europe: Copenhagen, Denmark, 2011. Site: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf – aceso a 25 de Setembro.

Fernández, I., Ruiz, M. (2009). *Descriptive model and evaluation system to locate sustainable industrial areas* in *Journal of Cleaner Production*, 17, pp.87-100.

Fonseca, F. P. (2013). *Um modelo baseado em agentes para simular políticas de ordenamento de áreas de acolhimento empresarial: o caso da rede do Quadrilátero Urbano*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho - Escola de Engenharia.

Fonseca, F. P., Ramos, R. A. R., Silva, A. N. R.. (2014). *Perspetivas e perceções dos empresários em relação às condições de acolhimento empresarial do quadrilátero urbano*. *Renaissance of the Regions of Southern Europe*, (6), 1–20.

Fonseca, F. P.; Ramos, Rui A. R.; Silva, A. N. R. (2016a). *Um Modelo Baseado em Agentes para Simular Políticas de Ordenamento de Áreas de Acolhimento Empresarial*. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, 41(1), 5–20.

Fonseca, Fernando; R. da Silva, António Nelson; R. Ramos, R. A. (2016b). *Os Parques Industriais do Quadrilátero Urbano Segundo a Visão dos Empresários*. *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*, 43, 17.

Guia da Cidade CMG, (2015). Câmara Municipal de Guimarães – *Guia da Cidade*. Site: http://www.cmguimaraes.pt/uploads/writer_file/document/3654/GUIA_GUIMAR_ES_2015.pdf - aceso a 22 de Outubro de 2017.

- Guyton, C. A. (1988). *Fisiologia Humana*. 6ª edição – Editora Guanabara. Brasil. pp. 194-203.
- Hassan, O. (2009). *Building acoustics and vibration*. World scientific publishing; 2009.
- Hessler, J., & George, F. (2004). *Proposed criteria in residential communities for low-frequency noise emissions from industrial sources*. Noise Control Engineering Journal, 52(4), 179-185.
- Hood, R. A., & Leventhall, H. G. (1971). *Field measurement of infrasonic noise*. Acta Acustica united with Acustica, 25(1), 10-13.
- INE (1993). *Censos – Resultados definitivos, Portugal - 1991*. XIII Recenseamento Geral da População. III Recenseamento Geral da Habitação.
- INE (2002). *Censos – Resultados definitivos, Portugal - 2001*. XV Recenseamento Geral da População. V Recenseamento Geral da Habitação.
- INE (2012). *Censos – Resultados definitivos, Portugal - 2011*. XV Recenseamento geral da população. V Recenseamento geral da habitação.
- INE (2015). *Classificação Portuguesa de Actividades Económicas, Revisão 3*, abreviadamente designada por CAE-Rev.3. Sistema de Contas Integradas das Empresas.
- Job, R. F. S., Bullen, R. B., & Burgess, D. H. (1991). *Noise induced reaction in a work community adjacent to aircraft runways: The Royal Australian Airforce*. Inter-Noise '91: The Cost of Noise. Poughkeepsie, NY: Noise Control Foundation, 895-898.
- Kjellberg, A., & Goldstein, M. (1985). *Loudness assessment of band noise of varying bandwidth and spectral shape. An evaluation of various frequency weighting networks*. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control, 4(1), 12-26.
- Kjellberg, A., Tesarz, M., Holmberg, K., & Landström, U. (1997). *Evaluation of frequency-weighted sound level measurements for prediction of low frequency noise annoyance*. Environment International, 23(4), 519–527.
- Landström, U., Åkerlund, E., Kjellberg, A., & Tesarz, M. (1995). *Exposure levels, tonal components, and noise annoyance in working environments*. Environment International,

21(3), 265–275.

Leventhall, G. (2003). *A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects*. Department for Environment, Food and Rural Affairs, (May), 88.

Leventhall, G. (2014). *How the “mythology” of infrasound and low frequency noise related to wind turbines might have developed Control*. In First International Meeting on Wind Turbine Noise: Perspectives for Control Berlin 17th and 18th October 2005 (p. 16).

MaOtdr, C. (2007). *Plano Regional de Ordenamento do Território - PROT Algarve, Vol I - Plano*.

Mateus, D. (2008). *Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído*. Coimbra: FCTUC - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2008.

Matos, A. R. L. de. (2014). *Cidade Património Cultural da Humanidade, Guimarães. Da construção à reabilitação do centro histórico*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Arquitetura do Porto.

Mazzarol, T., Cresp, D., McFarlane, R., Edlinger, E. (2009) *Industrial land development in Western Australia, a review of global trends, innovation and best practice*. Department for Planning and Infrastructure, Western Australia.

Meireles, M. J. (2000). *O património urbano de Guimarães no contexto da idade contemporânea (Séc. XIX-XX) : permanências e alterações*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho - Instituto de Ciências Sociais.

Mendes, A. F. T. (2011). *Ruído Ocupacional em Ambiente Industrial*. Dissertação de Mestrado, FEUP.

Møller BH, Pedersen S, Staunstrup JK., (2012). *Assessment of low frequency noise from wind turbines in Maastricht*. Department of Development and Planning.

Moorhouse, A. T., Waddington, D. C., & Adams, M. D. (2009). *A procedure for the assessment of low frequency noise complaints*. The Journal of the Acoustical Society of America, 126(3), 1131–41.

Moorhouse, A., Waddington, D., & Adams, M. (2005). *Procedure for the assessment of*

low frequency noise complaints. Acoustics Research Centre, Salford University - DEFRA NANR45: Procedure.

Moorhouse, A., Waddington, D., & Adams, M. (2011). *Procedure for the assessment of low frequency noise complaints*. Acoustics Research Centre, University of Salford, (12).

Morel, J., Marquis-Favre, C., & Gille, L.-A. (2016). *Noise annoyance assessment of various urban road vehicle pass-by noises in isolation and combined with industrial noise: A laboratory study*. *Applied Acoustics*, 101, 47–57.

Neves, A. da S. (2007). *Redução de ruído ambiental em área de produção industrial*. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa Faculdade de Ciências e Tecnologia.

Oud, M. (2012). *Low-frequency noise : a biophysical phenomenon*. In Congress Geluid Trillingen Luchtkwaliteit Gebied & Gebouw (pp. 1-5).

Paz, E. C. da, Ferreira, A. M. C., & Zannin, P. H. T. (2005). *Estudo comparativo da percepção do ruído urbano*. *Revista de Saúde Pública*, 39(3), 467–472.

Pedersen, C. S. (2008). *Human hearing at low frequencies, with focus on noise complaints* Tese de Doutorado, Aalborg University - Acoustics, Department of Electronic Systems.

Pereira, A. S. de A. B. (2009). *Avaliação da exposição dos trabalhadores ao ruído (análise de casos)*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho – Escola de Ciências.

Persson, K., & Björkman, M. (1988). Annoyance due to low frequency noise and the use of the dB (A) scale. *Journal of Sound and Vibration*, 127(3), 491-497.

Ramos, R. A. R. (2000). *Localização industrial: Um Modelo Espacial para o Nordeste de Portugal*. Tese de Doutorado, Universidade do Minho - Escola de Engenharia.

Reinhold, K., Kalle, S., & Paju, J. (2014). *Exposure to high or low frequency noise at workplaces : differences between assessment, health complaints and implementation of adequate personal protective equipment*. *Agronomy Research*, 12(3), 895–906.

Salehin, S., Islam, K. M. N., Alam, M. S., & Hossain, M. M. (2014). *Industrial Noise Levels in Bangladesh : is Worker Health at Risk?* Polish Journal of Environmental Studies, 23(5), 1719–1726.

Santos, L. C., Matias, C., Vieira, F., & Valado, F. (2008). *Noise mapping of industrial sources*. Coimbra, Acústica.

Schnell, I., Potchter, O., Yaakov, Y., Epstein, Y., Brener, S., & Hermesh, H. (2011). *Urban daily life routines and human exposure to environmental discomfort*. Springer Science+Business Media B.V. 2011, (11), 4575–4590.

Silva, L. M. M. de O. T. (2007). *Avaliação da Qualidade Ambiental Urbana*. Tese de Doutoramento, Universidade do Minho - Escola de Engenharia.

Silva, L.T. (2015). *Environmental quality health index for cities*. Habitat International, 45, 29-35.

Sofer, M., Potchter, O., Gnaim, N., & Gnaim, J. M. (2012). *Environmental nuisances from industrial activities in residential areas of Arab municipalities in Israel*. Applied Geography, 35(1-2), 353–362.

Sopsuk, J., Chongsuvivatwong, V., Sornsrivichai, V., & Hasuwanakit, S. (2013). *Development and Application of Environmental Quality of Life Scale Among People Residing Near Three Types of Industrial Areas, Southern Thailand*. Social Indicators Research, 110(3), 863–872.

Stanger, C. (2002). *Report: Low Frequency Noise: Technical Research Support for DEFRA Noise Programme*. Department for the Environment, Food and Rural Affairs.

Universia Portugal (2016). Guia de Empresas. Site: <https://guiaempresas.universia.pt/concelho/BRAGA/> - acedido a 23 de Outubro de 2017.

Yeowart, N. S. (1976). *Thresholds of hearing and loudness for very low frequencies*. Infrasound and Low Frequency Vibration, Tempest, pp. 37–64.

Zannin, P. H. T., Ferreira, A. M. C., & Szeremetta, B. (2006). *Evaluation of noise pollution in urban parks*. Environmental Monitoring and Assessment, 118(1-3), 423-433.

ANEXO I – Inquérito

INQUÉRITO

Caro(a) inquirido(a), o meu nome é Alda Filipa Ribalonga Magalhães.

Este inquérito tem o objetivo de compreender os **impactes da exposição ao ruído de baixa frequência das indústrias na população que habita em parques industriais** para o desenvolvimento da minha Tese de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade do Minho.

Todas as respostas recolhidas são **anónimas e confidenciais**, tendo como único objetivo serem utilizadas na elaboração deste trabalho. Dada a subjetividade do ruído, a sua colaboração é fundamental e pode ajudar a melhorar a vida de pessoas que sofrem com o ruído.

Este inquérito não levará mais do que **10 minutos** do seu tempo, sendo que a sua participação é crucial para o sucesso deste trabalho.

1. O(a) senhor(a) viveu sempre nesta freguesia?

- Sim (obs.: passar para questão 3)
- Não

2. Se sim, qual foi o motivo principal da mudança dessa casa para a atual?

- Segurança
- Barulho
- Problemas com a casa
- Para ficar mais próximo do trabalho
- Problemas ambientais nessa área
- Outro motivo. Qual? _____.

3. Qual foi o motivo principal da escolha deste lugar?

- O valor do imóvel era mais baixo
- Tranquilidade/Sossego
- Proximidade do local de trabalho
- Proximidade a vários serviços
- É um lugar agradável
- Outro motivo
- Especificar: _____.

4. Há quanto tempo o(a) senhor(a) e a sua família vivem nesta casa?

Especificar: _____.

5. O senhor(a) sente-se afetado pelo ruído no interior da sua casa?

- Sim
- Não (obs.: passar para questão 10)

6. Consegue identificar a origem do ruído? Em caso afirmativo, qual o incomoda mais?

- Sim
 - Indústrias vizinhas
 - Vizinhos (pessoas, cães)
 - Estrada (tráfego)
 - Central elétrica
 - Outro ruído. Qual? _____.
- Não

7. Dentro de casa onde é que o(a) senhor(a) consegue ouvir com mais intensidade o ruído?

- Quartos
- Sala
- Casa de Banho
- Cozinha
- Varanda
- Área externa
- Outro local. Qual? _____.

8. Em qua altura se sente mais afetado pelo ruído envolvente?

- Período de chuva
- Tempo húmido
- Com nevoeiro
- Inverno
- Verão
- Primavera
- Outono
- Durante o dia
- Durante a noite
- Durante a tarde
- Outra condição meteorológica. Qual? _____.

9. O(a) senhor(a) quando está exposto a esse ruído sente algum destes sintomas?

- Irritabilidade
- Cansaço
- Stress*
- Dificuldade em se concentrar
- Insónia

- Agitação
- Dificuldade em ouvir
- Sonolência
- Indisposição
- Dor de cabeça
- Dores no corpo
- Outro sintoma. Qual? _____.

10. O ruído perturba o senhor(a) durante a noite? Como avalia a qualidade do seu sono?

- Sim. Boa ou Má? _____.
- Não. Boa ou Má? _____.

11. Tem algum problema de saúde?

- Doença Cardiovascular (como hipertensão, enfarto agudo do miocárdio, arritmias cardíacas)
- Doença do Sistema Nervoso (como Acidente Vascular Cerebral (AVC), ataque epilético, esclerose múltipla, Alzheimer, Parkinson)
- Doença Metabólica (como problemas de tiroide, obesidade, diabetes)
- Outra. Qual? _____.