



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Química

Monitorização do Ruído no Metropolitano de Lisboa

BRUNA TORRES DELGADO

(Licenciada em Engenharia Civil)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia da Qualidade e Ambiente

Orientador (es):

Prof. Doutor Manuel José de Matos

Prof. Doutor Joel Vera Cruz Preto Paulo

Prof.^a Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos

Júri:

Presidente: Prof.^a Doutora Isabel Maria Da Silva João

1º Vogal (arguente): Prof. Doutor Carlos Eduardo Meneses Ribeiro

2º Vogal (orientador): Prof. Doutor Manuel José De Matos

Setembro de 2021

"I faced it all and I stood tall, did it my way."

Frank Sinatra

Agradecimentos

Gostaria de manifestar meus sinceros agradecimentos primeiramente a Jeová Deus que me permitiu chegar onde estou. Em segundo lugar quero agradecer ao professor Doutor Manuel José de Matos, que foi o responsável por impulsionar meu crescimento profissional, académico e científico de forma a incentivar-me, corrigir-me e orientar-me da melhor maneira possível. Ao grande Doutor e Cientista que és, obrigada professor.

Gostaria de agradecer ao professor Doutor Joel Preto Paulo e Professora Teresa Santos, que se envolveram e se preocuparam em todos os momentos com o trabalho desenvolvido.

Também gostaria de agradecer aos demais professores que compõem o grupo de docentes da instituição de ensino e que se envolveram diretamente e indiretamente para o êxito deste trabalho, se fazendo presentes da forma que puderam.

Em especial agradecimento, gostaria de dedicar este trabalho a minha amada mãe Ivanir Passarini que sem o seu apoio, incentivo e dedicação eu jamais conseguiria obter tal grau nesta honrada instituição de ensino superior da Europa. E ao meu amado noivo, Francisco Dantas Júnior que aguentou firmemente todos os meus possíveis estágios de loucura causada pelo longo confinamento que vivemos.

A Todos, muito obrigada!

Resumo

A exposição ao ruído, no local de trabalho, é controlada e devidamente regulamentada, enquanto que as demais exposições ao ruído ambiente não são normalmente contabilizadas, como por exemplo, as viagens entre casa-trabalho-casa. Nestes percursos poderão existir exposições ao ruído impactantes na saúde. Sabe-se que o ruído ambiente contribui negativamente para o bem-estar e saúde humana e pode causar danos no sistema auditivo e efeitos psicológicos, doenças cardiovasculares e alterações do sistema imunitário. Deve-se assim, avaliar a exposição sonora durante as viagens de ida e volta para o trabalho.

O objetivo deste estudo é avaliar a exposição ao ruído dos passageiros no Metropolitano de Lisboa, com relação aos níveis de exposição, frequência e intensidade sonora, seguindo a abordagem sugerida pelas respetivas legislações e regulamentações. De forma a potenciar o uso generalizado pelo cidadão comum, foram utilizados equipamentos de fácil acesso, como os *smartphones*, cujos dados de medição foram validados através de calibração.

O estudo foi realizado em três fases distintas: Etapa 1 (Julho/2020), Etapa 2 (Agosto/2020) e Etapa 3 (Novembro/2020), em que se recolheram medições equivalentes a 30 horas 23 minutos e 17 segundos totais, ou seja, 875.176 dados em dB (A) (FAST e SLOW). Analisados através de cálculos desenvolvidos que revelam 67,8% da média de exposição em viagens pendulares mantiveram-se acima do Valor Limite de Exposição. Níveis relevantes quanto à exposição ao ruído no Metropolitano de Lisboa apontam para a necessidade de abordagem sobre o assunto na ótica das questões relacionadas com a saúde pública. O estudo mostra o excessivo nível de ruído a que os passageiros do Metropolitano de Lisboa são sujeitos em suas viagens.

Palavras-chave: Ruído não ocupacional, Metropolitano de Lisboa, Poluição sonora, Ruído Ambiente, Exposição Sonora.

Abstract

Noise exposure in the workplace is controlled and properly regulated, while other exposures to environmental noise are not normally accounted for, such as travel between home-work-home. On these routes there may be exposures to noise impacting health. It is known that ambient noise negatively contributes to human well-being and health and can cause damage to the auditory system and psychological effects, cardiovascular diseases and changes in the immune system. Therefore, noise exposure should be assessed during trips to and from work.

The objective of this study is to evaluate the noise exposure of passengers in the Metropolitano de Lisboa, in relation to the levels of exposure, frequency and sound intensity, following the approach suggested by the respective laws and regulations. In order to enhance the widespread use by the common citizen, easily accessible equipment such as smartphones were used, whose measurement data were validated through calibration.

The study was carried out in three distinct phases: Step 1 (July/2020), Step 2 (August/2020) and Step 3 (November/2020), in which measurements equivalent to 30 hours 23 minutes and 17 seconds total were collected, or that is, 875,176 data in dB(A) (FAST and SLOW). Analyzed through calculations developed that reveal 67.8% of the average exposure on commuting remained above the Exposure Limit Value. Relevant levels of noise exposure in the Metropolitano de Lisboa point to the need to approach the subject from the perspective of issues related to public health. The study shows the excessive level of noise that Metropolitano de Lisboa passengers are subjected to on their journeys.

Keywords: Non-occupational Noise, Metropolitano de Lisboa, Noise Pollution, Environmental Noise, Sound Exposure

Abreviaturas e Acrónimos:

Geral

AML	<i>Área Metropolitana de Lisboa</i>
AMT	<i>Autoridade da Mobilidade e dos Transportes em Portugal.</i>
Android	<i>Sistema Operativo Móvel Open Handset Alliance</i>
APA	<i>Agência Portuguesa do Ambiente</i>
CE	<i>Regulamento Europeu</i>
CCI	<i>Células Ciliadas Internas</i>
CEE	<i>Células Ciliadas Externas</i>
CT148	<i>Comissão Técnica 148</i>
dB(A)	<i>Unidade em Decibel com curva da ponderação A</i>
dB(B)	<i>Unidade em Decibel com curva da ponderação B</i>
dB(C)	<i>Unidade em Decibel com curva da ponderação C</i>
Dose _{8h}	<i>Dose de Ruído com Exposição prolongada a 8 horas contínuas</i>
Dose _{pendular}	<i>Dose de Ruído em uma viagem pendular</i>
Dose _{pendular} %/km	<i>Dose de Ruído em viagem pendular por distância percorrida (km)</i>
Dose _{pendular} %/min	<i>Dose de Ruído em viagem pendular por tempo de exposição (min)</i>
Dose _{viagem}	<i>Dose de Ruído em viagem unitária</i>
DRA	<i>Diretiva Europeia “Ruído Ambiente”</i>
DL	<i>Decreto-Lei</i>
EPA	<i>Agência de Proteção Ambiente dos Estados Unidos</i>
IGAS	<i>Inspeção Geral das Atividades em Saúde</i>
IMT	<i>Instituto da Mobilidade e dos Transportes Terrestres I. P.</i>
INE	<i>Instituto Nacional de Estatística de Portugal</i>
iOS	<i>Sistema operativo móvel Apple Inc.</i>
IPQ	<i>Instituto Português da Qualidade</i>
ISEL	<i>Instituto Superior de Engenharia de Lisboa</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
IST	<i>Instituto Superior Técnico</i>
LAE	<i>Nível de Exposição Sonora</i>

L _{Aeq}	<i>Nível de Ruído Contínuo Equivalente, com curva de ponderação A</i>
L _{AeqT}	<i>Nível Sonoro Contínuo Equivalente</i>
L _{AeqT} (diário)	<i>Nível de Ruído Contínuo Equivalente em Período Diurno, Entardecer ou Noturno</i>
L _{Cpico}	<i>Nível de Ruído de Pico ponderado ao coeficiente de ponderação C</i>
L _{den}	<i>Indicador de Ruído no período Diurno-Entardecer-Nocturno</i>
L _{EX}	<i>Nível de Ruído Equivalente Médio</i>
L _{EX,8h}	<i>Nível Médio de exposição Contínua a 8 horas de duração</i>
L _{EX,8h}	<i>Nível de Ruído Equivalente de Exposição Pessoal</i>
L _{EX,pendular}	<i>Nível de Ruído Equivalente a média em viagem pendular</i>
L _{RE}	<i>Nível de Avaliação de Exposição Sonora</i>
L _{ReqT}	<i>Nível de Avaliação Contínuo Equivalente</i>
.m4a	<i>Formato de ficheiro de áudio</i>
MacOS	<i>Sistema operativo Apple Inc.</i>
ML	<i>Metropolitano de Lisboa E. P. E.</i>
NIOSH	<i>National Institute for Occupational Safety and Health</i>
NP	<i>Norma Portuguesa</i>
OMS	<i>Organização Mundial da Saúde</i>
RGR	<i>Regulamento Geral do Ruído</i>
SLC	<i>Sound Level Calibrator</i>
SPL	<i>Sound Pressure Level</i>
VAI	<i>Valor de Acção Inferior</i>
VAS	<i>Valor de Acção Superior</i>
VLE	<i>Valor Limite de Exposição</i>
.xls	<i>Formato de arquivo XLS Microsoft Excel até 2010</i>
.xlsx	<i>Formato de arquivo XLS Microsoft Excel depois 2010</i>

Abreviaturas e Acrónimos: Estações e Linhas do Metropolitano de Lisboa

AEP	<i>Estação - Aeroporto</i>
ALF	<i>Estação - Alfarelos</i>
ALM	<i>Estação - Alameda</i>
ALT	<i>Estação - Alto dos Moinhos</i>
ALV	<i>Estação - Alvalade</i>
AME	<i>Estação - Amadora Este</i>
AMX	<i>Estação - Ameixoeira</i>
ANJ	<i>Estação - Anjos</i>
ARE	<i>Estação - Areeiro</i>
ARO	<i>Estação - Arroios</i>
AVN	<i>Estação - Avenida</i>
BCH	<i>Estação - Baixa-Chiado</i>
BEL	<i>Estação - Bela Vista</i>
CBR	<i>Estação - Cabo Ruivo</i>
CDS	<i>Estação - Cais do Sodré</i>
CHE	<i>Estação - Chelas</i>
CLG	<i>Estação - Colégio Militar/ Luz</i>
CMG	<i>Estação - Campo Grande</i>
CMP	<i>Estação - Campo Pequeno</i>
CRD	<i>Estação - Carnide</i>
CUN	<i>Estação - Cidade Universitária</i>
ENC	<i>Estação - Entre Campos</i>
ENÇ	<i>Estação - Encarnação</i>
INT	<i>Estação - Intendente</i>
JRD	<i>Estação - Jardim Zoológico</i>
LAJ	<i>Estação - Laranjeira</i>
LMR	<i>Estação - Lumiar</i>
MQP	<i>Estação - Marquês de Pombal</i>
MRM	<i>Estação - Martim Moniz</i>
MSC	<i>Estação - Moscavide</i>

ODV	<i>Estação - Odivelas</i>
OLS	<i>Estação - Olaias</i>
OLV	<i>Estação - Olivais</i>
ORT	<i>Estação - Oriente</i>
PCS	<i>Estação - Picoas</i>
PNT	<i>Estação - Pontinha</i>
PRÇ	<i>Estação - Praça de Espanha</i>
PRQ	<i>Estação - Parque</i>
QCH	<i>Estação - Quinta das Conchas</i>
RAT	<i>Estação - Rato</i>
ROM	<i>Estação - Roma</i>
ROS	<i>Estação - Rossio</i>
RST	<i>Estação - Restauradores</i>
RBL	<i>Estação - Reboleira</i>
SDH	<i>Estação - Saldanha</i>
SRR	<i>Estação - Senhor Roubado</i>
SSB	<i>Estação - São Sebastião</i>
STA	<i>Estação - Santa Apolónia</i>
TEL	<i>Estação - Telheiras</i>
TRP	<i>Estação - Terreiro do Paço</i>
AM	<i>Linha Amarela</i>
AZ	<i>Linha Azul</i>
VD	<i>Linha Verde</i>
VR	<i>Linha Vermelha</i>

Índice

1. Introdução	1
1.1. Contexto do tema no cenário atual.....	1
1.2. Revisão de Literatura	2
1.3. Objetivos	5
1.4. Estrutura.....	5
2. Conceitos e Definições	7
2.1. Níveis sonoros.....	10
2.2. Curvas de ponderação	12
2.3. Critério de incomodidade e Dose de exposição	13
3. Legislação e Regulamentação.....	16
4. Efeitos do ruído na saúde	19
5. Evolução histórica do Metropolitano de Lisboa (ML).....	23
5.1. Caracterização da Rede e da Frota.....	28
5.2. Caracterização do Fluxo e Circulação.....	30
6. Equipamentos e Métodos	36
6.1. Equipamentos de medição	36
6.2. Calibração dos equipamentos de medição.....	41
6.3. Método e Procedimentos.....	45
6.3.1. Planeamento e Frequência das medições	45
6.3.2. Amostragem e Sistematização dos dados.....	49
6.3.3. Parâmetro de análise;.....	50
6.3.4. Procedimentos de medição do ruído;	51
7. Resultados	55
7.1. Viagens pendulares (Etapa 1)	55
7.2. Exposição sonora nas Estações (Etapa 2).....	65
7.3. Viagens pendulares (Etapa 3)	70
7.4. Análise global dos resultados	74
8. Estudos anteriores e suas resultantes comparativas	93
9. Conclusões	95
10. Referências	98
Anexos	107
Anexo 1 – Resumo submetido ao XI Congresso Ibérico de Acústica	108
Anexo 2 - Futuras expansão da Linha Amarela (ML).....	109
Anexo 3 - Ficha técnica ML99, ML97, ML95 e ML90.....	110
Anexo 4 - Frequência Metropolitano de Lisboa	114

Anexo 5 - Formulário Medição Ruído	118
Anexo 6 - Codificação das linhas e estações do ML.....	120

Índice de Figuras

Figura 1 - Disposição das partículas do ar durante o movimento vibratório	7
Figura 2 - Frequência em Hz de sons audíveis, infrassons e ultrassons.....	8
Figura 3 - Variação de pressão ambiente detetável pelo sistema auditivo	8
Figura 4 – Comprimento e forma de onda senoidal simples	9
Figura 5 – Exemplo de variação de frequências sonoras, sendo Sinusoide (esquerda) e ruído genérico (direita)..	10
Figura 6 – Amplitude das coeficientes de ponderação A e C.	13
Figura 7 – Ouvido externo (e), médio (m) e interno (i).....	19
Figura 8 - Anatomia da cóclea.....	20
Figura 9 - Caracterização do ML no ano de inauguração, 1959.....	24
Figura 10 - Expansões das linhas do Metropolitano de Lisboa, até 1993	24
Figura 11 – Ampliações e modificações das linhas do ML em 1998.	25
Figura 12 – Caracterização do Metro Lisboa em 2007	26
Figura 13 - Diagrama do ML.....	27
Figura 14 - Evolução da circulação de carruagens no ML (1989 à 2020)	29
Figura 15 - População móvel por dia da semana e por sexo	31
Figura 16 - Proporção de população móvel por faixa etária	31
Figura 17 - Deslocações via transporte público entre municípios.....	32
Figura 18 - Deslocamentos diários em Lisboa nos dias úteis.....	33
Figura 19 - Deslocamentos diários em Lisboa nos dias não úteis.....	33
Figura 20 - Tempo médio de deslocações intermunicipais.....	34
Figura 21 - Dayton Audio IMM-6.....	37
Figura 22 - Interface de utilização da aplicação SPLnFFT.	38
Figura 23 - Adaptações na mochila utilizada para recolha de dados	38
Figura 24 - Posicionamento do microfone na direção do aparelho auditivo	39
Figura 25 – Equipamentos instalados na mochila de medição.....	39
Figura 26 – Linhas de dados extraídos do SPLnFFT.	40
Figura 27 - Câmara Anecóica do Instituto Superior Técnico – IST.....	41
Figura 28 – Alinhamento entre microfone Dayton IMM6 e Sonómetro.	42
Figura 29 - Telemóvel e aplicação SPLnFFT nos testes de calibração	43
Figura 30 - <i>Posicionamento dentro do comboio para medição</i>	52
Figura 31 – <i>Medição 21/07/2020, estação inicial STA, Linha AZ.</i>	55
Figura 32 - <i>Medição realizada dia 25/07/2020, Linha AM, tipo fim de semana</i>	56

Figura 33 - Número do material circulante (por carruagem) do ML	60
Figura 34 – Distribuição dB (A) da medição 21/07/2020, Linha AZ, fundo.	62
Figura 35 – <i>Resultados da primeira etapa com $L_{EX,8h} \geq 87$ dB (A)</i>	63
Figura 36 - <i>Distribuição dB (A) da medição 28/08/2020, Linha VR.</i>	67
Figura 37 - Medição 27/08/2020, Linha AZ, estação BCH, etapa 2.....	68
Figura 38 - Resultados da terceira etapa	73
Figura 39 - $L_{EX,8h}$ da primeira etapa versus terceira etapa.....	74
Figura 40 - $L_{EX,8h}$ Linha AZ (primeira etapa e terceira etapa).	75
Figura 41 - $L_{EX,8h}$ Linha AM (primeira etapa e terceira etapa).	75
Figura 42 - $L_{EX,8h}$ Linha VR (primeira etapa e terceira etapa).	76
Figura 43 - $L_{EX,8h}$ Linha VD (primeira etapa versus terceira etapa).	76
Figura 44 - <i>Viagem pendular, 21/07/2020 na Linha AZ, medição 1 e 2.</i>	77
Figura 45 - <i>Viagem pendular, 21/07/2020, ponta na Linha AZ.</i>	78
Figura 46 – <i>Estações da medição de ponta no dia 21/07/2020, AZ</i>	79
Figura 47 – Curva de viagem entre TRP e BCH dia 21/07/2020, AZ, ponta. ..	80
Figura 48 – Medição do dia 25/07/2020, Linha AM, fim semana (etapa 1).	84
Figura 49 - Trecho viagem pendular 14/11/2020, AZ, fim semana (etapa 3) ..	85
Figura 50 - Trecho viagem pendular 18/11/2020, VR, ponta (etapa 3).	85
Figura 51 - Trecho viagem pendular 25/07/2020, AZ, fim semana (etapa 1). .	86
Figura 52 – Indicação das estações referente à Figura 51.....	86
Figura 53 – Pico de exposição do 25/07/2020, AZ, fim de semana (etapa 1).	87
Figura 54 - Abertura de portas ML90.....	88
Figura 55 - Abertura de portas ML99.....	89
Figura 56 - Espectro do ruído de abertura e fecho de portas em ML90	90
Figura 57 - Espectro do ruído de abertura e fecho de portas em ML99	90
Figura 58 – <i>Espectro ampliado do ruído de abertura de portas em ML90.</i>	91
Figura 59 - Espectro ampliado do ruído de abertura de portas em ML99	91

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Valores limites de exposição ao ruído ocupacional.	18
Tabela 2 - Níveis de som, efeito e perceção no corpo humano.	22
Tabela 3 - Caracterização da frota do ML em 2017.	28
Tabela 4 - Informações relevantes séries ML99, ML97, ML95 e ML90.	29
Tabela 5 - Frequência dos comboios do ML.	30
Tabela 6 - Duração de viagem completa nas linhas do ML.	34
Tabela 7 - Resultados das medições 1 e 2 de calibração em nível baixo.	44
Tabela 8 - Resultados das medições 1 e 2 de calibração em nível alto.	44
Tabela 9 - Tipos de medições realizadas.	45
Tabela 10 - Codificação das estações pertencente a Linha AZ.	46
Tabela 11 - Codificação das estações pertencente a Linha AM.	47
Tabela 12 - Codificação das estações pertencente a Linha VR.	47
Tabela 13 - Codificação das estações pertencente a Linha VD.	48
Tabela 14 - Estações selecionadas para Etapa 2 de medições.	48
Tabela 15 - Desempenho e qualidade de serviço pela NP 4475:2020.	50
Tabela 16 – Caracterização das viagens pendulares da etapa 1.	56
Tabela 17 – Número de passageiros por viagem pendular, Linha AZ, etapa1.	57
Tabela 18 - Número de passageiros por viagem pendular, Linha VR, etapa1.	57
Tabela 19 - Número de passageiros por viagem pendular, Linha AM, etapa1.	58
Tabela 20 – Número de passageiros por viagem pendular, Linha VD, etapa1.	58
Tabela 21 – Número de série das carruagens de medições na etapa 1.	59
Tabela 22 – Resultados obtidos por viagem pendular (etapa 1).	60
Tabela 23 - Frequência dB (A) da medição 21/07/2020, Linha AZ, fundo.	61
Tabela 24 - Resultado medição 21/07/2020, Linha AZ, fundo.	62
Tabela 25 - Resultados da primeira etapa com $L_{EX,8H} \geq 87$ dB (A).	63
Tabela 26 - Caracterização das viagens pendulares da etapa 2.	65
Tabela 27 - Resultados obtidos por estação (etapa 2).	66
Tabela 28 - Frequência dB (A) da medição 28/08/2020, Linha VR.	67
Tabela 29 - Resultados da segunda etapa (Dose e $Dose_{8h}$).	68
Tabela 30 - Caracterização das viagens pendulares etapa 3.	70
Tabela 31 - Utilizadores por viagem pendular na etapa 3.	71
Tabela 32 - Número de série das carruagens de medições na etapa 3.	71

Tabela 33 - Resultados obtidos por viagem pendular (etapa 3).....	72
Tabela 34 - Resultados da terceira etapa de medições.....	73
Tabela 35 - Duração das medições tipo ponta e fim semana, Linha AZ.....	74
Tabela 36 - Duração média de exposição por linha em viagem unitária.....	77
Tabela 37 - Dose _{pendular} ≥ 20 % (etapa 1, 2 e 3).....	81
Tabela 38 - Comprimento, duração e velocidade média por linha.....	81
Tabela 39 - Dose _{pendular} %/km em medições da etapa 1 e etapa 3.....	82
Tabela 40 – Dose _{pendular} ≥ 1 %/km.....	82
Tabela 41 - Dose _{pendular} %/min em medições da etapa 1 e etapa 3.....	83
Tabela 42 - Dose _{pendular} ≥ 0,5 %/min.....	83
Tabela 43 – Resultados 21/07 tipo Fundo e 25/07 tipo Fim Semana (AZ).	86

1.

Introdução

1.1. Contexto do tema no cenário atual

Estudos recentes, indicam que cerca de 30 a 40% dos europeus são expostos diariamente a valores médios de ruído ambiente superiores a 55 dB (A). Este valor cresce de acordo com o quão urbanizável for a área em que estes indivíduos se expõem. Além disso, entende-se que as principais fontes do ruído urbano são provocadas pelos transportes rodoviários, aéreo e ferroviário (Santos & Almeida, 2016).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que mais de 5% da população mundial tem perda auditiva incapacitante induzida por ruído ocupacional (Berardi *et al.*, 2016). O Instituto de Segurança e Saúde Ocupacional dos EUA (NIOSH) estima que mais de 22 milhões de pessoas nos EUA estão expostas a níveis de ruído superiores ao limite estabelecido pela legislação.

Desde 1970 a Comissão Europeia discute e publica Directivas sobre assuntos referentes à redução do ruído das fontes emissoras (automóveis, comboios e aviões). Seguidos pela tendência nos Estados Unidos da América e o Japão, que por sua vez já desenvolviam nesta altura a disseminação de regulamentações e ações de controlo e redução do ruído (Coelho & Ferreira, 2009).

A primeira regulamentação em vigor em Portugal foi publicada em 1987, sendo esta uma das primeiras referências sobre a importância do controlo da poluição sonora, através da Lei de Bases do Ambiente, fazendo parte da política de ambiente na Constituição da República Portuguesa. E como toda legislação, após algum tempo e análises esta regulamentação sofreu algumas atualizações, até ser aprovada a versão de 2007, passando a ser designada

como Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei n.º 9/2007), tal como consagrado na política europeia sobre o mesmo assunto.

1.2. Revisão de Literatura

A exposição ao ruído nos meios de transporte tem sido estudada pela comunidade científica desde os anos 50. Como exemplo, Northwood (1954), que no contexto de uma população crescente nos grandes centros urbanos do Canadá e a procura elevada dos transportes em massa, especificamente em Toronto, manifestou preocupação científica sobre o ruído emitido pelas carruagens de acordo com o tipo de travão utilizado, em comparação com as sapatas de travão britânicas. Após 63 anos deste estudo, Yao *et al.*, (2017) manifestou preocupação científica sobre a potencial perda auditiva induzida pela exposição ao ruído destes mesmos transportes. O estudo desenvolveu medições em estações e plataformas obtendo níveis médios em dB (A), que se situavam nos 79,8 dB(A) +/- 4 dB(A). Assim, concluindo que em 2017 os níveis encontravam-se dentro do recomendado, entretanto, “rajadas intermitentes cumulativas de ruído impulsivo colocam os indivíduos em riscos de perda auditiva induzida”, com relação a pico de ruído.

Mostafa & Aly (2004) seguiram a mesma linha de investigação de Northwood (1954), desenvolveram medições no metro de Cairo, capital do Egito. O estudo resultou das queixas dos utilizadores do metro de Cairo que se queixavam dos altos níveis de ruído emitidos pela unidade de transporte público que circulam nos túneis, especialmente nos momentos de curvas e durante a travagem. O estudo consistiu em recolher dados de exposição do ruído (medições) dentro das carruagens. Os autores concluíram que o ruído é significativo dentro das unidades dos comboios e que poderiam ser atenuados até 25 dB(A) se instaladas e utilizadas de forma correta as janelas à prova de ruído. Contudo, nas plataformas das estações o estudo atribui o alto grau de incomodidade dos utilizadores às reflexões das ondas sonoras nas paredes, este ruído tem origem na ação de travões na paragem das carruagens (desaceleração), para além do formato dos túneis e revestimento em ladrilho cerâmico liso, muito refletor das ondas sonoras.

No metropolitano de Madrid (Espanha) também ocorreram medições de ruído realizados por Tabacchi *et al.*, (2011), que abordou a metodologia de avaliação do ruído de deslocamento e a contribuição deste para a exposição total ao ruído diário. Esta publicação objetivou quantificar “valores que desempenham papel importante quanto a avaliação que relacionada a dose de ruído e a resposta na saúde do trabalhador, ou seja, a importância da avaliação na exposição não ocupacional dos indivíduos” no Metro de Madrid. Os autores concluíram que “a exposição ao ruído de deslocação não ocupacional pode afetar consideravelmente a dose de exposição de um trabalhador”.

Garbala & Agustina (2015) avaliaram a potencial perda auditiva induzida por ruído causada pelo deslocamento no metropolitano de Londres/ Inglaterra, através de medições nas carruagens e estações. Esta análise mostrou que o ruído de deslocamento por conta própria não produziu mudanças significativas no limiar de audição, e que estas viagens não excederam os níveis estabelecidos pela legislação em vigor em Inglaterra, na altura da publicação deste estudo. Entretanto, constataram que a exposição ao ruído de deslocação contribuiu significativamente para a exposição ao ruído ocupacional, concluindo que ignorar o ruído de deslocação acumulado nas viagens ao trabalho, por exemplo, pode levar a subestimação da exposição dos funcionários ao ruído, impactando assim, nos cálculos de segurança e saúde do trabalho.

Em Nápoles (Itália) Berardi *et al.* (2015), investigaram quatro estações do metropolitano local, nas quais encontrava-se um tipo de galeria de arte, em que os visitantes e passageiros poderiam apreciar exposições sazonais. Após o estudo, identificou-se que a reverberação das ondas sonoras são particularmente longa, e que por vezes os sinais de alertas são impercetíveis e não audíveis por serem abafados pelo ruído na linha férrea, relatando na conclusão a preocupação com o estado dos trabalhadores das estações e passageiros, pois os resultados foram alarmantes em termos de segurança e saúde dos expostos.

Han *et al.* (2016), avaliou o conforto térmico, luminoso e acústico, através de questionário e investigação por medição em seis estações do metropolitano de Seul, na Coreia do Sul. Os questionários revelaram que os passageiros se incomodavam com o ruído que foram expostos, mas que após

algum tempo deixavam de perceber o grau de incomodidade que se encontravam.

Sun & Zhang (2016) publicaram uma análise sobre a incomodidade induzida por vibração estrutural e ruído ambiente nas carruagens de comboios, através de função de distribuição normal avaliaram a vibração estruturais causado pelo ruído e o grau de incomodidade em níveis pré-estabelecidos. O artigo publicado na China, constatou que os modelos matemáticos propostos apresentaram ótimo desempenho e concluíram que a maioria dos pontos de medição encontrava-se em uma “faixa razoável” e uma pequena porção dos pontos de medição poderiam gerar experiências adversas, sendo assim, os autores apontaram que estes pontos capazes de gerar incômodo relevante deveriam sofrer intervenções para correção imediata.

Além das publicações mencionadas ao longo deste capítulo, que se aplicam sobre métodos de amostragem e pesquisas científicas em vários lugares do globo, realizaram-se também pesquisas na área de equipamentos de forma a avaliar materiais e instrumentos a serem aplicados em monitorização do ruído ambiente.

Murphy *et al.* (2015), desenvolveram testes e pesquisas em sete aplicações de *smartphones* com o objetivo de medir o ruído ambiente. Os mesmos compararam os dados gerados destas aplicações com dados obtidos por medidor de nível de som calibrado e homologado (sonómetro). Em resumo, esta publicação definiu em termos de diferencial médio, que os aplicações de medição de ruído ambiente que utilizam plataforma iOS (marca Apple) apresentaram melhor desempenho em comparação com os *smartphones* que utilizavam a plataforma Android, para além disso, os resultados apontam para uma aplicação específica, SPLnFFT (iOS), como a aplicação de melhor desempenho. Além de resultados de desempenho classificados como bom e com interface operacional que julgaram fácil e intuitiva.

Um segundo estudo testou aplicações e *smartphone* de forma semelhante. Kardous e Shaw (2014) testaram sessenta e dois aplicações para Android e quatro para iOS em nove marcas de *smartphones*. A metodologia apresentada nesta publicação é semelhante à publicação referenciada anteriormente, partilhando o mesmo objetivo. Em conclusão os autores

constataram que “aplicações de medição de som para *smartphones* da Apple, podem ser considerados precisos e confiáveis para serem usados para avaliar as exposições ao ruído”. Os aparelhos do modelo iphone 4s mostraram consistentes resultados juntamente com a aplicação SPLnFFT. A publicação também explicou que há melhoria nos resultados com a utilização de microfone externo, pois os microfones internos estão sujeitos a desgaste de utilização e são difíceis de calibrar.

O ruído ambiente nos transportes de passageiros é um tema importante e atual não só para a comunidade científica, como para o estado e para a sociedade em geral, pois trata-se de um problema de saúde pública subvalorizada pelas autoridades.

1.3. Objetivos

A presente dissertação tem por objetivo verificar a exposição ao ruído dos passageiros no Metropolitano de Lisboa, em que são vulgares as deslocações pendulares (uma viagem de ida mais uma viagem de volta) com foco nos níveis de exposição, intensidade sonora e tempo de exposição ao ruído. Utilizando para tal verificação, equipamentos de fácil aquisição e acessíveis à população em geral (como os *smartphones*), não limitando assim a aparelhos com custos excessivos e que necessitam de conhecimento especializado para a sua utilização.

Posteriormente os resultados foram analisados a partir da contabilização dessas medidas face à legislação. E através dos resultados, verificou-se a exposição ao ruído em viagens quotidianas (exposições não ocupacionais) que apresentavam valores relevantes para ser levada em consideração quando contabilização da exposição total diária ao ruído dos trabalhadores.

1.4. Estrutura

O presente trabalho encontra-se dividido em nove capítulos, referência e anexos, em que o primeiro capítulo trata da introdução ao tema do trabalho

desenvolvido quanto ao contexto do tema no cenário atual português, europeu e mundial, revisão de literatura e objetivos do trabalho desenvolvido.

Seguido pelo segundo capítulo que aborda os conceitos e definições necessárias para o tratamento do tema em questão, como por exemplo, a definição de níveis sonoros, intensidade sonora, curvas de ponderação, critérios de incomodidade e dose de exposição ao ruído.

O terceiro capítulo fala acerca da legislação e regulamentação sobre o ruído ambiente.

O quarto capítulo aborda os efeitos do ruído na saúde humana. O quinto capítulo refere-se a evolução histórica do Metropolitano de Lisboa, assim como a caracterização da rede fixa e móvel, além da caracterização do fluxo de utilizadores do metro como transporte quotidiano.

O sexto capítulo apresenta os equipamentos e métodos utilizados no trabalho como todo, principalmente em termos de calibração, utilização dos materiais, metodologia aplicada para recolha de dados, planeamento das medições, procedimentos, amostragem e parâmetros de análise.

O sétimo capítulo discorre sobre os resultados obtidos nas medições em questão, ordenados por etapa de procedimento, além de breve análise dos resultados obtidos por etapa.

O oitavo capítulo trata dos resultados obtidos neste estudo comparando-os com estudos semelhantes evidenciados no primeiro capítulo.

No nono e último capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho e as sugestões para trabalhos futuros.

As referências e anexos são expostos no fim do estudo em questão.

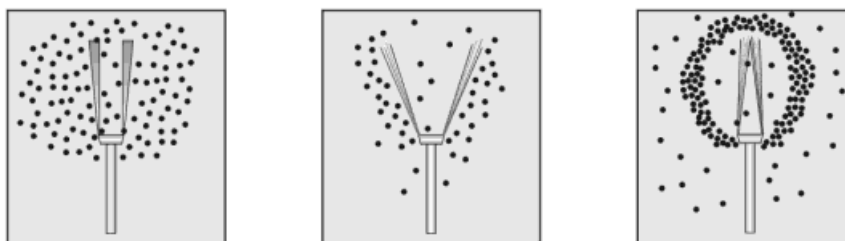
No âmbito deste trabalho foi apresentado uma comunicação oral intitulada de 'Exposição dos passageiros ao ruído no metro de Lisboa' no XI Congresso Ibérico de Acústica/ Tecniacústica 2020, que ocorreu entre os dias 21 e 23 de outubro de 2020 (Anexo 1), (congresso virtual).

2.

Conceitos e Definições

O som é uma onda mecânica gerada por variações de pressão em meio elástico. Quando uma fonte sonora vibra, provoca variações de pressão no meio ambiente que se sobrepõem à pressão atmosférica. De forma prática, o som ocorre quando há uma ação mecânica que movimenta as partículas do ar, gerando locais de compressão e rarefação entre elas (APA, 2018).

Conforme pode ser observado na Figura 1, uma estrutura vibrante (responsável pela ação mecânica) gera movimentos cíclicos agitando as partículas do ar ao redor da estrutura que vibra, resultando em concentrações densas seguidas de concentrações menos densas. Formando assim, as ondas sonoras



(Bistafa, 2018).

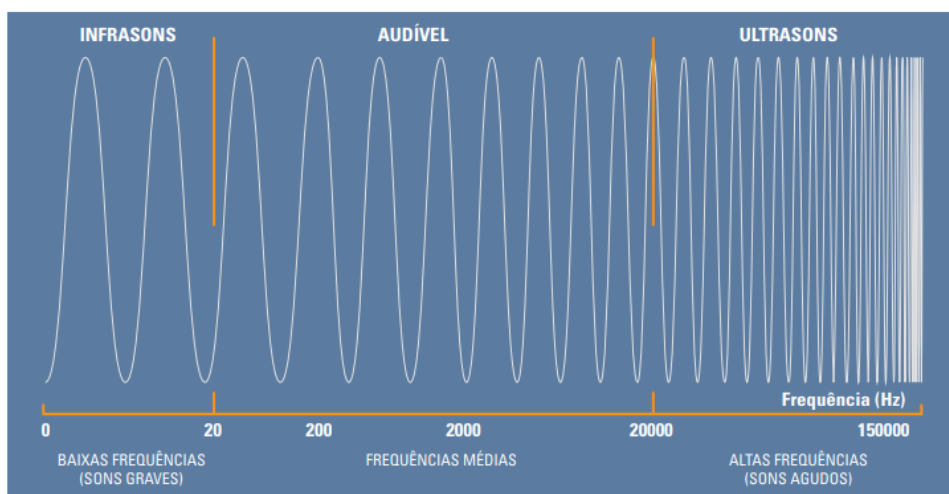
Figura 1 - Disposição das partículas do ar durante o movimento vibratório

Esta variação consiste na compressão e expansão das moléculas dos componentes do ar, anteriormente em repouso, induzidas pelo movimento de um corpo. (Lorenzi & Chaix, 2016). A forma desta onda pode ser observada na Figura 4, para uma excitação harmónica.

O ruído é definido como um som, porém desagradável ou indesejável, caracterizado em 'nível de pressão sonora', considerando a pressão sonora como a diferença entre a pressão do ambiente e a pressão atmosférica (APA, 2004).

A frequência do som é o número de ciclos por segundo de um movimento periódico. Quanto mais rápido vibrarem as partículas, mais alta será a frequência. A gama de frequências dos sons audíveis (Figura 2 e 3) varia entre 20 Hz e 20.000 Hz (APA, 2009), entretanto isto pode variar de pessoa para pessoa. Frequências abaixo de 20 Hz identificam-se os infrassons e acima de 20.000 Hz encontram-se os ultrassons.

A figura 2 abaixo, evidencia a frequência no eixo Y e o tempo no eixo X, considerando que a imagem mostra essencialmente o comportamento do som em baixa frequência, frequências médias e altas frequências.



(APA, 2004).

Figura 2 - Frequência em Hz de sons audíveis, infrassons e ultrassons



(APA, 2004).

Figura 3 - Variação de pressão ambiente detetável pelo sistema auditivo

Como já explanado, o ruído é definido como 'um som indesejável de conotação negativa', no entanto, este pode transmitir informações úteis mesmo gerando algum tipo de desconforto, por exemplo, sons de informação como o sinal de voz que anuncia a próxima estação dentro da carruagem do metro.

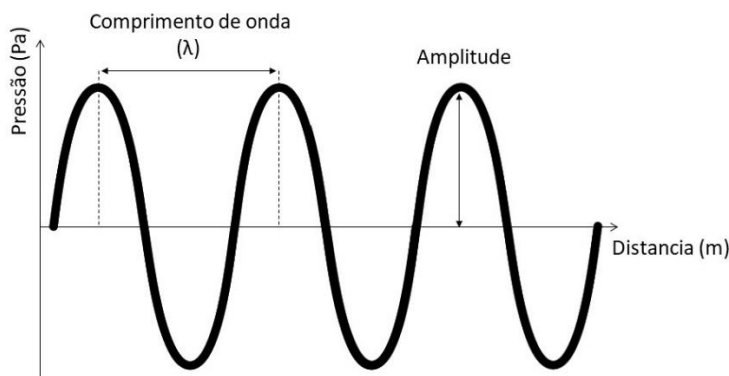


Figura 4 – Comprimento e forma de onda senoidal simples

O exemplo de som desconfortável mencionado no parágrafo anterior (anúncio do metro), é um tipo de ruído audível e facilmente identificável. Entretanto nem todos os sons incómodos podem ser percebidos com clareza. Por exemplo, sons mais próximos a limiar de audição, ou seja, som com frequência próxima ou igual a 20 Hz, podem ser tão prejudiciais quanto o ruído que causa incómodo imediato (Figura 3). Murphy & King (2014) definem este tipo de ruído como ‘ruído baixo’ ou *Low Frequency Noise* (LFN) e apontam que exposição prolongada a este tipo de ruído é diretamente associada a mal-estar, perturbação do sono, fadiga e mau humor. Assim, a sensação de desconforto auditivo está dependente da frequência.

Tontechnik Rechner (2021), ressalta que a velocidade de propagação do som (em meio gasoso ideal), depende diretamente da temperatura do ar, sendo este um parâmetro associado ao meio em que este é gerado. Conforme Equação 3.1, que relaciona a velocidade do som (c) e a temperatura do ar (ϑ), considerando que $C_0 = 331,3$ m/s à 0°C (velocidade do som no ar seco à 0°C), conforme Equação 3.1.

$$c \approx 331,3 + (0,6 \cdot \vartheta) \quad (3.1)$$

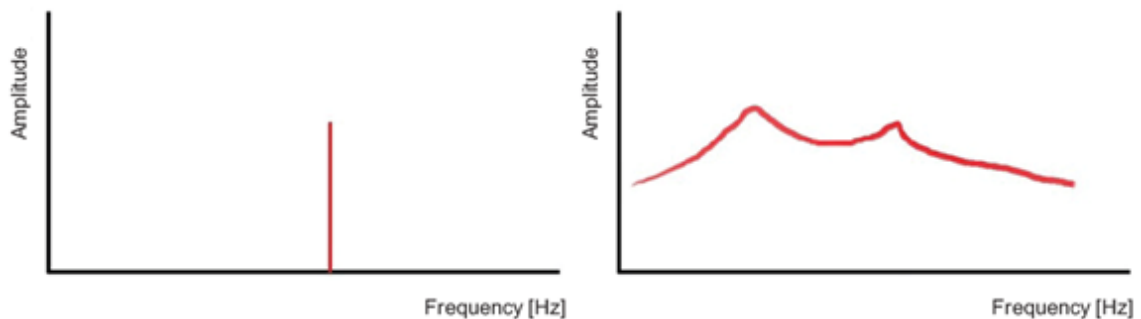
Murphy e King (2014) enfatizam que a velocidade de propagação do som (c) relaciona-se com o período de tempo de oscilação da onda entre os pontos máximos de amplitude (T), o comprimento de onda (λ) e a frequência do som (f), dado a Equação 3.2 e 3.3 (Figura 4).

$$c = \lambda/T \quad (3.2)$$

$$f = 1/T \quad (3.3)$$

Sendo assim, quanto maior o comprimento de onda, menor será a frequência, ou seja, ambos são inversamente proporcionais.

Vale ressaltar que o ruído não é composto apenas por uma frequência, estes sons são compostos por uma gama de frequências diferentes como pode ser observado na Figura 5.



(Murphy & King, 2014).

Figura 5 – Exemplo de variação de frequências sonoras, sendo Sinusoide (esquerda) e ruído genérico (direita)..

2.1. Níveis sonoros

Murphy e King (2014) define o nível de pressão sonora como uma medida de som expresso em decibéis (em escala logarítmica) resultante do rácio entre as diferenças de pressão.

APA (2004) refere que a diferença entre as pressões do ar e ambiente é obtida através da equação de nível de pressão sonora, dada pela Equação 3.4.

$$L_p = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \cdot \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad (3.4)$$

Em que:

L_p – nível de pressão sonora (dB);

p – pressão sonora (Pa);

p_0 – pressão sonora limiar mínima de audição humana (20×10^{-6} Pa).

O nível de pressão sonora é representado por 'L' no RGR, por ' L_{Aeq} ' na NP ISO 1996-1:2019 e APA (2020) que define este indicador como 'nível sonoro contínuo equivalente, em dB, determinado durante um período de tempo'. Todos os resultados devem ser ponderados A (vide capítulo 3.2 – Curvas de ponderação).

O Regulamento Geral do Ruído (Decreto-Lei nº 9/2007) descreve o indicador de ruído (L) como 'o parâmetro físico-matemático para a descrição do ruído ambiente que tenha uma relação com um efeito prejudicial na saúde ou no bem-estar humano', que condiz com a diretrizes da OMS e ISO.

Desta forma, contabiliza-se o nível de pressão sonora para se obter a média de exposição diária ao ruído. O Decreto-Lei nº 182/2006, que apresenta as orientações mínimas de segurança e saúde respetivamente à exposição pessoal diária de um trabalhador. Este é denominado por ' $L_{EX,8h}$ ' deve ser calculado pela Equação 3.5.

$$L_{EX,8h} = 10 \cdot \log \left[\frac{\sum_{k=1}^{k=n} T_k 10^{(L_{Aeq,TK})/10}}{8} \right] \quad (3.5)$$

Em que:

T_k – tempo de exposição;

$L_{Aeq,TK}$ – nível de pressão sonora equivalente a T_k ;

Considera-se que o ' $L_{EX,8h}$ ' equivale a média logarítmica (em dB) de exposição ao ruído de um trabalhador cuja carga horária diária equivale a oito horas.

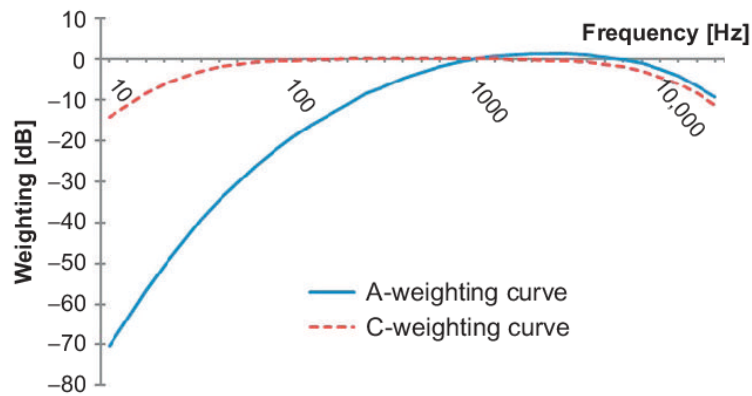
2.2. Curvas de ponderação

Sabe-se que o aparelho auditivo humano tende a não perceber sons com frequências mais baixas com a mesma intensidade. Desta forma, utiliza-se o sistema de ponderação para tentar replicar o desempenho do ouvido humano. A curva de ponderação A, segue o padrão de 40 Phon (estudo desenvolvido por Fletcher e Munson em 1993) que mostra uma correlação aceitável quanto a resposta do sistema auditivo humano em diferentes fontes de ruído (Murphy & King, 2014).

APA (2014) refere que o nível de pressão sonora deve ser ponderado por um coeficiente de acordo com a necessidade. As curvas mais utilizadas em avaliações de ruído ambiente são as curvas de ponderação A e C (Figura 6).

A curva de ponderação A é a mais utilizada nas normativas e legislações quanto ao ruído ambiente pois esta ponderação atribui um tipo de filtro nas frequências médias (Figura 6), ou seja, em frequências de som audíveis (Figura 2). A curva de ponderação C é um filtro com um tipo de sensibilidade maior que contempla as frequências mais baixas e mais altas, sendo assim esta ponderação é aplicada quando se trata por exemplo de um ruído impulsivo (pico de ruído, L_{pico}) ou em situações de níveis elevados de ruído, como por exemplo, o ruído de aeronaves junto a aeroportos.

O Loudness é uma forma de medir a pressão sonora relacionada a intensidade e frequência de um determinado som em uma unidade denominada Phon. Este é utilizado para medir a impressão subjetiva da intensidade sonora, utilizando-se da ponderação A que segue a curva de 40 Phon. A ponderação C segue a curva de 100 Phon sendo considerada uma curva de frequência mais plana e por este motivo é frequentemente usada para medir picos de ruído (Murphy & King, 2014).



(Murphy & King, 2014).

Figura 6 – Amplitude das coeficientes de ponderação A e C.

“A ponderação em frequência usando o filtro A é geralmente utilizada para avaliar o som emitido por todo o tipo de fontes sonoras excetuando os sons impulsivos de elevada energia ou os sons com conteúdo de baixa frequência significativo” (NP ISO 1996-1:2019).

2.3. Critério de incomodidade e Dose de exposição

Incómodo, do latim *incommodus*, significa desvantajoso e importuno, algo que estorva ou embaraça, adjetivo de não cômodo, substantivo masculino de canseira, fadiga, transtorno ou até mal-estar (Priberam, 2020).

A incomodidade é o resultado comportamental de um indivíduo ou grupo, em reação a uma alteração (neste caso) sonora incômoda, que gera desconforto. Esta alteração de som é tornada consciente a nível individual por alterações no sistema auditivo humano. Na avaliação da incomodidade, os critérios a utilizar empregam indicadores energéticos que quantificam a energia sonora “acumulada” pelos seres humanos, devido aos eventos sonoros e de uma maneira independente da distribuição temporal da ocorrência dos mesmos (Coelho e Ferreira, 2009).

O anexo I do RGR indica os parâmetros para a aplicação do critério de incomodidade, avaliando as características tonais ou impulsos do ruído a ser analisado, fazendo correlação entre os componentes identificados.

APA (2004) refere que os critérios de incomodidade seguem primordialmente “a diferença entre ‘L’ ruído ambiente, determinado durante a ocorrência do ruído e o valor do ‘L’ ruído de fundo, não deve exceder 5 dB (A) no período diurno e de 3 dB (A) no período noturno”.

Coelho e Ferreira (2009) reiteram que o grau de incómodo percebido pelo aparelho auditivo humano é relacionado com o nível sonoro através de relações dose-resposta ou dose de exposição. Embora as populações urbanas estejam expostas a diversas fontes de ruído, a incidência principal é no ruído gerado pelos meios de transporte. No caso do ruído gerado por tráfego dos vários modos de transporte, é plausível a prática da utilização de um modelo matemático da distribuição da incomodidade que melhor se ajuste às medições do ruído ambiente. Esta estratégia de aplicação de correlação com índices métricos para avaliar a incomodidade foi desenvolvida em 1971 pela EPA e atualmente aplicada na NP ISO 1996:2019.

A medida de exposição diária ao ruído depende de fatores como nível de pressão sonora e duração da exposição ao ruído, destinada a ser usada para medir a dose de exposição diária de um trabalhador, por exemplo. Depende desta forma, principalmente da duração do turno de trabalho do mesmo. Sendo assim, entende-se que o trabalhador exposto ao ruído apresenta um percentual de exposição suportável ou admissível equivalente a 100%. A D (dose) é a quantificação ‘consumida’ destes 100% na exposição com duração t_i , ou seja, qual percentual plausível é consumido da exposição máxima de 100% diária. (Castle Group Ltd, 2020), conforme Equação 3.6.

$$D = \frac{100}{T_c} t_i 10 \left(\frac{L_i - L_c}{q} \right) \quad (3.6)$$

Em que:

T_c – Duração do período de trabalho diário (geralmente 8 horas);

t_i – Duração de tempo da exposição em causa;

q – Fator de duplicidade da dose;

L_i – Nível de pressão sonora em causa;

L_c – Limite considerado de acordo com a legislação Europeia e Portuguesa;

Conforme a indicação da NP ISO 1996-1:2019 que diz “a avaliação da incomodidade provocada pelo ruído parece ser melhor concretizada com a adoção do nível sonoro equivalente, corrigido e ponderado A, que se designa por “nível de avaliação”.

3.

Legislação e Regulamentação

A legislação nacional provém das directivas europeias 86/662/CEE, 2000/14/CE, 2001/42/CE, 2002/30/CE, 2002/44/CE, 2002/49/CE, 2003/10/CE e 2003/613/CE que estabelecem, avaliam e orientam sobre o ruído, como limitações sonoras de equipamentos, gestão geral do ruído ambiente, regras e restrições do ruído, prescrições mínimas sobre a exposição de trabalhadores ao ruído e vibrações, e métodos de cálculo de ruído.

Sobre a regulamentação do ruído ambiente, primordialmente é necessário mencionar as NP ISO 1996-1:2019 e NP ISO 1996-2:2019, que apresentam a descrição, medições e avaliações do ruído ambiente, sendo a parte 1 correspondente a grandezas fundamentais e métodos de avaliação, e a parte 2, relativa a determinação dos níveis de pressão sonora. A versão anterior desta normativa, a NP ISO 1996:2011, substituiu a NP 1730:1996 sobre “Acústica – Descrição e medição do ruído ambiente”.

O principal documento legal sobre ruído em Portugal é o Regulamento Geral do Ruído (RGR), estabelecido pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 que transpõe a Directiva Europeia DRA nº 2015/996. Assim como a DRA que se destina a avaliar e gerir o ruído ambiente, o RGR objetiva “a prevenção do ruído e o controlo da poluição sonora visando a salvaguarda da saúde humana e o bem-estar das populações”.

Importante ressaltar que a DRA é uma importante ferramenta no âmbito do ruído, pois esta, determina orientações específicas na fonte do ruído de emissão sob transportes públicos gerais (rodoviário, ferroviário e aéreo), assim como em concentração elevada de pessoas e suas exposições relativas. Entretanto, atualmente o RGR apresenta uma amplitude ou abrangência maior que a DRA.

Um dos mais antigos documentos legais de cumprimento nacional utilizado como base fundamental para a aprovação do RGR, é a Lei de Bases do Ambiente, a Lei n.º 11/1987. Esta define as bases da política de ambiente em Portugal, também muito importante para a construção do regime legal na área do ruído e poluição sonora. Após a aprovação desta, foram publicados decretos-lei que abriram caminho para a atual situação legal do ruído em Portugal, como por exemplo, o Decreto-Lei n.º 186/1990, que após dois anos da Lei de Bases do Ambiente complementou as primeiras regras estabelecidas.

Outros documentos legais evidenciam a evolução de como o estado caracteriza o ruído e o monitora, como por exemplo, o Decreto-Lei n.º 291/1990 que estabelece instruções sobre medições no âmbito da acústica, o Decreto-Lei n.º 49/2001 que aprova o regulamento sobre o nível sonoro admissível aos automóveis, o Decreto-Lei n.º 76/2002 que aprova o regulamento sobre o nível sonoro para equipamentos instalados no exterior de edificações em geral, o Decreto-Lei n.º 129/2002 que aprova o regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios e o Decreto-Lei n.º 146/2006 sobre a elaboração de Mapas do Ruído.

Mais especificamente o ruído ocupacional, é abrangido principalmente pelo Decreto-Lei n.º 182/2006 que estabelece as regras sobre a exposição de trabalhadores ao ruído, sendo este último, correspondente “às prescrições mínimas de segurança e de saúde em matéria de exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (ruído)”.

“Os princípios gerais da avaliação de riscos a que estão sujeitas as atividades suscetíveis de apresentar riscos de exposição ao ruído, estão consagrados no art.º 4.º do Decreto-Lei 182/2006. A avaliação feita com base na medição do ruído deverá ser realizada de acordo com o disposto nos Anexos I e II do Decreto-Lei” (Matos, 2018).

Para além disso, o artigo nº 3 (Decreto-Lei 182/2006, estabelece valores limites de exposição com duração de turno de trabalho equivalente a 8 horas diárias, conforme Tabela 1.

Importante apontar que a legislação sobre a exposição de trabalhadores ao ruído, em nada considera as demais exposições referentes ao dia do trabalhador, desprezando assim o impacto acrescido ao trabalho referente

as demais exposições do dia. Por exemplo a exposição nomeadamente da ida e volta ao trabalho por meio de transporte público.

Tabela 1 - Valores limites de exposição ao ruído ocupacional.

Valor limite	$L_{ex,8h}$ - dB(A)	$L_{ex,8h}$ - Pa
Valor limite de exposição (VLE)	87	200
Valor de ação superiores (VAS)	85	140
Valor de ação inferiores (VAI)	80	112

A APA (2020) publicou ‘Guias e Notas Técnicas’ no contexto de “destacar os aspetos determinantes do RGR sobre a NP ISO 1996, de forma a destacar os detalhes os requisitos mínimos quando se recorre à técnica de amostragem. Exemplifica a aplicação da normativa em questão quer em termos de procedimento de medição quer em termos de tratamento e análise de resultados”.

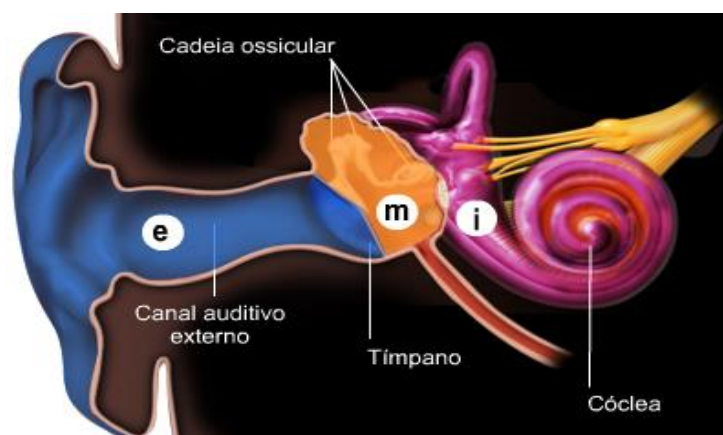
4.

Efeitos do ruído na saúde

Bistafa (2018), descreve o processo de perceção de sons pelo aparelho auditivo humano de forma bastante completa, porém que resumidamente operam da seguinte maneira:

- Geração de som, ou seja, uma fonte gera uma vibração mecânica que por sua vez, gera ondas sonoras que se propagam pelo ar;
- O som que se propaga, é captado pelo aparelho auditivo interno que é recebido primeiramente pelo 'canal auditivo';
- O tímpano e os ossículos vibram gerando ondas de pressão interna que transmite estas ondas ao líquido no interior da cóclea;
- A cóclea codifica o som e transmite por sua vez para o nervo auditivo. O som é transmitido ao cérebro por um sinal elétrico via nervo auditivo, que interpreta estes sinais.

O sistema auditivo humano divide-se em três partes, ouvido externo (indicado por “e” na Figura 7), ouvido médio (indicado por “m” na Figura 7) e ouvido interno (indicado por “i” na Figura 7).

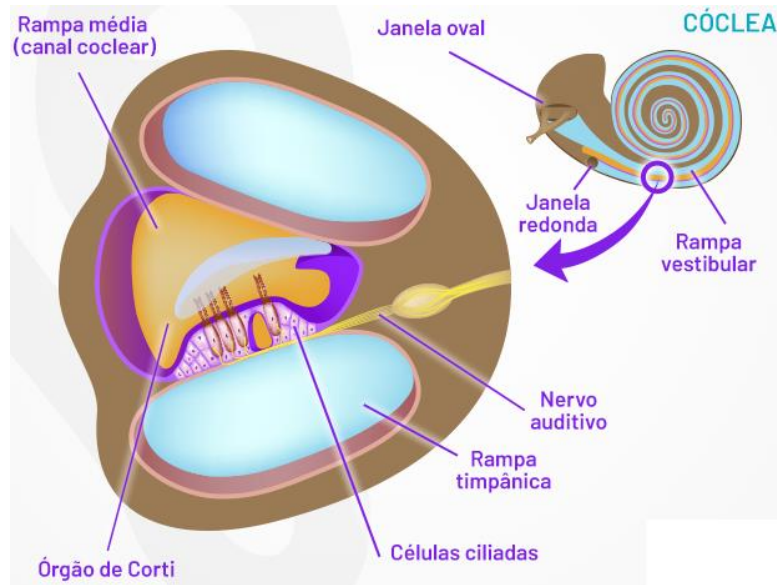


(Pujol, 2016).

Figura 7 – Ouvido externo (e), médio (m) e interno (i).

O ouvido externo é constituído pelo canal auditivo que tem por função transmitir as ondas sonoras para o tímpano. O tímpano essencialmente exerce a função de ‘transferência’ para o ouvido interno através do ouvido médio. O ouvido interno por sua vez é composto principalmente pela cóclea responsável pela transmissão das ondas para o cérebro.

Padilha *et al.* (2007), assegura que lesões em células da cóclea (podem ser células ciliadas externas - CCE, ou células ciliadas internas - CCI) podem ocorrer principalmente por estímulos sonoros excessivos, sendo esta a causa mais frequente e mais letal para as mesmas. O estudo descreve a cóclea (Figura 8) como “o trajeto que as vibrações sonoras percorrem”, onde por sua vez, se localiza o órgão de Corti e dentro deste órgão permanecem as células ciliadas, “que se apresentam como cílios ordenadas em fileira, exercendo a função de codificação sensorial dos estímulos mecânicos a elétricos, seletivamente correspondente à frequência da onda percebida”. Ou seja, por vezes lesões por exposição sonora excessiva ocorrem devido a lesões irreparáveis da cóclea.



(Eauriz,2020)

Figura 8 - Anatomia da cóclea

“Exposições a altos níveis de ruído por longos períodos de tempo podem resultar em perda auditiva primeiro parcial e depois completa (...) O ruído produz efeitos psicofisiológicos, como por exemplo, o stress. Além disso, ainda

pode resultar em elevação do colesterol, triglicérideos e elevação na pressão arterial” (Mostafa & Aly, 2004).

Pao-Chiang Chao *et al.* (2013), atesta que a exposição excessiva ao ruído pode afetar órgãos além da audição. O estímulo excessivo ao sistema nervoso autónomo e a rede nervosa de córtex cerebral leva a um tipo de *stress* extremo, que por sua vez dão origem ao batimento cardíaco acelerado e irregular, aumento considerável na pressão arterial, contração muscular que pode levar até a fadiga e redução da sensibilidade à luz. Além disso, este autor evidencia fatores que determinam diretamente a gravidade da perda auditiva, sendo eles: nível do ruído, o tempo de exposição, as características do ruído e frequência, e a diferença nas características humanas dos expostos como a sensibilidade individual de cada um.

A exposição ao ruído pode produzir consequências com alguma nocividade relacionado ao *stress*, de forma a liberar “catecolaminas que preparam o organismo para reações rápidas”, também pode causar o aumento de tensão arterial (diretamente relacionado a intensidade do ruído), potenciação da aterosclerose (após exposição crónica) e “alteração do funcionamento da estrutura do miocárdio”. Todas as resultantes negativas no organismo humano definem desta forma o ruído como o causador de *stress* excessivo no sistema nervosos autónomo. (Santos & Almeida, 2016).

O Manual de Segurança e Saúde no Trabalho, publicado pelo IGAS (Inspeção Geral das Atividades em Saúde) em 2018 refere que as exposições a níveis elevados de ruído podem produzir além das patologias e alterações fisiológicas como também transtornos psicológicos, por exemplo, ansiedade excessiva, depressão, irritabilidade, náuseas, enxaquecas, cansaço crónico, insónia, assim como alterações repentinas associadas a agressividade e hostilidade.

O organismo humano apresenta diferentes formas de resposta e percepção do ruído dependendo do nível em que este se encontra, em dB(A). Para melhor perceber, a Tabela 2 evidencia alguns destes níveis e como são apresentadas estas respetivas respostas de forma qualitativa quando o organismo humano é exposto a eles.

Tabela 2 - Níveis de som, efeito e percepção no corpo humano.

Nível de ruído - dB(A)	Resposta qualitativa
140	Dor no aparelho auditivo, incomodidade extrema
120 – 130	Esforço vocal máximo em resposta
110	Percepção de som extremamente alto e incomodidade alta
100	Percepção de ruído muito alto e incomodidade moderada
90	Dano auditivo que gera irritabilidade
80	Gera irritabilidade
70	O uso de telemóvel se torna difícil
50 – 60	Agradável
30 – 40	Ambiente considerado quieto em relação a ruído
10 – 20	Ruído apenas audível
0	Nível em que a audição inicia

(Noise Pollution Clearinghouse, 2018)

A OMS (2018) indica o ruído ambiente como um dos principais riscos atuais à saúde física e mental de populações urbanas. A publicação afirma que pessoas expostas a longo prazo a altos níveis de ruído demonstram sofrimento psicológico e fisiológico, bem como ‘distúrbios da homeostase’, que significa que o corpo perde a sinergia ou equilíbrio de funcionamento, gerando instabilidade nos processos fisiológicos do corpo humano, como por exemplo, alteração na temperatura corporal, aumento no volume de líquidos, arritmia cardíaca, dentre outros. Entre as doenças mais perigosas provocadas por tal exposição, a publicação evidencia: “doenças cardiovasculares, comprometimento cognitivo em crianças, distúrbios do sono, doenças auditivas, zumbido e aborrecimento” assim como diminuição da qualidade de vida, bem-estar e saúde mental, quando a exposições acima de 55 dB (A) se torna constante e frequente.

5.

Evolução histórica do Metropolitano de Lisboa (ML)

A história da criação e evolução do Metropolitano de Lisboa (ML) pode ser encontrada nos sucessivos Relatório de Contas do ML. O mais recente, destes documentos, publicado em 2019 indica que esta infraestrutura de transporte é uma das mais importantes da capital e do país, devido ao número de passageiros que a utilizam.

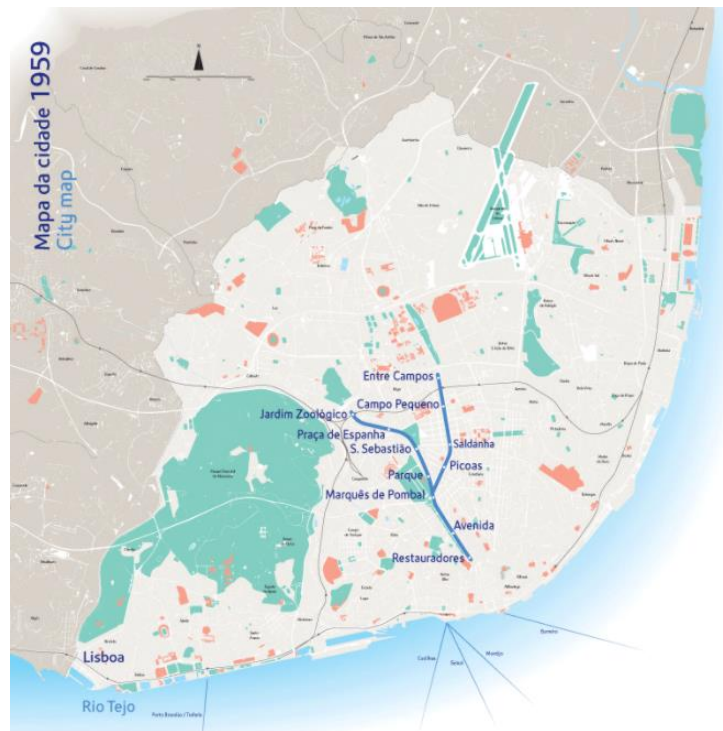
A fundação do Metropolitano de Lisboa ocorreu em 26 de janeiro de 1948 e a construção da rede foi iniciada em 1955. Em 29 de dezembro de 1959 foi inaugurado e aberto ao público. A rede inicial era composta por 6,5 km de extensão e onze estações: Restauradores, Avenida, Marquês de Pombal (Rotunda), Parque, São Sebastião, Praça de Espanha (Pavilhã), Jardim Zoológico (Sete Rios), Picoas, Saldanha, Campo Pequeno e Entre Campos, todas faziam parte de uma única linha (Figura 9).

Em 1963 deu-se a construção do troço que compõe as estações Restauradores e Rossio, 3 anos depois (em 1966) fez-se o trecho que liga as estações Rossio e Anjos. Durante 15 anos (ente 1972 e 1987) não foram executadas expansões na rede.

Acompanhando o crescimento populacional e económico da capital Lisboaeta, em 1988, iniciou-se as atividades das estações: Colégio Militar/Luz, Laranjeiras, Alto dos Moinhos e Cidade Universitária. Posteriormente, em 1993 ocorreu a abertura da estação Campo Grande.

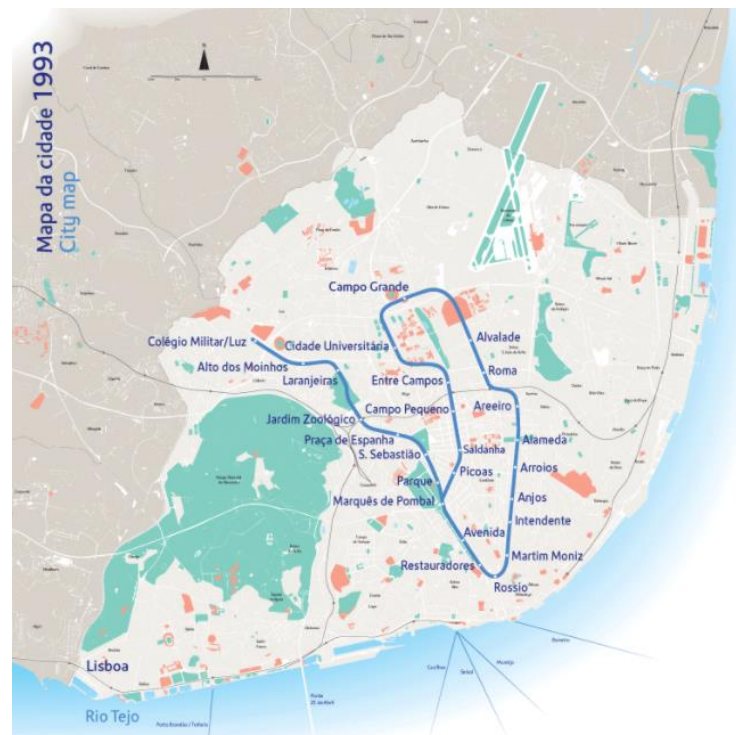
Entre 1995 e 1997 foram feitas obras na estação Rotunda (atual Marquês de Pombal) e Linha Azul (como na Figura 10). Esta obra consistiu em ‘desunificar’ a única linha até então. A resultar assim com um novo circuito de

carruagens que foi nomeado de Linha Amarela. Nesta mesma altura iniciou-se as atividades das estações de Carnide e Pontinha, que se concretizou antes da obra chamada de ‘desconexão do “y” da Rotunda’.



(Metropolitano de Lisboa E.P.E, 2020)

Figura 9 - Caracterização do ML no ano de inauguração, 1959.



(Metropolitano de Lisboa E.P.E, 2020)

Figura 10 - Expansões das linhas do Metropolitano de Lisboa, até 1993

No ano seguinte foram inauguradas as estações Cais do Sodré e Baixa Chiado, em 1998. Neste mesmo, no âmbito da Expo 98 (Figura 11) concluiu-se as intervenções (obras) da Linha Vermelha, que integrou a ligação da estação Alameda à estação Oriente: Alameda, Olaias, Bela Vista, Chelas, Cabo Ruivo e Oriente.



(Metropolitano de Lisboa E.P.E, 2020)

Figura 11 – Ampliações e modificações das linhas do ML em 1998.

Apenas em 2 anos de ampliações (entre 2002 e 2004), 8 estações iniciaram suas atividades no Metropolitano de Lisboa. No relatório de contas publicado em 2018, a empresa descreve este período como um marco na história da mobilidade urbana na capital portuguesa. De forma que, pela primeira vez o transporte ferroviário atingiu os limites do concelho de Lisboa, sendo inaugurado as estações e ampliações: Telheiras, Quinta das Conchas, Lumiar, Ameixoeira, Senhor Roubado e Odivelas, além de Alfovelos e Amadora Este. E em 2007 ocorreu a inauguração das estações: Terreiro do Paço e Santa Apolónia (Figura 12).



(Metropolitano de Lisboa E.P.E, 2020)

Figura 12 – Caracterização do Metro Lisboa em 2007

Em 2009 ocorreram mudanças na composição da entidade organizacional do ML, originando o atual 'Metropolitano de Lisboa E. P. E.' (entidade pública empresarial), ou seja, com integração direta do Estado.

No mesmo ano, para além da inclusão do poder do estado na entidade ML também foram abertas ao público duas novas expansões na Linha Vermelha: São Sebastião (que já recebia a Linha Azul e que a partir deste momento também receberia a Linha Vermelha) e Saldanha (que já servia a Linha Amarela, expandindo a ligação entre as Linhas Amarela e Vermelha).

Por fim, em relação as expansões diretas de linha (desconsiderando os lançamentos e melhorias de tickets, cartões ou postos de atendimento) entre 2012 e 2016 foram instituídas quatro novas estações: Moscavide, Encarnação, Aeroporto e Reboleira, compondo assim o ML em funcionamento atual (Figura 13).



(Metropolitano de Lisboa E.P.E, 2020)

Figura 13 - Diagrama do ML

Conforme é referido no site oficial do Metropolitano de Lisboa, na área 'Investimentos e Projetos na Rede', existem planos de expansão da rede que prevê a ampliação da Linha Amarela entre a atual estação terminal Rato, criando conexão até à estação de Santos, atual estação da linha férrea de Cascais. Para além deste salto de conectividade entre linhas, a entidade também deseja ampliar a ligação entre as estações Rato e Cais do Sodré (atual estação terminal da Linha Verde), criando a estação que será apelidada como Estrela. Este investimento apresenta até ao momento da construção deste trabalho, um orçamento de 210,2 milhões de euros. A ampliação é apresentada no Anexo 2, deste estudo.

Ainda sobre planos futuros do ML, esta entidade publicou em site oficial a previsão de aquisição de 14 novas unidades de comboios orçados em 67,6 milhões de euros.

A empresa ML anunciou recentemente que o sistema de sinalização utilizado atualmente está obsoleto e tem origem na década de 70, o ML planeia o investimento de 68,9 milhões de euros para substituição de todo este sistema de sinalização, para além de algumas obras de acessibilidade nas estações:

Campo Grande, Campo Pequeno, Cidade Universitária, Entre Campos, Jardim Zoológico e Praça de Espanha.

5.1. Caracterização da Rede e da Frota

A rede do Metro de Lisboa tem uma extensão total de 44,5 km sendo constituída por quatro linhas (Azul, Amarela, Verde e Vermelha), que se intersectam entre si. Maioritariamente toda a linha é subterrânea (94,4%) e com apenas 5,6% em viadutos. Seis estações com correspondência entre linhas, ou seja, estações duplas, oito estações fazem correspondência com outro transporte ferroviário (Comboios de Portugal e Fertagus), duas estações fazem ligação com transporte fluvial (Transtejo e Soflusa) e uma estação com transporte aéreo (Aeroporto). A distância média entre estações do ML é de 907,3 m. De forma geral o ML abrange um total de três concelhos: Lisboa, Odivelas e Amadora. (AMT, 2019).

A rede do ML serve a área de Portugal com maior densidade populacional, cerca de 5.500 hab/km² e ainda estima-se que o Metropolitano de Lisboa atenda em média 235 hab/viagem (AMT, 2019).

A frota do ML é composta por 111 unidades de veículo triplo, provenientes de dois principais fabricantes: Sorefame e Siemens. A idade da frota varia entre 19 a 26 anos e apresenta capacidade média de 383 pessoas em pé considerando 2 pessoas/m². As séries de fabrico destas carruagens variam entre ML99, ML97, ML95 e ML90 (Tabela 3) “cuja entrada em serviço de exploração ocorreu entre 1993 e 2002” (Metropolitano de Lisboa, 2019).

Tabela 3 - Caracterização da frota do ML em 2017

Série	Frota	Idade (fabricação)	Capacidade (ocupação)	Fabricante
ML90	18	26	384	Sorefame/ Siemens
ML95	38	22	384	
ML97	18	20	383	
ML99	37	19	383	

(AMT, 2019)

Na Figura 14 é apresentada a evolução do número de carruagens em circulação desde 1988 a 2020.

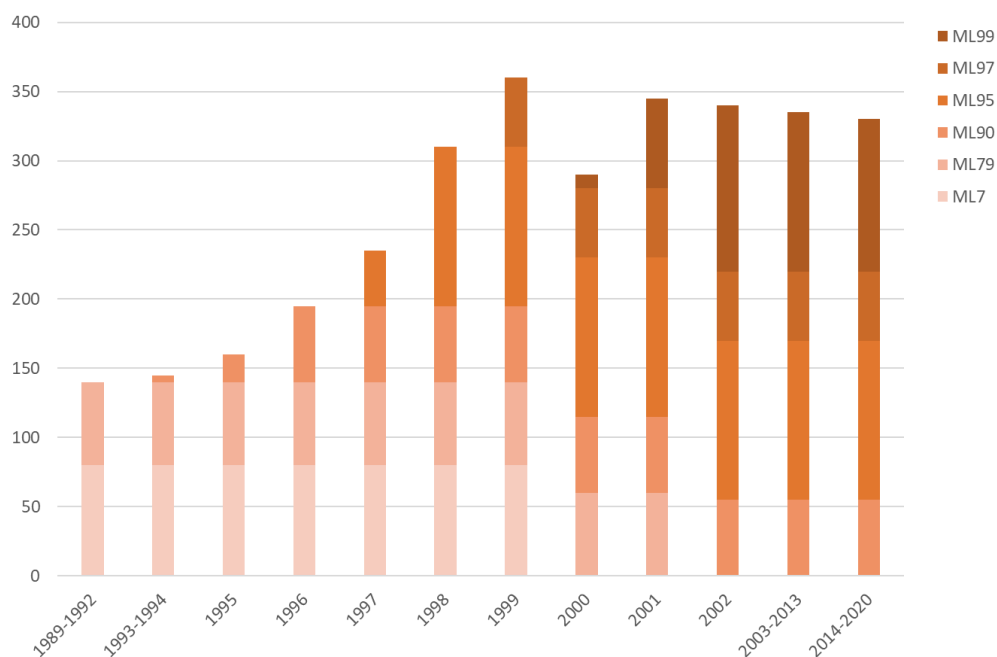


Figura 14 - Evolução da circulação de carruagens no ML (1989 à 2020)

As referências das séries são importantes neste estudo pois através delas torna-se possível encontrar informações sobre o funcionamento de cada modelo circulante atualmente no Metro de Lisboa. Algumas destas informações podem ser observadas na Tabela 4, e as complementares podem ser consultadas no Anexo 3.

Tabela 4 - Informações relevantes séries ML99, ML97, ML95 e ML90.

	ML99	ML97	ML95	ML90
Número de controlo ML	M-601 a M-714	M-501 a M-554	M-301 a M-414	M-201 a M-257
Entrada ao serviço	2000/2002	1999	1997/1999	1993/1996
	<i>Carruagens interligadas por fole.</i>		<i>Carruagens não são interligadas.</i>	

(Trainlogistic, 2017)

A frequência de comboios para cada linha é indicada no site oficial do Metropolitano de Lisboa, estabelecido como tempos médios aproximados (desconsiderando perturbações nas linhas). Estes tempos médios se encontram

no Anexo 4. Entretanto, o resumo do tempo de espera/frequência é apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Frequência dos comboios do ML.

Tempo médio de espera (minutos e segundos)				
	Linha Azul	Linha Amarela	Linha Verde	Linha Vermelha
06h00 - 10h00	5' 21"	5' 10"	6' 12"	7' 52"
10h00 - 16h00	6' 40"	5' 50"	6' 05"	7' 00"
16h00 - 20h00	5' 28"	6' 45"	5' 47"	6' 32"
20h00 - 22h00	7' 53"	7' 52"	7' 55"	7' 55"
22h00 - 01h00	10' 45"	8' 45"	11' 50"	9' 25"

(Metropolitano de Lisboa E.P.E, 2020)

Atualmente o horário de exploração das atividades relacionadas ao ML inicia-se as 06h30 com encerramento as 01h00, todos os dias incluindo fins de semana e feriados.

5.2. Caracterização do Fluxo e Circulação

A AMT (2019) publicou um relatório sobre os Sistemas de Metro de Portugal, onde constam informações recolhidas diretamente nas empresas operadoras e outras fontes oficiais. Em 2017 os metropolitano nacionais (Metro Lisboa, Metro do Porto e Metro do Sul do Tejo) transportaram um total de 235 milhões de passageiros por ano, sendo 69% no Metro de Lisboa.

Conforme dados divulgados pelo AMT (2019) 235 milhões de passageiros por ano utilizaram o ML, Metro do Porto e Metro do Sul Tejo, sendo que 69% deste valor equivale aos utilizadores do Metropolitano de Lisboa. Logo, é o mesmo que dizer que 162 milhões e 150 mil passageiros/ano utilizaram o ML e 13 milhões 512 mil e 500 passageiros/mês utilizaram o ML. Bem como, 450 mil e 417 passageiros/dia utilizaram o ML entre os anos de 2012 a 2017.

O Instituto Nacional de Estatística (2018) publicou os resultados do 'Inquérito à mobilidade nas áreas metropolitanas do Porto e de Lisboa' expondo dados relativamente a mobilidade e funcionalidade do território, fornecendo informações relevantes como, o número de deslocações (por principal meio de transporte). No distrito de Lisboa são 8,9% de residentes que utilizam como

principal meio de transporte o Comboio. Já utilizadores do ML equivalem a 6,3% da população. Viagens entre municípios de Odivelas, Amadora e Lisboa (centro) correspondem acerca de 70 a 85% de todas as deslocações, por dia.

“O conjunto de pessoas que realizaram pelo menos uma viagem por dia na área metropolitana de Lisboa situa-se em 85,1% nos dias úteis e 70,9% nos dias não úteis do total da população residente (Figura 15). Destes, 82,5% população móvel masculina e 78,4% população móvel feminina, as faixas etárias 25 a 44 anos representam 85,1% da população móvel e a faixa etária entre 45 a 64 anos equivale à 83,1% da população móvel, e acima de 65 anos representa 68,9%” (Figura 16) (INE, 2017).



Figura 15 - População móvel por dia da semana e por sexo

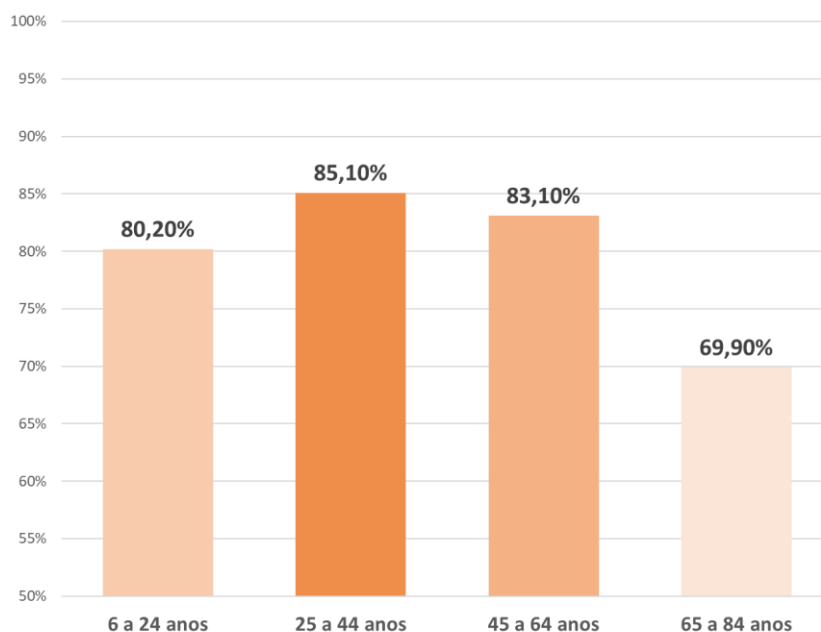
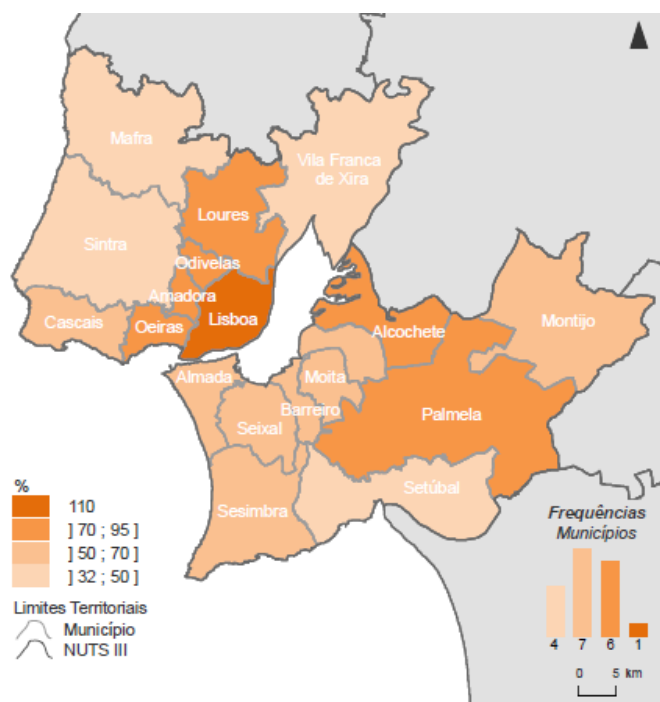


Figura 16 - Proporção de população móvel por faixa etária

Ainda no Relatório do INE (2017) verifica-se que dos 5,4 milhões de deslocações totais por dia a região com maior número destas viagens é Setúbal, com 2,88 deslocações/dia por utilizador. Seguido por Amadora com 2,83 deslocações/dia dos residentes móveis, o que representa mais de 2 viagens por dia por utilizador em transportes coletivos.

Para a área metropolitana de Lisboa (AML) este valor situa-se em 2,6 deslocações/dia. Sendo assim, podemos facilmente perceber que o número de deslocações por dia, em geral, situa-se na casa de 2 viagens por dia por utilizador dos transportes públicos.

A Figura 17 ainda evidencia a percentagem de utilizadores que circulam entre concelhos e suas respetivas frequências intermunicipais, apresentando assim a área metropolitana de Lisboa sendo maior das deslocações totais apresentadas, seguido pelos concelhos de Oeiras, Amadora, Odivelas, Loures, Alcochete e Palmela que representam entre 70 e 95% destas circulações.

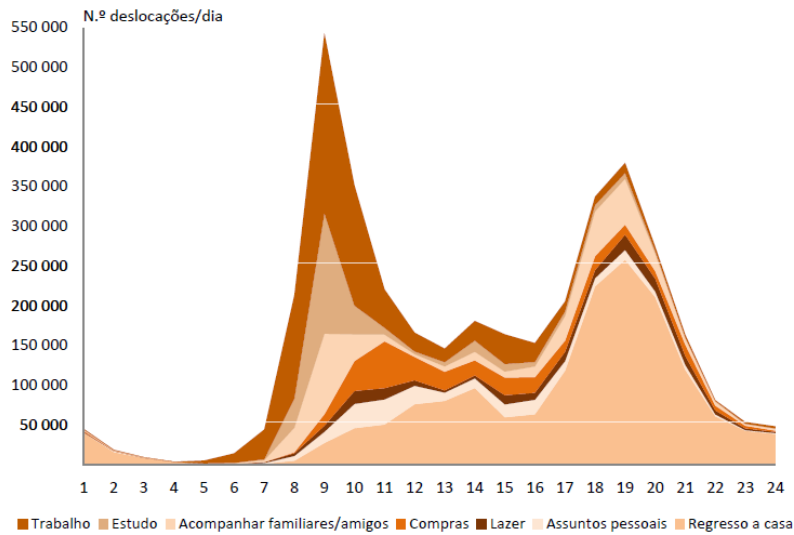


(INE, 2017)

Figura 17 - Deslocações via transporte público entre municípios

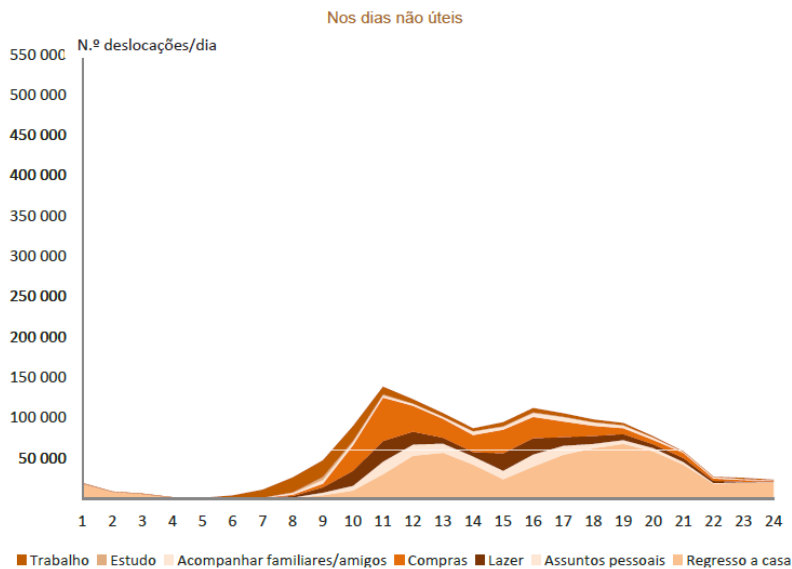
As motivações de tais deslocações são classificadas em: trabalho, compras, acompanhamento familiar, assuntos pessoais, lazer, estudo e outras

atividades (Figuras 18 e 19). Estes dados também revelam os picos de utilização, ou seja, os horários de maior fluxo de pessoas nos dias úteis que se situam entre 7h00 e 11h00 no período da manhã e entre 17h30 e 20h30 no período da tarde e noite. Esta informação é relevante para a implementação da metodologia seguida e apresentada no capítulo 6.3. Métodos e procedimentos.



(INE, 2018)

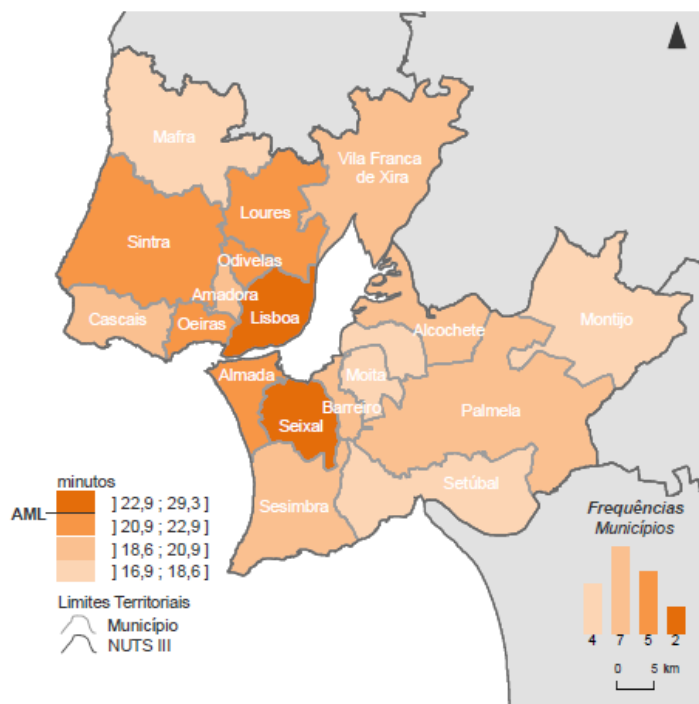
Figura 18 - Deslocamentos diários em Lisboa nos dias úteis



(INE, 2018)

Figura 19 - Deslocamentos diários em Lisboa nos dias não úteis

A média de tempo gasto por viagem em transportes público na capital de Portugal é de 20,1 a 22,9 min (Figura 20) o que se aproxima ao tempo gasto médio de uma viagem de ponta a ponta em qualquer linha do Metropolitano de Lisboa, aproximadamente 22 min em média (Tabela 6).



(INE, 2017)

Figura 20 - Tempo médio de deslocações intermunicipais.

Entretanto, existem variações na duração de tempo de viagem consoante o horário de funcionamento e carruagens disponíveis na linha.

Tabela 6 - Duração de viagem completa nas linhas do ML.

	Estação Inicial/ Terminal	Horário	Duração do percurso
Linha Vermelha	Aeroporto/ São Sebastião	11h45	20 minutos
Linha Verde	Telheiras/ Cais do Sodré	11h45	19 minutos
Linha Amarela	Odivelas/ Rato	11h45	20 minutos
Linha Azul	Reboleira/ Santa Apolónia	11h45	28 minutos

(Metropolitano de Lisboa E.P.E, 2020)

Será importante esclarecer que se entende por uma viagem completa aquela que se inicia numa das pontas de uma determinada linha e transcorre até a última estação da mesma linha, ou seja, é o mesmo que iniciarmos uma viagem

na estação Reboleira, Linha Azul e finalizarmos na estação Santa Apolónia, por exemplo (Figura 13).

6.

Equipamentos e Métodos

6.1. Equipamentos de medição

A norma NP ISO 1996:2019 indica a necessidade de utilização de um sonómetro de modelo homologado pelo IPQ para qualquer monitorização e medição do ruído ambiente. Entretanto, a proposta do estudo (item 1.2. Objetivos) é fazer um tipo de monitorização/medições dentro do quotidiano de um utente de transporte público na sua própria rotina, como no trajeto do trabalho, escola, faculdade ou lazer, utilizando apenas um *smartphone* com aplicação e eventualmente um microfone externo.

Este estudo enquadra-se ao cenário da capacitação (*empowerment*) do público em geral relativa a medição da sua própria exposição sonora. Ou seja, determina-se não somente os aparelhos e microfones de fácil acesso como também aplicações fiáveis.

Para alcançar este propósito considerou-se os dados resultantes das investigações de Murphy *et al.* (2015) e Kardous & Shaw (2016), definindo assim a aplicação SPLnFFT como ferramenta para medições, pois esta se mostrou eficiente após testado em sistema operativo iOS, juntamente com o microfone Dayton Audio IMM-6. No presente estudo, o equipamento utilizado em conjunto com a aplicação foi previamente testado e calibrado para assegurar a fiabilidade das medidas (item 6.2, deste estudo).

O microfone de medição Dayton Audio IMM-6 (Figura 21) é considerado pelo fabricante um equipamento profissional de precisão em medições críticas, para uso em aparelhos da marca Apple (entretanto compatível com Android e Windows Phone). Refere que se trata de um microfone de eletrete, apresenta padrão de diretividade omnidirecional com resposta de frequência 18 a 20.000 Hz, sensibilidade a 1 kHz (= 1.000 Hz) e entrada de 3,5 mm.



Figura 21 - Dayton Audio IMM-6.

A aplicação SPLnFFT desenvolvida por Fabien Lefebvre é um medidor de nível de pressão sonora (SPL) que permite medições em dB com ponderação A ou C, capaz de captar até 130 dB. Os dados gerados pela medição podem ser monitorizados em tempo real, através do ecrã do telemóvel. Os valores são gerados em 1/8 de segundo, ou seja, oito medições por segundo seja em modo *FAST* (rápido) ou modo *SLOW* (lento). A medição dB *FAST* tem como tempo de integração 1/8 de segundo e a medição dB *SLOW* tem como tempo de integração um segundo. Estes valores são dependentes do filtro de medição aplicado durante a medição: A ou C.

Em relação a diretos da aplicação, o fabricante afirma que o software foi desenvolvido com a participação de um especialista em processamento de sinal e declara que o mesmo é atualizado regularmente com o objetivo de manter a fiabilidade dos dados e a exatidão.

Conforme o manual de utilizador da aplicação (Figura 22), no início da utilização deve ter-se atenção para alguns procedimentos na geração e exportação dos dados. A princípio deve seleccionar-se a ponderação de frequência, A ou C ou nenhuma, seguido por ligar o microfone externo (quando utilizado) após ser devidamente calibrado juntamente com a aplicação, conforme descrito no mesmo documento de utilização. A exportação dos dados é efetuada para uma conta *Dropbox* previamente configurada na aplicação.



Figura 22 - Interface de utilização da aplicação SPLnFFT.

Para melhor utilização dos telemóveis (gravação de som e medição de ruído) juntamente com o microfone, foi adaptada a alça de uma mochila. Pensando na maneira de se conseguir manter o microfone parado e próximo do ouvido, para tal, aplicamos dois elásticos de suporte diretamente à estrutura interna da alça, dentro um fecho de correr que facilita o acesso a estrutura em questão conforme apresentado na Figura 23. A mochila manteve-se sempre na mesma posição em todas as medições.

Desta forma, excluiu-se a possibilidade de variação por posicionamento do mesmo, ou seja, o microfone se manteve imóvel. Para além disso, a responsável pela recolha de dados devia manter-se com o cabelo preso e sempre atenta a qualquer interferência por contato direto ao microfone. Importante ressaltar que a adaptação na mochila foi modificada de forma a manter o microfone, o mais possível, na linha e direção do ouvido na altura do ombro.



Figura 23 - Adaptações na mochila utilizada para recolha de dados

O fecho de correr teve por objetivo principal a facilidade ao acesso dos elásticos (Figura 23) de forma a possibilitar o conector do microfone ao cabo extensor, e este por sua vez tem saída no final da alça (próximo ao ajuste da alça) correndo diretamente para a entrada de microfone do telemóvel, previamente preparado com a aplicação SPLnFFT. As Figura 24 a 25 evidenciam em visão panorâmica as adaptações e o funcionamento da mochila.



Figura 24 - Posicionamento do microfone na direção do aparelho auditivo

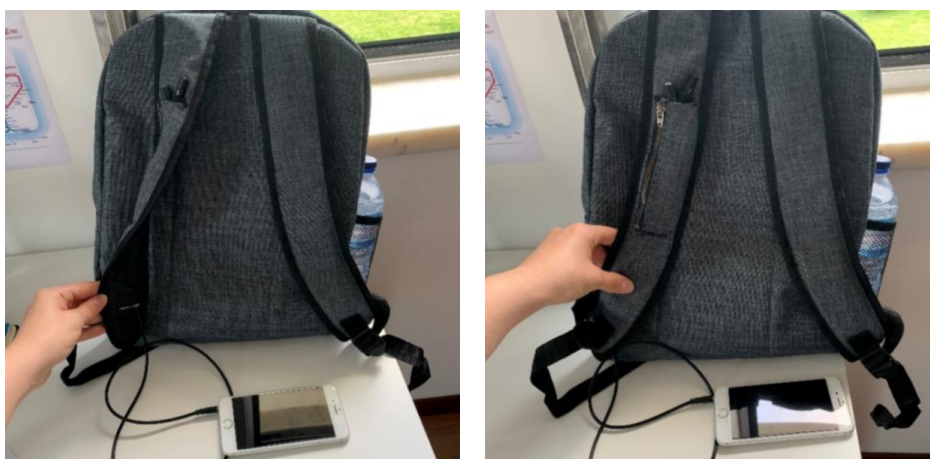


Figura 25 – Equipamentos instalados na mochila de medição

Foram utilizados *smartphone* (Apple Iphone modelos 5 e 6) sempre em modo avião, aplicação SPLnFFT, microfone Dayton Audio IMM-6 e extensão de cabo entre a conexão do *smartphone* e o microfone.

Foi concebido o ‘formulário medições ruído’ (Anexo 5) que tem por objetivo padronizar todas as medições a serem realizadas, desta forma objetiva-

se o controlo na recolha de dados e sistematização dos mesmos, tornando as medições padronizadas e metódicas. Algumas das informações recolhidas foram: o sentido da carruagem na medição, a quantidade total de carruagens do comboio, o horário de início da medição, o modelo da carruagem, o número de pessoas sentadas e em pé, o horário de abertura das portas, horário do aviso de alerta para o fecho das portas, horário do fecho das portas, horário do anúncio das estações, posição exata dentro da carruagem no momento da medição e outras informações relevantes.

Importante ressaltar que a aplicação utilizada para medição (SPLnFFT) gera um arquivo em formato específico que apenas pode ser convertido num computador com sistema aplicação MacOS. Este arquivo é enviado para a 'nuvem' assim que terminamos a recolha de dados e posteriormente estes convertido em ficheiro XLS. A aplicação grava um arquivo de dados para cada dia, ou seja, às 00h01 inicia-se um novo arquivo e o anterior é apagado automaticamente. Desta forma é necessário a especial atenção à recolha dos arquivos gerados no mesmo dia da medição.

A tabela extraída da aplicação gera uma linha de dado para cada oitava de segundo (Figura 26). Em cada linha é indicado a hora, o minuto, o segundo, a oitava de segundo, o valor dB *FAST* e o valor dB *SLOW*. Sendo assim, oito linhas de dado referem-se a um segundo completo de medição (referido no item 7, deste estudo).

	A	B	C	D	E	F
1	Hours	Minutes	Seconds	8ths	FAST	SLOW
266178	9	14	32	0	83,553413	84,713821
266179	9	14	32	1	84,242332	84,516571
266180	9	14	32	2	84,439354	84,471642
266181	9	14	32	3	84,87851	84,352234
266182	9	14	32	4	84,745308	84,352058
266183	9	14	32	5	83,972641	84,2939
266184	9	14	32	6	83,380257	84,23629
266185	9	14	32	7	84,575874	84,161896
266186	9	14	33	0	83,611465	84,25309
266187	9	14	33	1	83,85836	84,259308

Figura 26 – Linhas de dados extraídos do SPLnFFT.

Para além do iphone de medição da pressão sonora, foi utilizado um *smartphone* secundário para gravação do som. Esta gravação inicia-se com a

identificação da medição (horário de início, linha do ML e identificação da estação de origem e destino final) e tem por finalidade a caracterização sonora da medição.

Estes arquivos são gerados em formato m4a, extraídos a partir da nuvem que posteriormente são trabalhados e analisados na aplicação 'Adobe Audition' que permite caracterizar a forma de onda e o espectro sonoro a partir destes sinais.

6.2. Calibração dos equipamentos de medição

A fiabilidade das informações recolhidas nas medições, foram garantidas com base na calibração em laboratório dos equipamentos utilizados nas medições, nomeadamente o microfone Dayton Áudio IMM-6 juntamente com a aplicação SPLnFFT no telemóvel Apple 5s.

As calibrações foram realizadas na câmara anecóica do Instituto Superior Técnico (IST), localizada no subsolo do edifício do Complexo Interdisciplinar. Esta câmara é composta por espumas absorventes em forma triangular que impedem a reflexão das ondas sonoras em qualquer direção, incluindo o piso (Figura 27) e tem uma frequência de corte de cerca de 60 Hz. Desta forma cria-se um ambiente adequado em termos acústicos para os testes e calibração. Importante ressaltar que a câmara anecóica apresentava um nível de ruído de fundo de 18,8 dB(A).

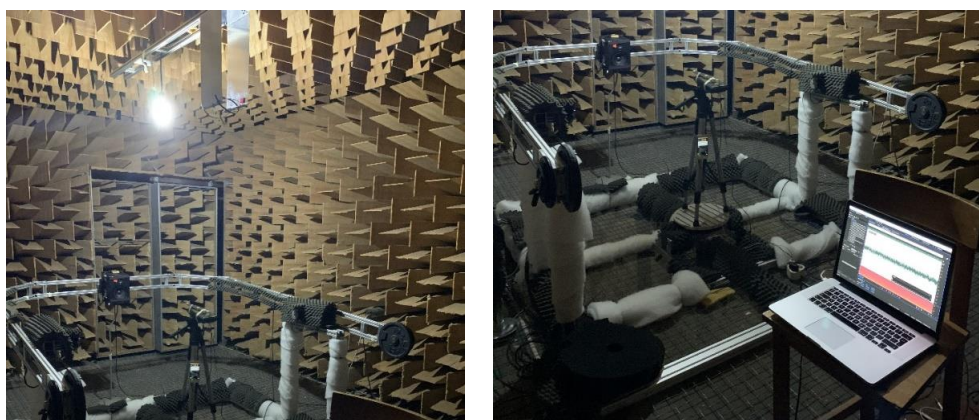


Figura 27 - Câmara Anecóica do Instituto Superior Técnico – IST

Nesta câmara encontra-se atualmente instalado uma estrutura de suporte (Figura 27) para colunas de som acionada por um sistema integrado em um comando de computador. No centro existe uma plataforma giratória (360°) que permite movimentar o posicionamento do microfone e um braço elevatório, que possibilita por sua vez medições em azimute e elevação. Assim, podem realizar-se medições acústicas de diretividade, por exemplo, diagramas polares.

Como equipamento de referência, foi utilizado, um sonómetro da marca Brüel & Kjaer e modelo 2260 Investigator (2012) e um calibrador acústico (SLC) da mesma marca, com modelo type 4230, que produz um nível de pressão sonora igual a 94 dB @ 1.000 Hz. A calibração do sonómetro ocorreu antes de qualquer medição inicial.

Após a devida calibração do sonómetro, que tem por objetivo gerar dados para comparação, foi instalado em um tripé ao equipamento com o sonómetro e o microfone Dayton IMM6 conectado ao telemóvel com a aplicação SPLnFFT aberto e em funcionamento. O microfone e o sonómetro foram instalados de forma a estarem alinhados horizontalmente com a coluna de som que, por sua vez, emite um som controlado, do tipo ruído branco. O microfone Dayton IMM-6 foi posicionado com uma estrutura de suporte sob o sonómetro, também alinhado à coluna de som.

Deve ter-se atenção ao alinhamento horizontal, evidenciando na Figura 28, assim como, o alinhamento vertical que pode ser observado na mesma imagem.

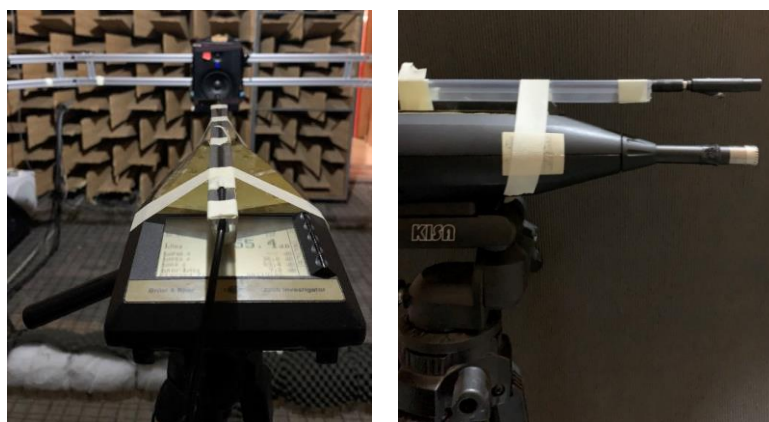


Figura 28 – Alinhamento entre microfone Dayton IMM6 e Sonómetro.

Posteriormente, instalamos o aparelho telemóvel com a aplicação SPLnFFT, fixado no tripé de suporte do sonómetro e conectado diretamente ao microfone Dayton assim como ao carregador (Figura 29).



Figura 29 - Telemóvel e aplicação SPLnFFT nos testes de calibração

Os testes foram realizados com acompanhamento constante de duas pessoas, uma esteve sempre atenta aos níveis medidos pelo sonómetro e a outra pessoa as medidas captadas pelo microfone Dayton e pelo SPLnFFT (no telemóvel). Após o acionamento do sinal de teste, ambos os participantes se posicionam atrás do tripé de medição, a mais de 2 metros de distância. Em seguida ajusta-se o ângulo de captação do ruído (0° , 45° e 90°), é dado o 'start' do sonómetro e aguarda-se a resposta de ambas as medições. As medições foram realizadas para diferentes ângulos de incidência para avaliar o diagrama de diretividade apresentado pelo fabricante do microfone. Inicialmente foram realizadas medições nos ângulos 0° , 10° , 20° , 30° , 45° , 80° e 90° no eixo de rotação da plataforma central. Entretanto foram identificadas variações relevantes apenas em 0° , 45° e 90° estabelecendo assim estes os ângulos como fundamentais para as medições de calibração. Considerando que foram definidos dois níveis de ruído, controlados pelo computador, sendo eles, o nível baixo com 63,6 dB (A) e o nível alto com 72,5 dB (A). Desta forma, para cada nível sonoro obtivemos três valores.

Foram realizadas no total cinco medições, sendo uma experimental (conforme descrito no parágrafo anterior) e outras duas seguindo a mesma

sistemática da medição experimental. Duas medições ocorrem em nível médio com emissões controladas a 63,6 dB(A), e duas em nível alto com emissões a 72,5 dB(A). Os resultados seguem apresentados nas Tabelas 7 e 8.

Tabela 7 - Resultados das medições 1 e 2 de calibração em nível baixo.

Medição	Ângulo	Brüel & Kjaer 2260 Investigator dB(A)	Dayton iMM6 + SPLnFFT dB(A)	Δ dB(A)	% erro
1 ^a	0°	63,6	62,5	- 1,1	1,7
	45°	61,9	61,7	- 0,2	0,3
	90°	59,5	60,0	0,5	0,8
2 ^a	0°	63,6	62,5	- 1,1	1,7
	45°	61,9	61,7	- 0,2	0,3
	90°	59,5	60,1	0,6	1,0

No nível baixo identificamos que a maior variação é a resultante da medição no ângulo de 0° graus no eixo de rotação da plataforma central, com 1,7% de erro. Estas variações de decibéis, diminui consideravelmente (0,9 dB) quando aumenta a distância entre a fonte de ruído e a variação de ângulo no mesmo eixo, partindo de -1,1 dB e chegando a variar positivamente 0,8 dB.

Tabela 8 - Resultados das medições 1 e 2 de calibração em nível alto.

Medição	Ângulo	Brüel & Kjaer 2260 Investigator dB(A)	Dayton iMM6 + SPLnFFT dB(A)	Δ dB(A)	% erro
1 ^a	0°	72,5	71,5	- 1,0	1,3
	45°	70,5	70,5	0,0	0,0
	90°	68,3	69,0	0,7	1,0
2 ^a	0°	72,5	71,5	- 1,0	1,3
	45°	70,5	70,4	- 0,1	0,1
	90°	72,5	71,5	- 1,0	1,3

Nos testes realizados no nível alto de ruído, não foram encontradas diferenças significativas.

Sendo assim, os equipamentos foram dados como adequados e calibrados para as recolhas de dados, tendo em conta a variação máxima de 1,1 dB e percentagem erro máxima igual a 1,7. Ou seja, acredita-se que esta variação é insignificante numa visão geral, onde numa situação real de medição

existem muitos outros condicionantes, nomeadamente variações como: distância entre a fonte emissora do ruído e o microfone de captação, o ângulo do microfone de captação em relação a direção da fonte, o nível de ruído gerado por tal fonte e os obstáculos refletoras das ondas sonoras e os movimentos da pessoa que está a realizar as medições, sendo incontrolláveis e/ou dificilmente identificados no cenário de utilização das carruagens do metro. Assim, não foi feita nenhuma compensação/ajuste dos dados obtidos após medição.

6.3. Método e Procedimentos

6.3.1. Planeamento e Frequência das medições

As medições (recolha de dados) foram realizadas em três etapas, considerando a caracterização do fluxo e circulação no Metropolitano de Lisboa, conforme item 5, deste estudo.

A primeira etapa ocorreu entre julho e agosto de 2020, os meses de férias escolares.

Para a efetiva recolha de dados, estabeleceu-se horários e períodos a partir das informações divulgadas pelo INE, como no capítulo 5.2 (Figuras 18 e 19). Logo determinou-se cinco tipos de medições (Tabela 9).

Tabela 9 - Tipos de medições realizadas.

Medição (tipo)	Horário	Descrição
Fundo (tipo 1)	6h45 às 8h00	Início de funcionamento do ML.
Ponta (tipo 2)	8h15 às 9h30	Maior fluxo de pessoas.
Tarde (tipo 3)	12h00 às 14h00	Período vespertino.
Fim de Semana (tipo 4)	10h00 às 11h00 17h00 às 19h00	Sábado e domingo (período matutino e vespertino).
Estações (tipo 5)	14h00 às 18h00	Estações selecionadas, nos dias úteis.

Além das tipologias das medições é necessário diferenciar as estações do ML em codificações, de forma que se torne possível alocar e identificar mais facilmente as 56 estações totais. Realizando assim o controlo no armazenamento dos dados recolhidos, e ainda, se apropriando de uma forma de gestão adequada para a manipulação das informações sistematizadas.

Conforme publicado no portal oficial do ML (2020), a extensão da Linha Azul mede aproximadamente 13,7 km e é caracterizada por 18 estações (32,1% de todas as estações do ML), sendo esta a linha de maior dimensão dentre as quatro totais. A codificação desta linha pode ser observada na Tabela 10.

Tabela 10 - Codificação das estações pertencente a Linha AZ.

Estação	Código	Conexão
Reboleira	RBL	
Amadora Este	AME	
Alfornelos	ALF	
Pontinha	PNT	
Carnide	CRD	
Colégio Militar/ Luz	CLG	
Alto dos Moinhos	ALT	
Laranjeira	LAJ	
Jardim Zoológico	JRD	
Praça de Espanha	PRÇ	
São Sebastião	SSB	VR
Parque	PRQ	
Marquês de Pombal	MQP	AM
Avenida	AVN	
Restauradores	RST	
Baixa-Chiado	BCH	VD
Terreiro do Paço	TRP	
Santa Apolónia	STA	

A Tabela 6 (capítulo 5.2) indica a duração de uma viagem completa (de ponta a ponta) em todas as linhas. Para aplicação nesta linha a duração média é de 28 minutos.

A Linha Amarela (AM), por sua vez, apresenta aproximadamente 11,1 km de extensão com 13 estações totais (23,2% de todas as estações do ML). Com duração média total de 20 minutos em uma viagem ponta a ponta (Tabela 6). A codificação desta linha consta na Tabela 11.

A Linha Vermelha (VR) apresenta extensão total de 10,5 km (18,7% do ML em 2020), é caracterizada como sendo a menor entre as quatro linhas totais (em termos de extensão) e mais recente linha (em termos de inauguração, conforme capítulo 5). Composta por 12 estações e com duração de 20 minutos em média para viagens de ponta a ponta (Tabela 6). Sua codificação se encontra na Tabela 12.

Tabela 11 - Codificação das estações pertencente a Linha AM.

Estação	Código	Conexão
Odivelas	ODV	
Senhor Roubado	SRR	
Ameixoeira	AMX	
Lumiar	LMR	
Quinta das Conchas	QCH	
Campo Grande	CMG	VD
Cidade Universitária	CUN	
Entre Campos	ENC	
Campo Pequeno	CMP	
Saldanha	SDH	VR
Picoas	PCS	
Marquês de Pombal	MQP	AZ
Rato	RAT	

Tabela 12 - Codificação das estações pertencente a Linha VR.

Estação	Código	Conexão
Aeroporto	AEP	
Encarnação	ENC	
Moscavide	MSC	
Oriente	ORT	
Cabo Ruivo	CBR	
Olivais	OLV	
Chelas	CHE	
Bela Vista	BEL	
Olaias	OLS	
Alameda	ALM	VD
Saldanha	SDH	AM
São Sebastião	SSB	AZ

A linha Verde (VD) semelhante a Linha Amarela (AM) apresenta 13 estações (23,2% do Metropolitano de Lisboa), com total de 8,9 km de extensão e com a duração média de 19 minutos em viagem de ponta a ponta (Tabela 6), apresenta a respetiva codificação na Tabela 13.

A matriz original de codificação das linhas do Metropolitano de Lisboa utilizada em formato .xlsx, pode ser observada no Anexo 6, deste estudo. Importante ressaltar que a rede do ML totaliza 44,5 km de extensão, com 333 carruagens em ativas e em circulação (material circulante). E com esta informação, finaliza-se o planeamento para recolha de dados da primeira etapa.

Tabela 13 - Codificação das estações pertencente a Linha VD.

Estação	Código	Conexão
Telheiras	TEL	
Campo Grande	CMG	AM
Alvalade	ALV	
Roma	ROM	
Areeiro	ARE	
Alameda	ALM	VR
Arroios	ARO	
Anjos	ANJ	
Intendente	INT	
Martim Moniz	MRM	
Rossio	ROS	
Baixa-Chiado	BCH	AZ
Cais do Sodré	CDS	

Na segunda etapa pretendeu aferir-se as exposições equivalentes ao tempo em que as pessoas permanecem nos cais das estações à espera das carruagens. Logo, realizaram-se medições nas estações de ligação entre linhas e estações terminais, que servem como início e fim de viagem. Totalizando 19 estações. Conforme pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 - Estações selecionadas para Etapa 2 de medições.

Linha			
VR	VD	AM	AZ
AEP	TEL	ODV	RBL
ALM	CMG	CMG	SSB
SDH	ALM	SDH	MQP
SSB	BCH	MQP	BCH
	CDS	RAT	STA
Total: 19 estações			

Para esta monitorização definiu-se o tempo de 20 minutos de medição, igualando-se aos tempos médios por linha. Sendo este o tempo suficiente para a passagem de no mínimo três composições no cais de medição. Assim como a primeira etapa, também é necessário estabelecer procedimentos para a recolha de dados, descrito no item 6.3.4, deste estudo.

Na terceira etapa de recolha de dados, foi aplicada a mesma metodologia da primeira etapa, mas realizada entre os meses outubro e novembro de 2020. São estes os meses normais de atividades, com maior número de utentes do ML. De acordo com o momento pandémico, nesta altura

prevemos que talvez, atividades rotineiras estarão retornando após o *lockdown*. Além disso, atividades educacionais tendem a retomar. Neste sentido imaginamos que seria uma boa altura para repetir as medições e as comparar entre si.

6.3.2. Amostragem e Sistematização dos dados

Após o término de cada medição o ficheiro de dados do SPLnFFT deve ser transferido para a nuvem (*Dropbox*) pois é este o modo de funcionamento da aplicação. O ficheiro nativo do programa é transformado num ficheiro Excel através de aplicação para MacOS também desenvolvido pelo autor da aplicação. O ficheiro XLS contém os dados “em bruto” da medição realizadas em 24 horas e apresentadas em tabela com 6 colunas de dados: hora, minutos, segundos, oitavas de segundos, medição dB FAST e medição dB SLOW. Ou seja, temos para cada dia 691.200 pontos de dados (ou linhas de dados, descritos no item 6.1 e exemplificado na Figura 26).

Digitalizaram-se os formulários utilizados, organizou-se as evidências fotográficas, e arquiva-se o ficheiro secundário referente a gravação de som em formato m4a. Para além disto, é necessário, a sistematização dos dados dada tabela matriz, que se designou como ‘Matriz dados’, que segue revisões numéricas crescentes.

Antes de qualquer tratamento de dados, é importante que uma visão geral da medição seja sistematizada, afim de controlar a qualidade dos dados e verificar a existência de erros antes de seguir em frente.

Os dados de revisão são sistematizados na tabela matriz, sendo eles: a data da realização da medição, o dia da semana em que esta pertence, a etapa correspondente, o tipo de medição, a linha medida, a estação codificada em que a medição inicia ou é realizada (nos casos das estações), o horário de início e fim, o tempo de duração, a média de pessoas sentadas dentro da carruagem, a média de pessoas em pé, o pico máximo da medição em geral, o pico mínimo, a média geral em dB(A), a indicação se a memória de cálculo desta medição foi elaborada, a indicação se estes dados já possuem alguma representação gráfica, o número de série da carruagem que foi sujeita a medição (sempre

iniciado com a letra M, conforme controlo interno do ML), o ano da série da carruagem, e por fim, o ano de entrada de serviço desta carruagem no ML.

Após esta sistematização inicial, seguido pela transformação do ficheiro extraído do aplicação SPLnFFt, desenvolveu-se então os ficheiros de cálculos que chamamos de ‘memória de cálculo da exposição’, onde constam as informações essenciais para as análises, sendo, a média logarítmica das exposições, o cálculo da exposição pessoal diária efetiva ($L_{EX,8h}$), o cálculo da dose de exposição em viagem pendular ($Dose_{pendular}$) e dose considerando a respetiva exposição prolongada a oito horas seguidas ($Dose_{8h}$), os intervalos discretos de tempo e por fim as representações gráficas. Estes ficheiros são igualmente controlados com número de revisão crescente e arquivado em nuvem para minimizar a possibilidade de perda destas informações.

6.3.3. Parâmetro de análise;

O parâmetro a ser analisado neste estudo, é o ruído em que os utilizadores do ML estão a ser expostos. A Tabela 15 representa aspetos que caracterizam a qualidade do serviço prestado pelas companhias de transporte público em Portugal, e nesta tabela é referenciado o nosso parâmetro em questão.

Tabela 15 - Desempenho e qualidade de serviço pela NP 4475:2020.

Parâmetro	Avaliação	Meta	Periodicidade da avaliação
Regularidade	% de serviços que cumprem o intervalo de passagem	$\geq 85\%$	Diária, semestral e anual
Lotação	Nº de veículos com taxa de ocupação $\geq 100\%$	= 0	Semestral
Informação geral	% de comboios e postos de venda com informação	$\geq 90\%$	Semestral e anual
Situações de perturbação do serviço	% de veículos e estações com informação nestas situações	$\geq 90\%$	Semestral e anual
Limpeza	% de veículos e estações em bom estado de limpeza	$\geq 90\%$	Diária, semestral e anual
Luminosidade	% de veículos e estações com boa iluminação	$\geq 90\%$	Mensal, semestral e anual
Ruído	% de veículos e estações onde ruído não causa desconforto	$\geq 95\%$	Semestral e anual

As informações na Tabela 15 são provenientes da NP 4475:2020 que “especifica as regras, características e condições mínimas qualitativas e quantitativas do serviço, bem como os requisitos da qualidade da prestação dos serviços de transporte público de passageiro – rede de metro”.

O relatório da AMT de 2019 indica a norma NP 4475:2008 (Norma Portuguesa do Serviço de Transporte Público de Passageiros – Rede Metro) como a fonte de origem dos aspetos que caracterizam a avaliação da qualidade do serviço que a AMT juntamente com o IMT, são responsáveis por monitorizar e fiscalizar. “A norma estabelece critérios de avaliação (nível de exigência, limiar de desempenho inaceitável e forma de medição) para um elevado número de parâmetros relacionados com a qualidade do serviço”. Este documento foi desenvolvido no âmbito da Comissão Técnica 148 (CT148) da qual o Metro de Lisboa faz parte. (AMT, 2019).

No entanto, apesar de se ter esta normativa que não estabelece qualquer valor quantitativo (apenas qualitativo) ao que se refere a medição do ruído, esta aponta a necessidade de monitorização e de certa forma adequação a este aspeto, o mesmo relatório diz: “apesar de todos os operadores estarem de alguma forma associados à NP 4475:2008, a mesma é de aplicação voluntária e não existem por isso sanções quando não seja cumprida”. Ou seja, nenhuma entidade pode ser punida em termos de qualidade de serviço prestado por exceder valor limiares de ruído em viagens de transporte público.

Desta forma, como não foi encontrado normativas quantitativas neste sentido, definimos que serão utilizados os parâmetros para monitorização do ruído sugeridos pelas legislações e regulamentações, mais especificamente, o RGR e a NP ISO 1996:2019 parte 1 e 2. Nesta documentação é indicado que os parâmetros para análise seguem os indicadores de “nível de exposição sonora com uma dada ponderação em frequência” (neste caso a curva de ponderação A) dado em decibel.

6.3.4. Procedimentos de medição do ruído;

Com base na normativa NP ISO 1996:2011, item 2.2.3. Locais de medição, os pontos estabelecidos para a recolha de dados devem ser

determinados considerando primeiramente uma posição que permita a não interferências de terceiros e impeça a deslocação dos equipamentos de medição. Entretanto, consideramos plausível uma pequena alteração em função da localização inicial quando a viagem do transporte inicia de um lado e em seguida (na estação posterior) a abertura das portas ocorre no lado oposto, como acontece por exemplo na Linha VR, considerando o início da viagem na estação São Sebastião, a entrada dos usuários decorre do lado esquerdo em relação a frente do comboio, e na estação seguinte (Saldanha) troca-se o lado em que os mesmos entram na carruagem.

A posição dentro do comboio é determinada, pensando na possibilidade da localização em um dado ponto mais afastado possível de estruturas refletoras, como por exemplo, os bancos de descanso. A altura do instrumento de medição foi estabelecida no item 6, deste estudo e pode ser visto na Figura 24, sendo este ponto o mais próximo possível da altura do ouvido, considerando a exposição apenas unilateral e que estivesse mais situada ao centro do comboio ou vagão. A posição pode ser observada na Figura 30.

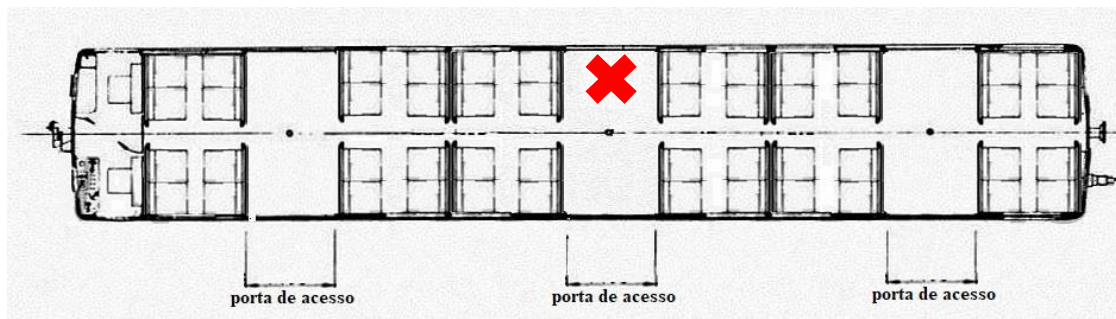


Imagem adaptada. (Fonte: Leite, 2016).

Figura 30 - Posicionamento dentro do comboio para medição.

Em cada etapa a recolha de dados foi padronizada. Desta forma determinamos procedimentos ordenados, além de 'passos' a serem executados de forma sistemática, afim de facilitar tais execuções.

A primeira etapa (etapa 1, viagens pendulares) segue os seguintes procedimentos ordenados:

Ação 1 – O responsável pela medição, já devidamente equipado posiciona-se próximo ao centro do cais da estação (estação ponta de linha), em

frente ao local onde estará localizado a terceira ou quarta carruagem do comboio quando chegada a estação.

Ação 2 – Neste momento ativa a gravação de áudio secundária, inicia a aplicação SPLnFFt, aponta-se o tempo de início de gravação e preenche os dados iniciais no 'Formulário Medições de Ruído' (Anexo 5), como: o nome do responsável, a data, o dia da semana, a linha, a estação inicial da medição, o número de estações totais da linha, o tipo de medição, o sentido da linha, e principalmente, o número e série das carruagens que compõe o comboio e o horário da chegada do comboio no cais;

Ação 3 – Quando o comboio chega ao cais, o responsável pela medição deve rapidamente entrar na terceira ou quarta carruagem do comboio, posiciona-se devidamente conforme a Figura 30 indica, e apontar o horário de alerta da estação, o horário de fecho de portas e em seguida o número de pessoas sentadas e o número de pessoas em pé. Durante a viagem deve-se apontar o horário do anúncio de estações e demais indicações sonoras;

Ação 4 – No decurso da viagem o operador deve estar atento as possíveis interferências ou ruído pontuais que possam inviabilizar a medição ou interferir nos dados recolhidos, como por exemplo, quando entram pedintes, artistas ou músicos na carruagem. Além disso, deve ser verificado constantemente o funcionamento da aplicação SPLnFFT, de forma a apontar no formulário (item observações) trechos em que há picos ou indicação de altas exposições acima de 90 dB (A). Além disso ainda se registra a abertura e fecho de portas durante a viagem.

Ação 5 – No fim da viagem, quando o comboio se aproxima da chegada à última estação da linha (estação final) deve se então preparar-se para apontar o horário de abertura da porta, anúncios sonoros de indicação de finalização da viagem na carruagem, e sem prejudicar o fluxo de saída de pessoas da carruagem o responsável pela medição deve sair do comboio em último lugar e posicionar-se relativamente próximo a posição inicial da medição. Deve-se aguardar de dois a cinco segundos, apontar o horário de saída da carruagem e saída do comboio na estação e deve então apontar o horário de finalização da medição seguido da desativação da aplicação SPLnFFT e da gravação de som secundária.

A segunda etapa de medições (etapa 2, exposição sonora nas estações), consiste nas medições nas estações e também apresenta alguma metodologia de recolha de dados, com o mesmo propósito descrito na primeira etapa:

Ação 1 – O responsável pela medição coloca-se no centro do cais, ou seja, na região em frente a terceira e quarta carruagem quando parada na estação, e a meia distância entre a parede e o limite do cais (faixa amarela). Neste momento ativa-se a gravação de áudio secundária e inicia-se a medição pela aplicação SPLnFFt;

Ação 2 – A medição deve durar o tempo necessário (aproximadamente 20 minutos) para a passagem de três a quatro comboios pela estação, desconsiderando na contabilização deste quantitativo as carruagens em sentido oposto da espera no cais da medição, entretanto, quando possível será importante apontar o horário e modelo das carruagens de cada composição;

Ação 3 – Deve-se apontar o horário de ruído ‘mínimo’ aquele em que não há comboios na linha, ou seja, o horário de estabilização ou de silêncio. O horário em que o comboio chega na estação, o horário em que o comboio abre suas portas, o horário em que o mesmo fecha as portas, o horário em que a composição sai do cais e o horário de silêncio novamente;

Ação 5 – Anota-se o tempo de espera, indicado no letreiro (o primeiro após a saída do metro no cais) e realizar-se o registro fotográfico da linha e estação, para arquivo em sistematização dos dados;

Foi crucial o registro das observações referidas, de forma a dar consistência aos mesmos.

Como mencionado no item 6.3.1 deste estudo, a terceira etapa (etapa 3, viagens pendulares) consiste na repetição da primeira etapa, sendo assim, a metodologia a ser aplicada para recolha de dados, é a mesma que na primeira etapa (etapa 1, viagens pendulares).

7.

Resultados

7.1. Viagens pendulares (Etapa 1)

A primeira etapa de medições, conforme caracterização no item 6.3 deste estudo, gerou 47.152 segundos de tempo de medição (13 horas 5 minutos e 52 segundos) totalizando 377.216 linhas de dados. Foram realizadas 36 medições unitárias equivalente a 18 viagens pendulares, do dia 21/07 à 28/07/2020. A duração de cada medição seguiu a variação do funcionamento do ML como apresentado na Tabela 6.

As medições foram realizadas de forma independente, ou seja, uma a uma. A cada duas viagens independentes forma-se assim uma viagem pendular. A Figura 31 evidencia uma viagem unitária, sendo esta a terceira medição do dia 21/07/2020, na Linha AZ, iniciando na estação de Santa Apolónia. Esta por sua vez, compõe a viagem pendular composta pela terceira e quarta medição relacionada neste dia, resultando na viagem pendular tipo ponta, iniciando às 08h 27m 13s (Tabela 16).

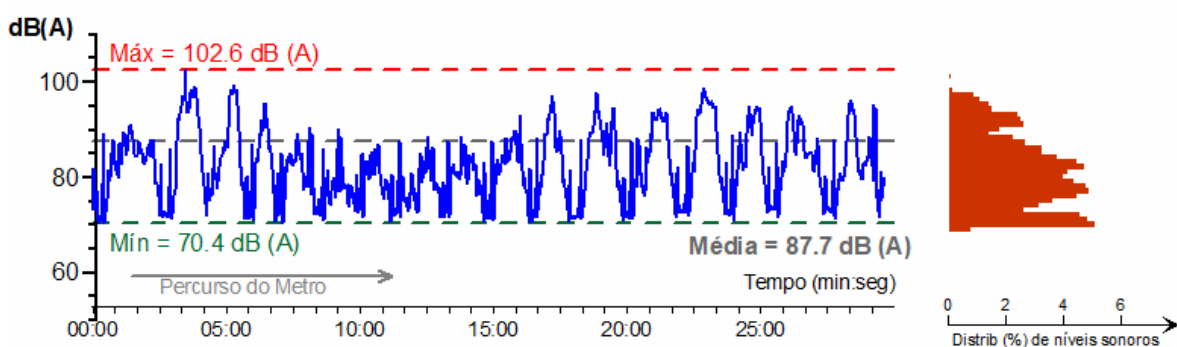


Figura 31 – Medição 21/07/2020, estação inicial STA, Linha AZ.



Figura 32 - Medição realizada dia 25/07/2020, Linha AM, tipo fim de semana

Tabela 16 – Caracterização das viagens pendulares da etapa 1.

	Linha	Estação Inicial	Tipo de Medição	Início	Fim	Duração
21/07/2020 Terça-feira	AZ	STA	Fundo Ponta	07h 03m 20s 08h 27m 13s	08h 01m 44s 09h 31m 26s	57m 16s 61m 53s
22/07/2020 Quarta-feira	VR	AEP	Fundo Ponta	06h 55m 03s 08h 11m 28s	07h 37m 16s 08h 54m 49s	37m 10s 41m 59s
23/07/2020 Quinta-feira	AM	ODV	Fundo Ponta Tarde Tarde	06h 50m 56s 08h 21m 01s 15h 59m 58s 16h 55m 10s	07h 39m 35s 09h 10m 46s 16h 48m 56s 17h 44m 35s	41m 22s 43m 47s 39m 56s 42m 10s
25/07/2020 Sábado	VR AZ AM VD	AEP RBL ODV TEL	Fim de Semana	09h 55m 20s 11h 23m 40s 15h 14m 54s 16h 31m 48s	10h 38m 04s 12h 30m 47s 15h 58m 35s 17h 11m 41s	39m 48s 61m 06s 35m 31s 33m 27s
27/07/2020 Segunda-feira	VD	CDS	Fundo Ponta Tarde	07h 15m 45s 08h 36m 07s 17h 26m 35s	07h 59m 20s 09h 30m 14s 18h 13m 19s	37m 26s 38m 26s 40m 22s
28/07/2020 Terça-feira	VR AM AZ	AEP RAT STA	Tarde	16h 22m 58s 17h 47m 36s 19h 03m 44s	17h 09m 03s 18h 36m 36s 20h 02m 37s	42m 47s 43m 14s 48m 12s
Total						13h 05m 52s

Vale ressaltar que no período de realização das medições em questão (entre os dias 21/07 à 28/07/2020) a Presidência do Conselho de Ministros de Portugal já havia estabelecido medidas excepcionais à situação pandémica provocada pela transmissão e infeção do SARS-CoV-2 (em 11 de março de

2020), assim como a Assembleia da República de Portugal através da DL nº 10-A/2020.

Tabela 17 – Número de passageiros por viagem pendular, Linha AZ, etapa 1.

Data	Linha	Tipo de Medição	Média Utilizadores Sentados	Média Utilizadores em Pé
21/07/2020 Terça-feira	AZ	Fundo	14	5
		Ponta	10	4
25/07/2020 Sábado	AZ	Fim de Semana	12	3
28/07/2020 Terça-feira	AZ	Tarde	13	5

Tabela 18 - Número de passageiros por viagem pendular, Linha VR, etapa 1.

Data	Linha	Tipo de Medição	Média Utilizadores Sentados	Média Utilizadores em Pé
22/07/2020 Quarta-feira	VR	Fundo	12	4
		Ponta	12	5
25/07/2020 Sábado	VR	Fim de Semana	9	2
28/07/2020 Terça-feira	VR	Tarde	11	2

Em julho de 2020 o governo divulgou através da Resolução nº 55 - A/2020 a situação de contingência e alerta no âmbito da epidemia do COVID - 19. Sob a vigência do Decreto-Lei nº 39 - A/2020, acontecia o “regresso gradual das atividades económicas ao seu normal funcionamento. O mesmo decreto-lei descreve restrições e utilização de transportes públicos de passageiros em determinados horários, decorrente de medidas de proteção de saúde pública emanadas pela DGR (...). Deste modo, continua a ser necessário manter e reforçar mecanismos que promovam a (...) recuperação do serviço público de passageiros e que satisfaçam as necessidades crescentes de mobilidade num contexto de desconfinamento progressivo nos termos possíveis e avaliados (...)”. Ou seja, as viagens no ML encontravam-se autorizadas.

Em tais medições se registou o número de utilizadores dentro da carruagem, descriminando entre as pessoas em pé e entre pessoas sentadas. Este dado foi recolhido entre cada duas estações e os resultados são identificados nas Tabelas 17 a 20.

Tabela 19 - Número de passageiros por viagem pendular, Linha AM, etapa1.

Data	Linha	Tipo de Medição	Média Utilizadores Sentados	Média Utilizadores em Pé
23/07/2020 Quinta-feira	AM	Fundo	15	4
		Ponta	15	7
		Tarde	10	4
		Tarde	13	4
25/07/2020 Sábado	AM	Fim de Semana	7	4
28/07/2020 Terça-feira	AM	Tarde	14	4

Tabela 20 – Número de passageiros por viagem pendular, Linha VD, etapa1.

Data	Linha	Tipo de Medição	Média Utilizadores Sentados	Média Utilizadores em Pé
25/07/2020 Sábado	VD	Fim de Semana	15	3
27/07/2020 Segunda-feira	VD	Fundo	16	5
		Ponta	10	3
		Tarde	11	3

Uma das informações pertinentes ao estudo é a caracterização técnica das carruagens de medição, presente no item 5.1 e Anexo 3. Os dados referentes a estas caracterizações encontram-se na Tabela 21.

Tal informação denominada como ‘modelo da carruagem’ é um elemento importante pois permite o rastreamento de algumas informações como, o número de série da carruagem, o ano de fabrico e ano de entrada em serviço de cada material circulante. A ficha técnica equivalente aos diferentes modelos, encontrada nos relatórios de sustentabilidade publicados pelo Metropolitano de Lisboa (2019). Este documento mostra que quanto mais antiga a entrada de serviço mais manutenção esta carruagem necessita, além disso, mais caro se torna a mitigação de ruído, conforme os próprios relatório público do ML.

A indicação número da carruagem foi recolhida no painel interno destas, em que se desenvolveram as medições. Esta, por sua vez, também pode ser encontrada na parte exterior das carruagens, próximo as portas de acesso (Figura 33).

Tabela 21 – Número de série das carruagens de medições na etapa 1.

Data	Linha	Tipo de Medição	Número da Carruagem	Série	Entrada em Serviço no ML
21/07/2020 Terça-feira	AZ	Fundo	M-369	ML95	1997/98
		Ponta	M-242	ML90	1993/96
			M-227	ML90	1993/96
			M-703	ML99	2002/02
22/07/2020 Quarta-feira	VR	Fundo	M-703	ML99	2000/02
		Ponta	M-705	ML99	2000/02
			M-390	ML95	1997/98
			M-390	ML95	1997/98
23/07/2020 Quinta-feira	AM	Fundo	M-522	ML97	1999
		Ponta	M-673	ML99	2000/02
			M-546	ML97	1999
		Tarde	M-303	ML95	1997/98
			M-522	ML97	1999
			M-673	ML99	2000/02
		M-685	ML99	2000/02	
M-610	ML99	2000/02			
25/07/2020 Sábado	VR	Fim de Semana	M-658	ML99	2000/02
	AZ		M-658	ML99	2000/02
			M-337	ML95	1997/98
	AM		M-337	ML95	1997/98
			M-212	ML90	1993/96
	VD		M-212	ML90	1993/96
M-709	ML99	2000/02			
M-709	ML99	2000/02			
27/07/2020 Segunda-feira	VD	Fundo	M-322	ML95	1997/98
		Ponta	M-501	ML97	1999
			M-237	ML90	1993/96
			M-649	ML99	2000/02
			M-319	ML95	1997/98
M-316	ML95	1997/98			
28/07/2020 Terça-feira	VD	Tarde	M-636	ML99	2000/02
	AM		M-636	ML99	2000/02
			M-248	ML90	1993/96
	AZ		M-248	ML90	1993/96
			M-607	ML99	2000/02
M-375	ML95	1997/98			

A série de fabrico do material circulante (carruagens) com maior tempo de utilização é a série ML90 que iniciou suas respectivas atividades no ano 1993. Esta série pode ser encontrada em circulação em todas as linhas e em todos os

horários, conforme observou-se nas medições tipo. fundo, ponta, tarde e fim de semana.



Figura 33 - Número do material circulante (por carruagem) do ML

Após a finalização das medições, os dados foram sistematizados em tabela (item 6.3 – Métodos e Procedimentos). Em seguida iniciou-se os cálculos da média logarítmica para cada período de um segundo, para então quantificar a média de exposição ($L_{EX,8h}$) com base na legislação e regulamentação (item 2). Além disso também verificamos o valor em dB (A) máximo assim como o valor mínimo (Tabela 22).

Tabela 22 – Resultados obtidos por viagem pendular (etapa 1).

Data	Linha	Tipo de Medição	Máximo dB (A)	$L_{EX,8h}$	Mínimo dB (A)
21/07/2020 Terça-feira	AZ	Fundo	107	89	69
		Ponta	103	89	70
22/07/2020 Quarta-feira	VR	Fundo	102	88	69
		Ponta	106	87	58
23/07/2020 Quinta-feira	AM	Fundo	101	89	69
		Ponta	106	87	69
		Tarde	102	89	69
		Tarde	106	89	69
25/07/2020 Sábado	VR	Fim de Semana	104	89	59
	AZ		105	88	45
	AM		102	89	65
	VD		103	88	65
27/07/2020 Segunda-feira	VD	Fundo	103	86	69
		Ponta	104	86	65
		Tarde	103	86	71
28/07/2020 Terça-feira	VR	Tarde	105	88	54
	AM		97	85	58
	AZ		100	87	53

Após tal sistematização, foi calculado a frequência de cada intervalo de 2 dB(A) de modo a analisar a distribuição das mesmas. O intervalo de repetição encontra-se em ordem de 2 em 2 dB (A). Cada medição unitária apresenta um gráfico de distribuição.

Na Tabela 23 encontra-se os intervalos e frequências, referente a medição do dia 21/07/2020, Linha AZ, tipo fundo. Interessante ressaltar que os quadrados na cor preta representam a frequência da repetição dos valores pertencentes ao intervalo por linha.

Seguida pela Figura 34, que mostra a distribuição dos mesmos dados da Tabela 23, porém, em representação gráfica.

Tabela 23 - Frequência dB (A) da medição 21/07/2020, Linha AZ, fundo.

Intervalo	FeqAbs	Frequência %	
69-70	51	3,0	■■■
71-72	184	10,7	■■■■■■■■■■■■■■■
73-74	195	11,3	■■■■■■■■■■■■■■■
75-76	167	9,7	■■■■■■■■■■■■■
77-78	133	7,7	■■■■■■■■■
79-80	108	6,3	■■■■■■■
81-82	153	8,9	■■■■■■■■■■■
83-84	174	10,1	■■■■■■■■■■■■■
85-86	145	8,4	■■■■■■■■■■■
87-88	79	4,6	■■■■■
89-90	57	3,3	■■■
91-92	77	4,5	■■■■■
93-94	81	4,7	■■■■■
95-96	50	2,9	■■■
97-98	42	2,4	■■
99-100	20	1,2	■
101-102	7	0,4	
103-104	0	0,0	
105-106	0	0,0	
107-108	1	0,1	
109<	0	0,0	

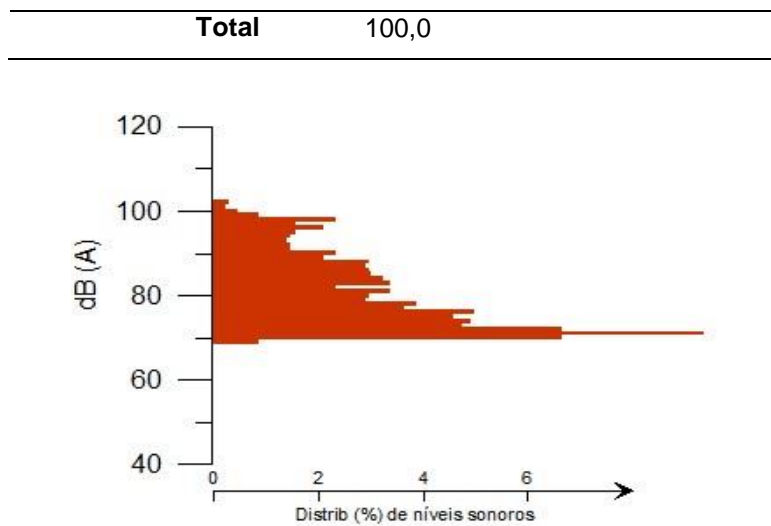


Figura 34 – Distribuição dB (A) da medição 21/07/2020, Linha AZ, fundo.

Em seguida, foi calculada a dose de exposição diária ($Dose_{pendular}$) a partir da média de exposição já calculado anteriormente ($L_{EX,8h}$).

A $Dose_{pendular}$ (%) equivale a quantidade percentual ‘consumido’ dos 100% estabelecido como o aceitável para exposição pessoal diária (item 3.3). Este quantitativo aceitável é limite de exposição para um trabalhador com carga horária diária equivalente a oito horas. Conforme o Decreto de Lei n.º 182/2006, determina valor limite de exposição diário (VLE) igual à 87 dB (A) médio (Tabela 1).

Também analisamos a hipótese desta exposição ser prolongada a um total de oito horas. Esta hipótese resulta na $Dose_{8h}$. Para tal exemplificação, a Tabela 24 mostra os resultados da viagem pendular realizada no dia 21/07/2020, segunda feira, Linha AZ, tipo fundo.

Tabela 24 - Resultado medição 21/07/2020, Linha AZ, fundo.

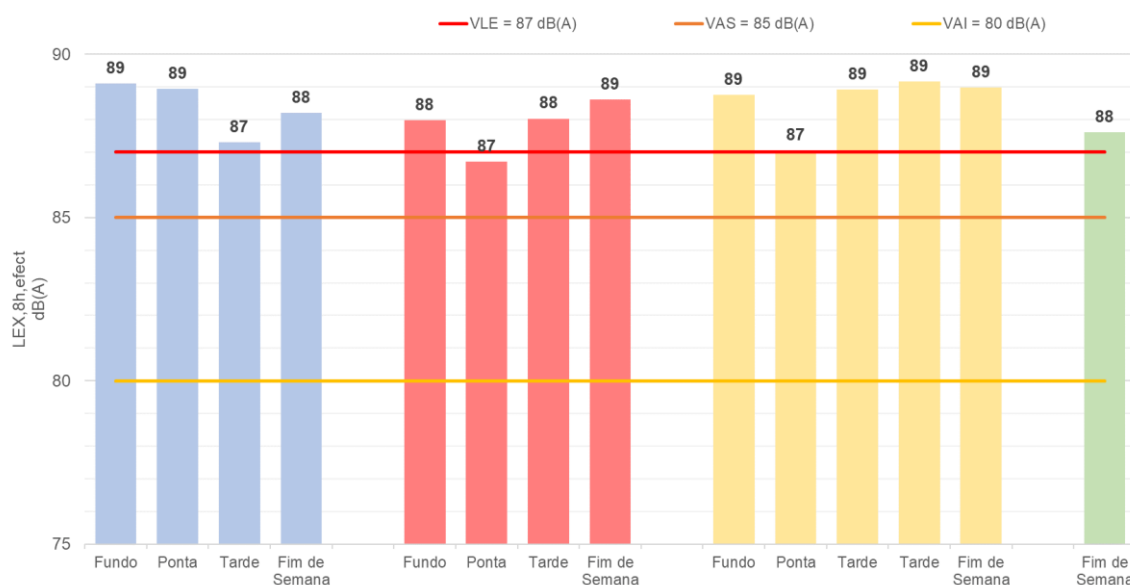
Dose pendular =	15,34 %
Dose 8h =	239,80 %
L _{EX,8h} =	89 dB (A)

Os resultados obtidos na primeira etapa de medições foram filtrados, de forma a representar neste trabalho, apenas as viagens pendulares que excedem o VLE = 87 dB (A), em ordem crescer de $L_{EX,8h}$ (Tabela 25).

Tabela 25 - Resultados da primeira etapa com $L_{EX,8h} \geq 87$ dB (A).

Data (07/2020)	Tipo de medição	Linha	$L_{EX,8h}$ dB (A)	Dose pendular %	Dose 8h %
22	Ponta	VR	87	7,36	160,40
23	Ponta	AM	87	8,90	185,48
28	Tarde	AZ	87	5,27	99,14
25	Final Semana	VD	88	5,37	138,61
22	Fundo	VR	88	9,36	253,43
28	Tarde	VR	88	10,46	197,33
25	Final Semana	AZ	88	15,50	245,96
25	Final Semana	VR	89	12,04	255,79
23	Fundo	AM	89	9,94	199,22
23	Tarde	AM	89	8,85	176,73
21	Ponta	AZ	89	12,77	186,03
25	Final Semana	AM	89	10,94	255,93
21	Fundo	AZ	89	15,34	239,80
23	Tarde	AM	89	12,04	239,66

A Figura 35 apresenta os mesmos dados relacionados a Tabela 25., porém proporcionará melhor localização visual do valor de ação inferior, valor de ação superior e valor limite de exposição dentre as médias ($L_{EX,8h}$) obtidas em cada viagem pendular nesta etapa.


Figura 35 – Resultados da primeira etapa com $L_{EX,8h} \geq 87$ dB (A)

Importante ressaltar que cada coluna representa a respetiva linha do metro equivalente à sua cor: Linha AZ = cor azul, Linha VR = cor vermelha, Linha AM= cor Amarela e Linha VD = cor verde.

Seguindo as orientações encontradas no ‘Guia prático para medições do ruído’ no contexto RGR e NP ISO 1996:2019’ publicado pela APA em julho de 2020, as incertezas sobre os resultados de cálculos de medições do ruído ambiente não devem ser contabilizadas, “a fim de que as médias de exposição sejam comparadas diretamente com os valores limite de exposição estabelecidos no RGR”. Por este motivo a $L_{EX,8h}$ foi arredondada em números inteiros, e não foi contabilizado qualquer incerteza relacionada as medições.

7.2. Exposição sonora nas Estações (Etapa 2)

A segunda etapa de medições consiste na recolha de dados nas estações (tipo 5, Tabela 9). Estas medições seguiram os procedimentos conforme o item 6.3.4 deste estudo. As estações previamente selecionadas se encontram na Tabela 14. O procedimento detalhado desta recolha de dados pode ser encontrado no item 6.3.4 (Procedimentos de medição do ruído).

Realizada em agosto de 2020, entre os dias 24 e dia 27, resultou em 23 medições e geraram 31.006 segundos de tempo de medição (8 horas 42 minutos e 46 segundos), totalizando 230.400 linhas de dados (oito dados por segundo), conforme Tabela 26.

Tabela 26 - Caracterização das viagens pendulares da etapa 2.

Data	Linha	Estação	Início	Fim	Duração
24/08/2020 Segunda-feira	VR	SDH	15h 59m 27s	16h 21m 17s	21m 50s
		ALM	16h 29m 55s	16h 51m 00s	21m 05s
		AEP	17h 17m 55s	17h 39m 50s	21m 55s
25/08/2020 Terça-feira	VD	CDS	14h 11m 03s	14h 28m 00s	16m 57s
		BCH	14h 33m 10s	14h 53m 59s	20m 49s
		ALM	15h 04m 35s	15h 26m 00s	21m 25s
		CMG	16h 07m 53s	16h 27m 00s	19m 07s
		TEL	15h 40m 00s	16h 00m 20s	20m 20s
26/08/2020 Quarta-feira	AM	RAT	14h 03m 25s	14h 28m 00s	24m 35s
		MQP	15h 11m 32s	15h 31m 00s	19m 28s
		SDH	14h 37m 21s	15h 04m 00s	26m 39s
		CMG	15h 48m 52s	16h 13m 00s	24m 08s
		ODV	16h 29m 00s	16h 51m 00s	22m 00s
27/08/2020 Quinta-feira	AZ	STA	14h 43m 27s	15h 12m 00s	28m 33s
		BCH	15h 21m 30s	15h 48m 00s	26m 30s
		MQP	15h 55m 53s	16h 19m 20s	23m 27s
		SSB	16h 28m 30s	16h 55m 00s	26m 30s
		RBL	17h 21m 18s	17h 40m 52s	19m 34s
28/08/2020 Sexta-feira	VR	AEP	13h 46m 01s	14h 11m 10s	25m 09s
	AM	RAT	14h 32m 36s	14h 54m 50s	22m 14s
	VD	TEL	15h 18m 28s	15h 37m 00s	18m 32s
	AZ	STA	15h 51m 08s	16h 22m 00s	30m 52s

Importante ressaltar que na altura de realização destas medições vigorava a atual revogada Resolução do Conselho de Ministros nº 55 - A/2020 que declarava “a situação de contingência e alerta no âmbito da pandemia da

doença COVID-19”. Esta por sua vez, que objetivava a interrupção da cadeia de transmissão do vírus SARS-CoV-2, baseava-se na “adoção de regras básicas de manutenção do distanciamento físico, etiqueta respiratória, higienização de mãos e utilização de máscara”. Esta também declarava que “a partir do dia 14 de agosto de 2020 (...) há racionalização da utilização dos serviços públicos de transporte”. Entretanto, desautorização da livre circulação entre conselhos e distritos não havia entrado em vigor.

A Tabela 26 apresenta a Caracterização das viagens pendulares da segunda etapa, além da duração média total das medições, igual a 21 minutos e 55 segundos, em conformidade do planeamento das execuções (item 6.3.1).

Seguindo a mesma metodologia de cálculos descrita no item 7.1, após as sistematizações dos dados, deu-se a iniciação dos cálculos de média logarítmica por segundo (redução de 1/8), a contabilização de dB (A) máximo e dB (A) mínimo além da $L_{EX,8h}$. Os resultados constam na Tabela 27.

Tabela 27 - Resultados obtidos por estação (etapa 2).

Data	Linha	Estação	Máximo dB (A)	$L_{EX,8h}$	Mínimo dB (A)
24/08/2020 Segunda-feira	VR	SSB	91	77	64
		SDH	96	84	74
		ALM	88	74	58
		AEP	97	84	73
25/08/2020 Terça-feira	VD	CDS	91	75	64
		BCH	92	81	61
		ALM	94	81	59
		CMG	91	75	56
		TEL	95	83	70
26/08/2020 Quarta-feira	AM	RAT	90	79	70
		MQP	90	78	63
		SDH	96	82	63
		CMG	89	70	55
		ODV	94	79	60
27/08/2020 Quinta-feira	AZ	STA	93	80	64
		BCH	101	86	66
		MQP	92	78	65
		SSB	99	81	53
		RBL	92	81	70
28/08/2020 Sexta-feira	VR	AEP	105	87	69
	AM	RAT	104	87	69
	VD	TEL	105	88	70
	AZ	STA	107	88	59

Os resultados obtidos sobre a Dose e Dose_{8h} constam na Tabela 29.

Tabela 29 - Resultados da segunda etapa (Dose e Dose_{8h}).

Data (agosto/2020)	Linha	Estação	Dose %	Dose _{8h} %
26	AM	CMG	0,17	3,32
26	AM	MQP	0,76	18,99
26	AM	RAT	1,15	22,46
26	AM	ODV	1,15	25
26	AM	SDH	2,61	47,89
27	AZ	MQP	0,92	18,3
27	AZ	STA	1,76	29,24
27	AZ	RBL	1,92	43,25
27	AZ	SSB	2,86	43,46
27	AZ	BCH	7,76	126,59
25	VD	CDS	0,39	9,38
25	VD	CMG	0,4	9,88
25	VD	ALM	1,9	43,33
25	VD	BCH	1,92	44,1
25	VD	TEL	2,48	56,86
24	VR	ALM	0,34	7,54
24	VR	SSB	0,74	15,08
24	VR	SDH	3,18	70,97
24	VR	AEP	3,86	77,12

Evidencia-se a medição do dia 27/08/2020, Linha AZ, estação BCH, com duração de 26 minutos e 30 segundos que apresentou 7,8% dos 100% admissível para exposição diária. Esta medição encontra-se em representação gráfica na Figura 37.

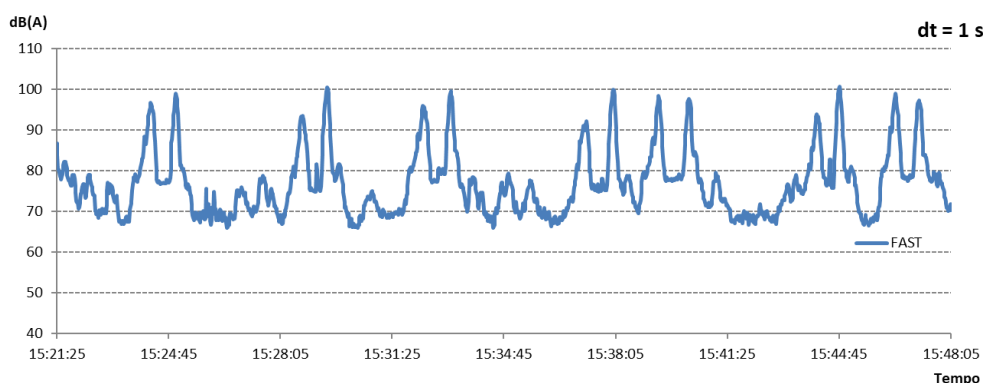


Figura 37 - Medição 27/08/2020, Linha AZ, estação BCH, etapa 2.

Os picos em dB (A) da Figura 37 são identificados como resultante do fecho e abertura de portas, quando a carruagem se encontra no cais,

considerando que a medição é realizada fora da carruagem, e o ruído ainda sim é representativo. Estes picos são similares ao ruído de abertura na parte interna da carruagem (Figura 54 e 55).

7.3. Viagens pendulares (Etapa 3)

A terceira etapa de medição foi realizada em novembro de 2020, conforme item 6.3.1 deste estudo e produziu 30.879 segundos de tempo de medição (8 horas 34 minutos e 39 segundos) totalizando 247.032 linhas de dados.

Seguindo os procedimentos estabelecidos no item 6.3.4, foram realizadas 20 medições unitários equivalente a 10 viagens pendulares e a duração média total é de 24 minutos e 21 segundos. As caracterizações das viagens pendulares podem ser observadas na Tabela 30.

Tabela 30 - Caracterização das viagens pendulares etapa 3.

	Linha	Estação Inicial	Tipo de Medição	Início	Fim	Duração
14/11/2020 Sábado	AZ	RBL	Fim de Semana	09h 08m 07s	10h 13m 00s	63m 54s
	VR	SSB		10h 42m 45s	11h 30m 00s	46m 15s
	AM	RAT		11h 47m 00s	12h 39m 00s	49m 50s
	VD	CDS		12h 59m 04s	13h 49m 00s	48m 50s
16/11/2020 Segunda-feira	VD	CDS	Ponta	08h 04m 18s 08h 59m 04s	08h 50m 19s 09h 54m 00s	43m 41s 52m 27s
17/11/2020 Terça-feira	AZ	RBL	Ponta	08h 08m 31s	09h 21m 00s	69m 59s
18/11/2020 Quarta-feira	VR	AEP	Ponta	08h 21m 05s 09h 08m 18s	09h 08m 00s 09h 57m 00s	46m 37s 47m 28s
19/11/2020 Quinta-feira	AM	ODV	Ponta	08h 10m 08s	08h 57m 00s	45m 38s
Total						08h 34m 39s

Seguindo a mesma sistematização e apresentação dos dados no item 7.1 (Viagens pendulares, Etapa 1), a seguir serão apresentados os resultados provenientes das medições com o número de passageiros em pé e sentados por viagem pendular (Tabela 31), seguida pela tabela com o número de série das carruagens de medições da terceira etapa (Tabela 32), assim como os valores máximos em mínimos em dB (A) e média de exposição, por viagem pendular (Tabela 33).

Tabela 31 - Utilizadores por viagem pendular na etapa 3.

	Linha	Tipo de Medição	Média Utilizadores Sentados	Média Utilizadores em Pé	Total
14/11/2020 Sábado	AZ	Fim de Semana	12	6	18
	VR		6	2	8
	AM		7	3	10
	VD		10	3	13
16/11/2020 Segunda-feira	VD	Ponta	10	4	14
			9	4	13
17/11/2020 Terça-feira	AZ	Ponta	16	9	25
18/11/2020 Quarta-feira	VR	Ponta	9	3	12
			9	2	11
19/11/2020 Quinta-feira	AM	Ponta	11	4	15

Tabela 32 - Número de série das carruagens de medições na etapa 3.

	Linha	Tipo de Medição	Número da Carruagem	Série	Entrada em Serviço no ML
14/11/2020 Sábado	AZ	Fim de Semana	M-709	ML99	2000/02
			M-367	ML95	1997/98
	VR		M-219	ML90	1993/96
			M-693	ML99	2000/02
	AM		M-327	ML95	1997/98
			M-387	ML95	1997/98
	VD		M-536	ML97	1999
			M-207	ML90	1993/96
16/11/2020 Segunda-feira	VD	Ponta	M-543	ML97	1999
			M-661	ML99	2000/02
			M-510	ML97	1999
			M-388	ML95	1997/98
17/11/2020 Terça-feira	AZ	Ponta	M-552	ML97	1999
			M-506	ML97	1999
18/11/2020 Quarta-feira	VR	Ponta	M-233	ML90	1993/96
			M-233	ML90	1993/96
			M-206	ML90	1993/96
			M-206	ML90	1993/96
19/11/2020 Quinta-feira	AM	Ponta	M-337	ML95	1997/98
			M-210	ML90	1993/96

Tabela 33 - Resultados obtidos por viagem pendular (etapa 3).

	Linha	Tipo de Medição	Máximo dB (A)	$L_{EX,8h}$ dB (A)	Mínimo dB (A)
14/11/2020 Sábado	AZ	Fim de Semana	104	88	60
	VR		99	85	54
	AM		103	87	59
	VD		102	87	58
16/11/2020 Segunda-feira	VD	Ponta	104	85	62
			104	84	61
17/11/2020 Terça-feira	AZ	Ponta	104	86	56
18/11/2020 Quarta-feira	VR	Ponta	99	86	60
			101	89	59
19/11/2020 Quinta-feira	AM	Ponta	105	89	58

Se faz importante ressaltar que no momento da realização destas medições referente a terceira etapa (entre os dias 14 e 19 de novembro de 2020), vigorava o Decreto-Lei nº 8/2020, publicado em 8 de agosto de novembro que regulamentada “a aplicação do estado de emergência decretado pelo Presidente da República” no dia 07/11/2020. Este por sua vez tinha o prazo de execução de 15 dias podendo ou não ser renovado. No momento da realização desta etapa de medições, o Governo Português de forma a mitigar a evolução da situação epidemiológica no país, proibiu a livre circulação em concelhos elencadas na altura com risco elevado (a área metropolitana de Lisboa classificava-se como tal) entre as 23 horas e 05 horas da manhã em dias úteis, e ao fim de semana a partir das 13 horas. E conforme os horários de início de fim de medição, como constam na Tabela 30, identifica-se o cumprimento das orientações.

Através dos resultados obtidos das medições da terceira etapa, conforme Tabela 33 e principalmente sob a média de exposição por viagem pendular ($L_{EX,8h}$), calculamos a dose da exposição diária ($Dose_{pendular}$) e a dose de exposição prolongada ($Dose_{8h}$). Os resultados constam na Tabela 34.

Vale ressaltar que os valores expostos apresentam $L_{EX,8h} \geq VAI$ e todos os dados estão em ordem crescente quanto a $Dose_{pendular}$.

Tabela 34 - Resultados da terceira etapa de medições.

Data (11/2020)	Tipo de medição	Linha	Dose pendular %	Dose 8h %
14	Final Semana	VR	3,87	84,07
16	Ponta	VD	5,11	106,35
18	Ponta	VR	6,34	145
16	Ponta	VD	7,25	111,2
14	Final Semana	AM	8,48	160,35
14	Final Semana	VD	9,48	180,01
18	Ponta	VR	10,4	221,58
19	Ponta	AM	11,7	260,94
17	Ponta	AZ	15,57	238,87
14	Final Semana	AZ	16,07	213,9

A Figura 38 apresenta os mesmos dados relacionados a Tabela 34, porém com a indicação da localização visual do VAI, VAS e VLE dentre os resultados de $L_{EX,8h}$ obtido em cada viagem pendular da terceira etapa.

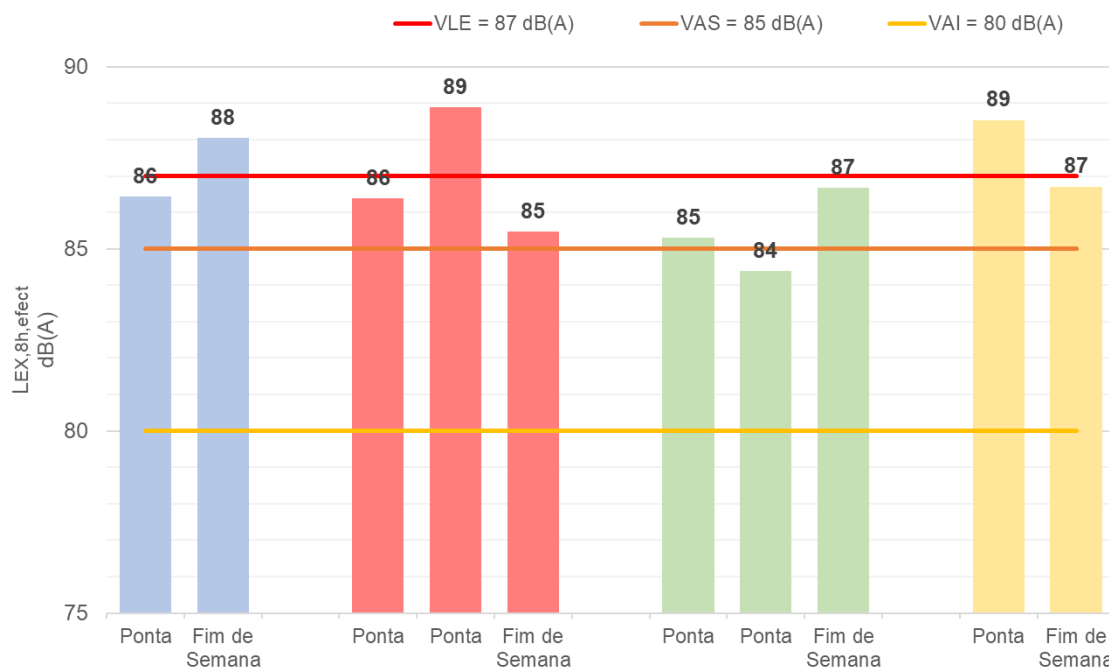


Figura 38 - Resultados da terceira etapa

Cada coluna representa a respetiva linha do metro equivalente a sua cor: Linha AZ = cor azul, Linha VR = cor vermelha, Linha AM= cor Amarela e Linha VD = cor verde.

7.4. Análise global dos resultados

Em geral a primeira, segunda e terceira etapa resultaram em 79 medições unitárias, sendo 28 viagens pendulares (16 delas estão representadas na Figura 39) e 23 medições em estações. Resulta-se assim em 30 horas 23 minutos e 17 segundos de medição total o que equivale a 875.648 linhas de dados (FAST e SLOW) em dB (A) (Figura 26).

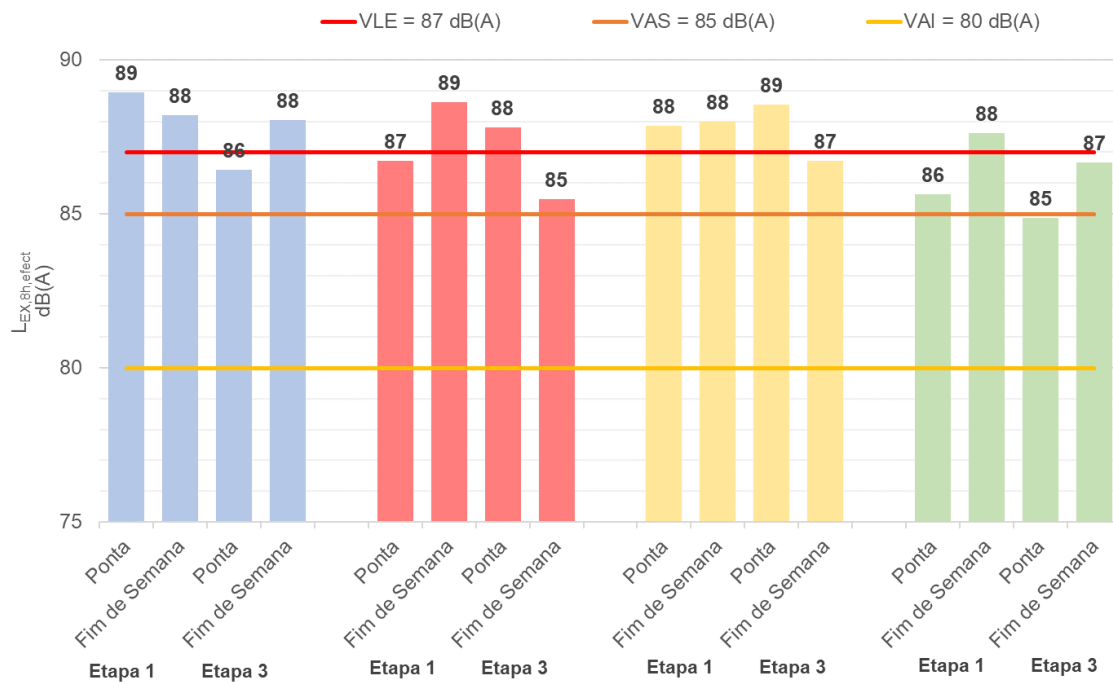


Figura 39 - $L_{EX,8h}$ da primeira etapa versus terceira etapa

Tabela 35 - Duração das medições tipo ponta e fim semana, Linha AZ.

Data	Etapa	Tipo	Duração
21/07/2020	1	Ponta	30m 56s
25/07/2020		Fim de Semana	30m 33s
14/11/2020	3	Ponta	35m 00s
17/11/2020		Fim de Semana	31m 57s

A Figura 39 evidencia a $L_{EX,8h}$ em viagem pendular do tipo ponta e fim de semana em todas as quatro linhas nas Etapas 1 e 3 (viagens pendulares). E a tabela 35 indica a duração destas mesmas medições, apenas na Linha Azul. Os resultados das medições na Linha AZ e Linha VD na terceira etapa mostram-

se menores ou iguais em comparação a primeira etapa. Estes resultados respeitam as mesmas condições de medição (mesmo dia da semana, no mesmo horário e mesma linha).

Conforme o item 6.3.1 deste estudo, foram realizadas medições em viagens pendulares de todos os tipos (Tabela 9) na primeira etapa. Diferentemente da terceira etapa, que por sua vez, foram realizadas apenas medições tipo ponta, tarde e fim de semana. As Figuras 40 a 43 apresentam os resultados de $L_{EX,8h}$ em viagens pendulares de modo comparativo.

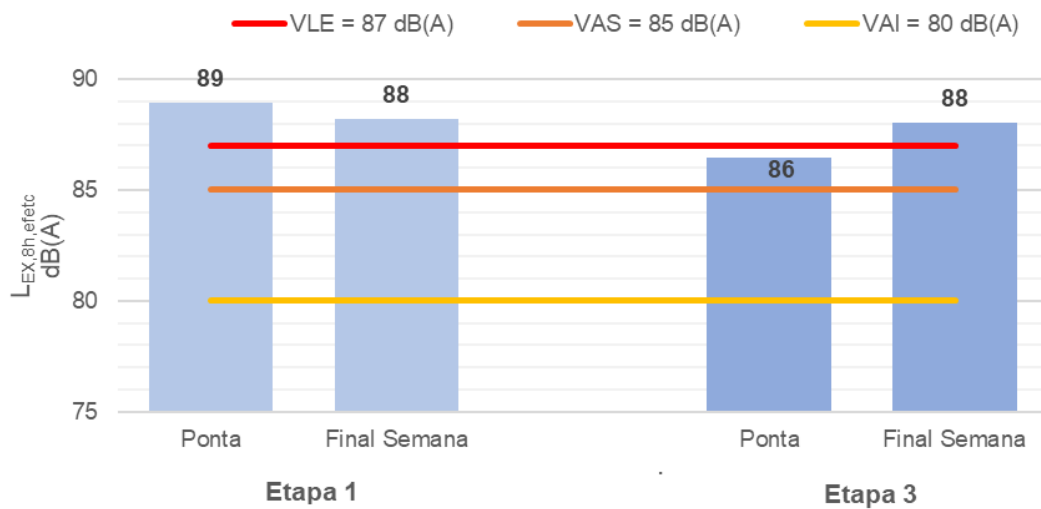


Figura 40 - $L_{EX,8h}$ Linha AZ (primeira etapa e terceira etapa).

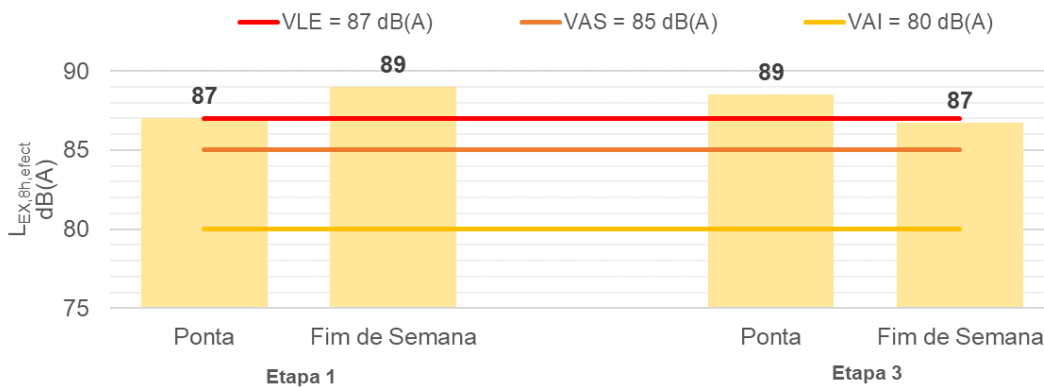


Figura 41 - $L_{EX,8h}$ Linha AM (primeira etapa e terceira etapa).

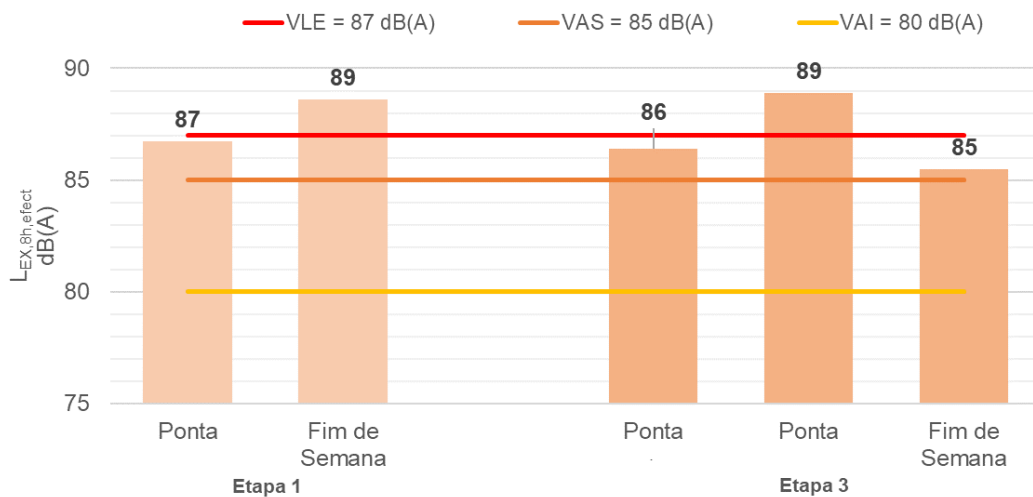


Figura 42 - $L_{EX,8h}$ Linha VR (primeira etapa e terceira etapa).

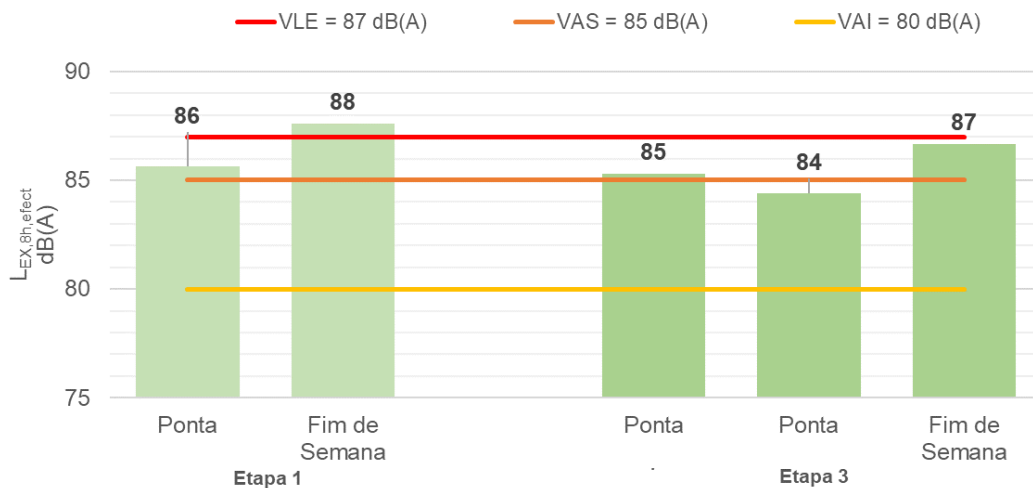


Figura 43 - $L_{EX,8h}$ Linha VD (primeira etapa versus terceira etapa).

Importante ressaltar que os resultados que não respeitam as mesmas condições de medição, não foram comparados entre si.

Comparativamente as médias de exposição das Figuras 40 (AZ) e 43 (VD), na etapa 1 são menores do que na etapa 3. Diferente do caso encontrado nas Figuras 41 (AM) e 42 (VR) que as medições na hora de ponta na terceira etapa que resultaram em médias maiores que as mesmas referentes a primeira etapa.

Uma das características que não se manteve constante entre as medições realizadas na primeira e terceira etapa foram as durações médias das

viagens. Na Tabela 36 são apresentados estes valores além da média geral de tempo gasto em viagens unitárias.

Tabela 36 - Duração média de exposição por linha em viagem unitária.

Linha	Duração média viagem unitária Etapa 1	Duração média viagem unitária Etapa 3	Duração média viagem unitária Geral
Azul	28m 38s	34m 12s	29m 08s
Vermelha	19m 54s	23m 21s	21m 42s
Amarela	20m 56s	24m 18s	21m 18s
Verde	18m 54s	23m 25s	20m 14s

A duração média geral se deu através de 12 viagens na Linha AZ, 14 na Linha VR, 16 na Linha AM e 14 viagens na Linha VD.

Conforme descrito no item 6.3, cada viagem pendular é composta por uma viagem de ida e uma viagem de volta (duas viagens unitárias). Por este motivo cada medição pendular apresenta dois picos máximos e dois valores mínimos, e deste modo considera-se o maior e o menor entre eles, conforme pode ser observado na Figura 44.

Para análise das viagens pendulares foram realizadas representações gráficas de todas as medições de forma a identificar e perceber o comportamento do ruído nestas exposições.

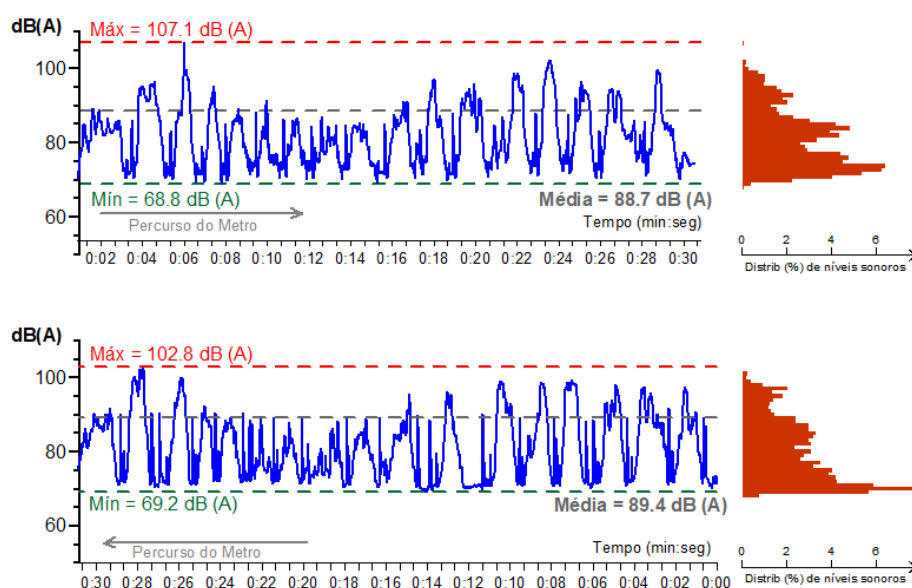


Figura 44 - Viagem pendular, 21/07/2020 na Linha AZ, medição 1 e 2.

Apresenta-se na Figura 44 na totalidade a viagem pendular realizada no dia 21/07/2020 (etapa 1) na Linha Az, tipo fundo, iniciando na estação STA às 7 horas 03 minutos 20 segundos. Tal medição atinge o pico geral máximo de 107 dB (A) e valor geral mínimo de aproximadamente 69 dB (A).

A representação gráfica das respetivas viagens apresentadas na Figura 44 foram otimizadas para uma duração aproximada de 30 minutos. Apresenta-se o mesmo trecho no percurso de ida (em cima) e de volta (em baixo) e ao lado do gráfico evidenciamos a distribuição em percentagem dos níveis sonoros em dB (A).

No eixo X é representado o tempo (em minutos). O gráfico na parte de cima, encontra-se em ordem crescente e o de baixo em ordem decrescente para que as disposições das estações sejam respeitadas, assim como pode ser observado na indicação por seta na cor cinzenta próxima ao eixo X.

O eixo Y escala a exposição em dB (A). A linha pontilhada na cor vermelha evidencia o pico de exposição máximo, a linha pontilhada central na cor cinza evidencia a média de exposição ($L_{EX,8h}$) e a linha pontilhada inferior na cor verde, o valor mínimo.

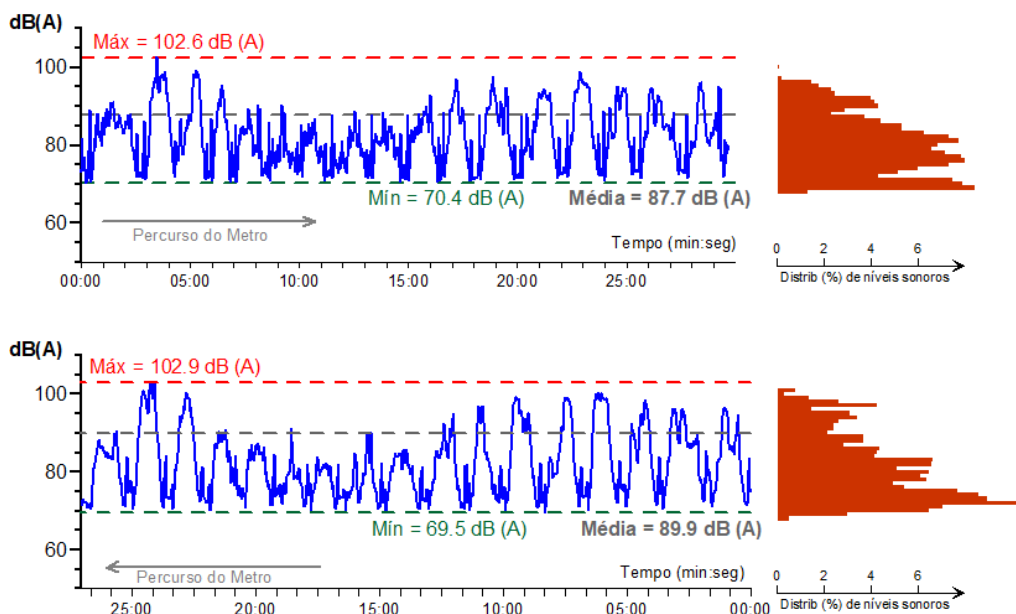


Figura 45 - Viagem pendular, 21/07/2020, ponta na Linha AZ.

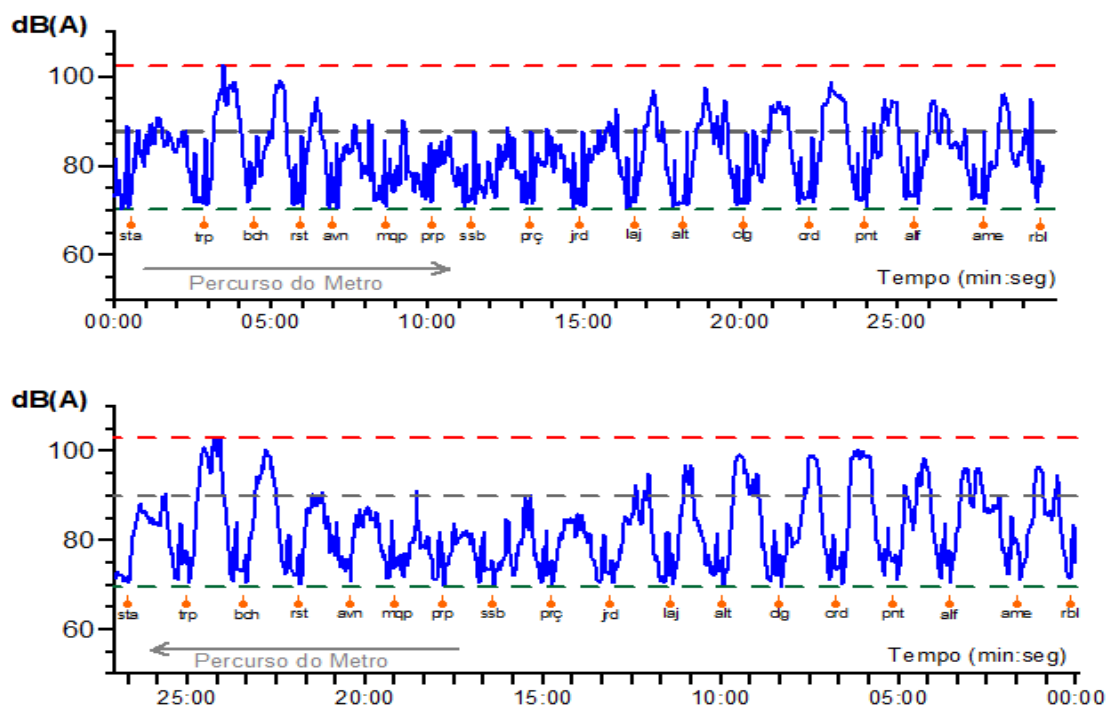


Figura 46 – Estações da medição de ponta no dia 21/07/2020, AZ

As Figuras 45 e 46 evidenciam a mesma viagem pendular, sendo ela realizada no dia 21/07/2020 (primeira etapa), tipo ponta na Linha AZ, iniciando na estação Santa Apolónia às 8 horas 27 minutos 23 segundos, realizada na sequência da medição representada na Figura 44 (tipo fundo). Nestas representações gráficas é possível identificar onde localizam-se os maiores valores de exposição, ou seja, qual trecho da viagem é mais ruidoso.

A Figura 46 indica a localização das estações referente a mesma medição da Figura 45. Desta forma, é possível identificar as estações e consequentemente caracterizar as curvas de viagem. Estas curvas representam a exposição sonora entre uma estação e outra (sequencialmente). Desta forma compreende-se que as 'curvas' (assim nomeadas) se comportam de maneira similar mesmo em percurso reverso (Figura 47).

Observa-se na Figura 45 e 46 que tanto no percurso de ida quanto no percurso de volta, o pico de exposição máxima de aproximadamente 103 dB (A) localiza-se no trecho entre as estações Terreiro do Paço (TRP) e Baixa Chiado (BCH). Na Figura 47, representamos de maneira pormenorizadas este trecho da viagem pendular em questão.

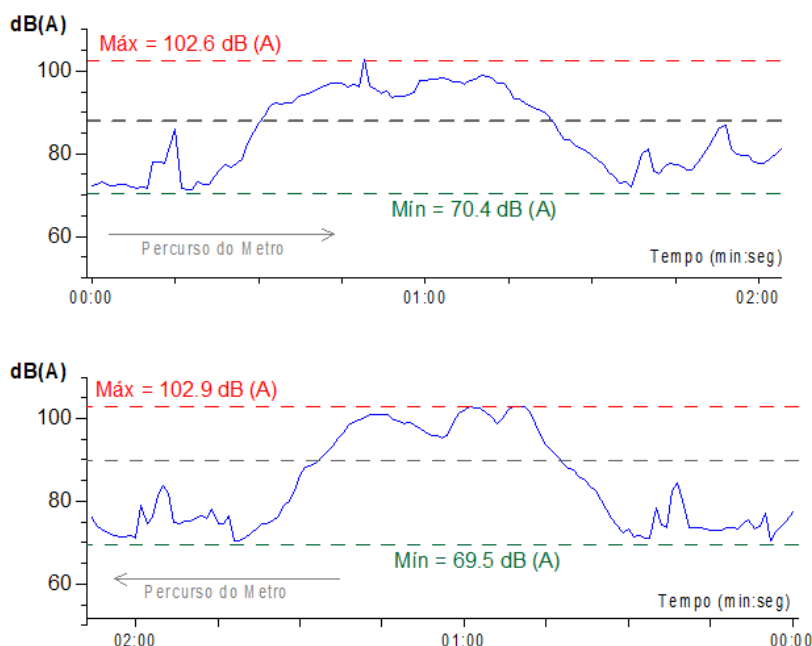


Figura 47 – Curva de viagem entre TRP e BCH dia 21/07/2020, AZ, ponta.

Importante ressaltar que o percurso de ida (parte superior da Figura 47) foi realizado em carruagem da série ML90 e o percurso de volta (parte inferior da Figura 47) foi realizado em carruagem da série ML99. O comportamento dos níveis de exposição referente a esta curva de viagem são semelhantes em ambos os casos. Entretanto é possível identificar que a viagem em carruagem ML90, o ruído se mantém na maior parte do percurso acima da média de exposição, representado pela linha pontilhada na cor cinza.

A importância de perceber o comportamento da $L_{EX,8h}$ resulta na influência que a mesma exerce na $Dose_{pendular}$, conforme a equação 3.5 e 3.6.

Na Tabela 37, a seguir, representamos as $Dose_{pendular} \geq 20\%$ de todas as viagens pendulares realizadas. Sendo estes os resultados de dose acima da média geral ($Dose_{pendular} MÁXIMA = 32,87\%$ e $Dose_{pendular} MÍNIMA = 9,16\%$). Os dados encontram-se ordenados de forma crescente separados por etapa de medição.

A partir da Tabela 37 identificamos que as cinco medições que apresentaram maior valor $Dose_{pendular}$ são (em ordem crescente): 28/07 (etapa 2) tipo Estação, 14/11 (etapa 3) tipo Fim de Semana, 21/07 (etapa 1) tipo Ponta, 21/07 (etapa 1) tipo Fundo e 25/07 (etapa 1) tipo Fim de Semana.

Tabela 37 - $Dose_{pendular} \geq 20\%$ (etapa 1, 2 e 3).

Data	Linha	Etapa	Tipo	$Dose_{pendular}$ %
25/07/2020	VR	1	Final Semana	20,19
23/07/2020	AM	1	Tarde	20,81
25/07/2020	AM	1	Final Semana	20,91
23/07/2020	AM	1	Fundo	22,29
23/07/2020	AM	1	Tarde	24,50
<u>21/07/2020</u>	<u>AZ</u>	<u>1</u>	<u>Ponta</u>	<u>31,87</u>
<u>21/07/2020</u>	<u>AZ</u>	<u>1</u>	<u>Fundo</u>	<u>32,05</u>
<u>25/07/2020</u>	<u>AZ</u>	<u>1</u>	<u>Final Semana</u>	<u>32,87</u>
<u>28/08/2020</u>	<u>AZ</u>	<u>2</u>	<u>Tarde</u>	<u>29,70</u>
19/11/2020	AM	3	Ponta	20,93
18/11/2020	VR	3	Ponta	25,09
17/11/2020	AZ	3	Ponta	29,02
14/11/2020	AZ	3	Final Semana	31,33

Porém observa-se que o tempo de exposição não é constante, ou seja, ele varia consoante a distância percorrida e velocidade da carruagem. Sendo assim correlacionamos o tempo de exposição em cada viagem pendular, bem como a distância percorrida com a $Dose_{pendular}$ das respetivas medições (Tabela 39 e 41).

Tabela 38 - Comprimento, duração e velocidade média por linha.

Linha	Comprimento viagem unitária (km)	Comprimento viagem pendular (km)	Duração média viagem pendular (min)	Velocidade média (km/h)
Azul	13,7	27,4	58' 16"	28,2
Vermelha	10,5	21,0	43' 24"	29,1
Amarela	11,1	22,2	42' 36"	31,4
Verde	8,9	17,8	40' 28"	26,5

Entretanto, consideramos o comprimento de cada linha do Metropolitano de Lisboa e a duração média por viagem pendular em horas e de forma complementar (da mesma linha respetivamente). Além da velocidade média do comboio por linha (relacionando estas variáveis com a distância e tempo médio de duração das viagens pendulares). Os resultados destas relações encontram-se na Tabela 38.

Tabela 39 - $Dose_{pendular} \%/km$ em medições da etapa 1 e etapa 3.

Data	Linha	Etapa	Tipo	$Dose_{pendular} \%$	$Dose_{pendular} \%/km$
21/07/2020		1	Fundo	32,05	1,17
21/07/2020		1	Ponta	31,87	1,16
25/07/2020	Azul	1	Final Semana	32,87	1,20
28/07/2020		1	Tarde	16,43	0,60
14/11/2020		3	Final Semana	31,33	1,14
17/11/2020		3	Ponta	29,02	1,06
22/07/2020		1	Fundo	15,12	0,72
22/07/2020		1	Ponta	13,09	0,62
25/07/2020	Vermelha	1	Final Semana	20,19	0,96
28/07/2020		1	Tarde	17,79	0,85
14/11/2020		3	Final Semana	11,13	0,53
18/11/2020		3	Ponta	13,08	0,62
18/11/2020		3	Ponta	25,09	1,19
23/07/2020		1	Fundo	22,29	1,00
23/07/2020		1	Ponta	14,95	0,67
23/07/2020		1	Tarde	20,81	0,94
23/07/2020	Amarela	1	Tarde	24,50	1,10
25/07/2020		1	Final Semana	20,91	0,94
28/07/2020		1	Tarde	9,16	0,41
14/11/2020		3	Final Semana	17,81	0,80
19/11/2020		3	Ponta	20,93	0,94
25/07/2020		1	Final Semana	12,68	0,71
27/07/2020		1	Fundo	10,71	0,60
27/07/2020	Verde	1	Ponta	9,88	0,56
27/07/2020		1	Tarde	10,82	0,61
14/11/2020		3	Final Semana	15,11	0,85
16/11/2020		3	Ponta	11,82	0,66
16/11/2020		3	Ponta	9,30	0,52

A análise entre o comprimento da linha (km) e a dose de exposição (%) resultou no maior valor $Dose_{pendular} = 1,20 \%/km$, sendo assim evidenciamos na Tabela 40 apenas $Dose_{pendular} \geq 1 \%/km$ em ordem crescente por etapa.

Tabela 40 – $Dose_{pendular} \geq 1 \%/km$.

Data	Linha	Etapa	Tipo	$Dose_{pendular} \%/km$
23/07/2020	AM	1	Fundo	1,00
23/07/2020	AM	1	Tarde	1,10
21/07/2020	AZ	1	Ponta	1,16
21/07/2020	AZ	1	Fundo	1,17
25/07/2020	AZ	1	Fim de Semana	1,20
17/11/2020	AZ	3	Ponta	1,06
14/11/2020	AZ	3	Fim de Semana	1,14
18/11/2020	VR	3	Ponta	1,19

Tabela 41 - Dose_{pendular}%/min em medições da etapa 1 e etapa 3.

Data	Linha	Etapa	Tipo	Duração _{pendular} %	Dose _{pendular} %/min
28/07/2020		1	Tarde	16,43	0,34
21/07/2020		1	Ponta	31,87	0,52
25/07/2020	Azul	1	Final Semana	32,87	0,54
21/07/2020		1	Fundo	32,05	0,56
17/11/2020		3	Ponta	29,02	0,41
14/11/2020		3	Final Semana	31,33	0,49
22/07/2020		1	Ponta	13,09	0,31
22/07/2020		1	Fundo	15,12	0,41
28/07/2020	Vermelha	1	Tarde	17,79	0,42
25/07/2020		1	Final Semana	20,19	0,51
14/11/2020		3	Final Semana	11,13	0,24
18/11/2020		3	Ponta	13,08	0,28
18/11/2020		3	Ponta	25,09	0,53
28/07/2020		1	Tarde	9,16	0,21
23/07/2020	Amarela	1	Ponta	14,95	0,34
23/07/2020		1	Tarde	20,81	0,52
23/07/2020		1	Fundo	22,29	0,54
23/07/2020		1	Tarde	24,50	0,58
25/07/2020		1	Final Semana	20,91	0,59
14/11/2020		3	Final Semana	17,81	0,35
19/11/2020		3	Ponta	20,93	0,46
27/07/2020	Verde	1	Ponta	9,88	0,26
27/07/2020		1	Tarde	10,82	0,27
27/07/2020		1	Fundo	10,71	0,29
25/07/2020		1	Final Semana	12,68	0,38
16/11/2020		3	Ponta	9,30	0,18
16/11/2020		3	Ponta	11,82	0,27
14/11/2020		3	Final Semana	15,11	0,31

Na Tabela 41, o maior valor Dose_{pendular} = 0,59 %/min, sendo assim evidenciamos na Tabela 42 apenas Dose_{pendular} ≥ 0,5%/min. Os resultados encontram-se organizados em ordem crescente por etapa.

Tabela 42 - Dose_{pendular} ≥ 0,5 %/min.

Data	Linha	Etapa	Tipo	Dose _{pendular} %/min
25/07/2020	VR	1	Fim de Semana	0,51
21/07/2020	AZ	1	Ponta	0,52
23/07/2020	AM	1	Tarde	0,52
25/07/2020	AZ	1	Fim de Semana	0,54
23/07/2020	AM	1	Fundo	0,54
21/07/2020	AZ	1	Fundo	0,56
23/07/2020	AM	1	Tarde	0,58
25/07/2020	AM	1	Fim de Semana	0,59
14/11/2020	AZ	3	Fim de Semana	0,49
18/11/2020	VR	3	Ponta	0,53

A viagem pendular do dia 25/07/2020, Linha AM, tipo fim de semana, apresentada como o maior valor quanto a $Dose_{pendular}\%/min$ (Tabela 42). Logo, na Figura 48 representamos esta viagem de forma otimizada em trecho de 16 minutos no sentido de “ida” e 14 minutos no sentido de “volta”, evidenciando as maiores exposições em dB (A).

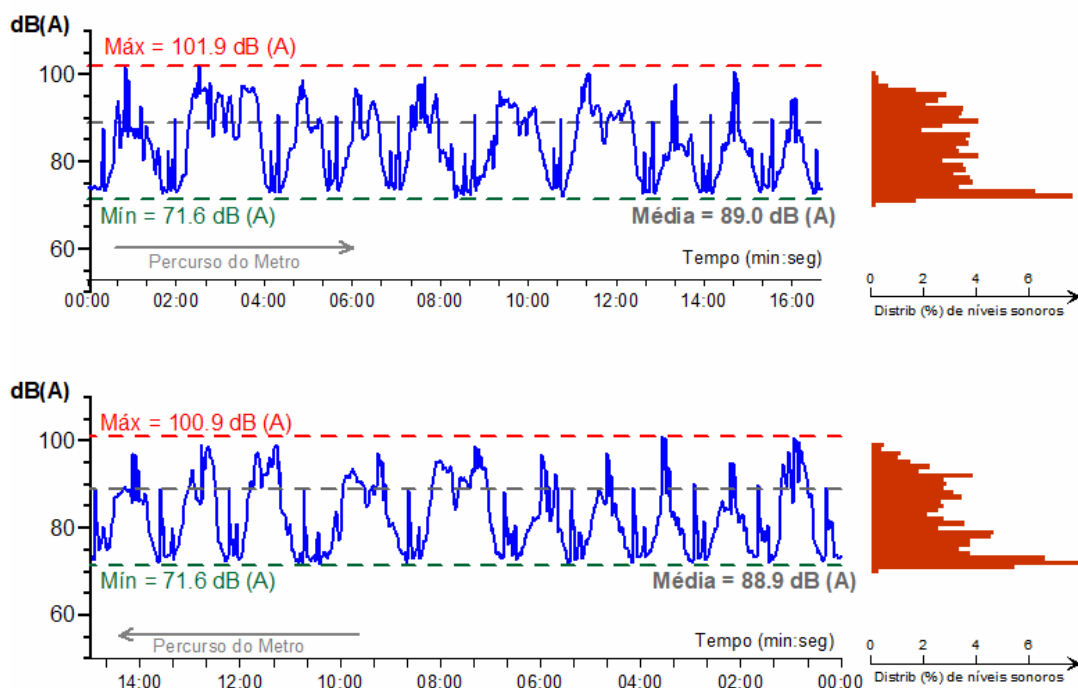


Figura 48 – Medição do dia 25/07/2020, Linha AM, fim semana (etapa 1).

A medição na Linha AZ (Final Semana) no dia 14/11/2020 (etapa 3) se fez presente entre os cinco maiores resultados obtidos na Tabela 37 ($Dose_{pendular}\%$) e Tabela 40 ($Dose_{pendular}\%/km$). Sendo assim, parte desta medição segue representada na Figura 49. Trecho com duração de 15 minutos, evidencia parte mais ruidoso da viagem pendular como um todo, entre as estações ALF e PRÇ.

A Figura 50 exhibe parte da viagem pendular realizada no dia 18/11/2020, entre as estações OLV e OLS (trecho de mais ruidoso). Esta medição resultou no segundo maior valor na Tabela 40 ($Dose_{pendular}\%/km$) além de $Dose_{pendular} > 0,5 \%/min$.

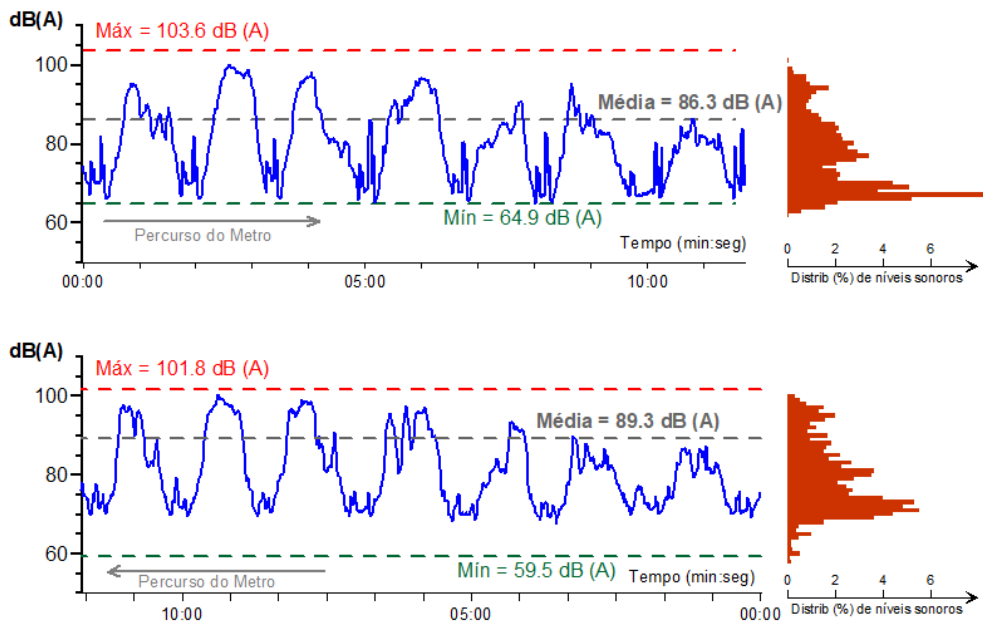


Figura 49 - Trecho viagem pendular 14/11/2020, AZ, fim semana (etapa 3)

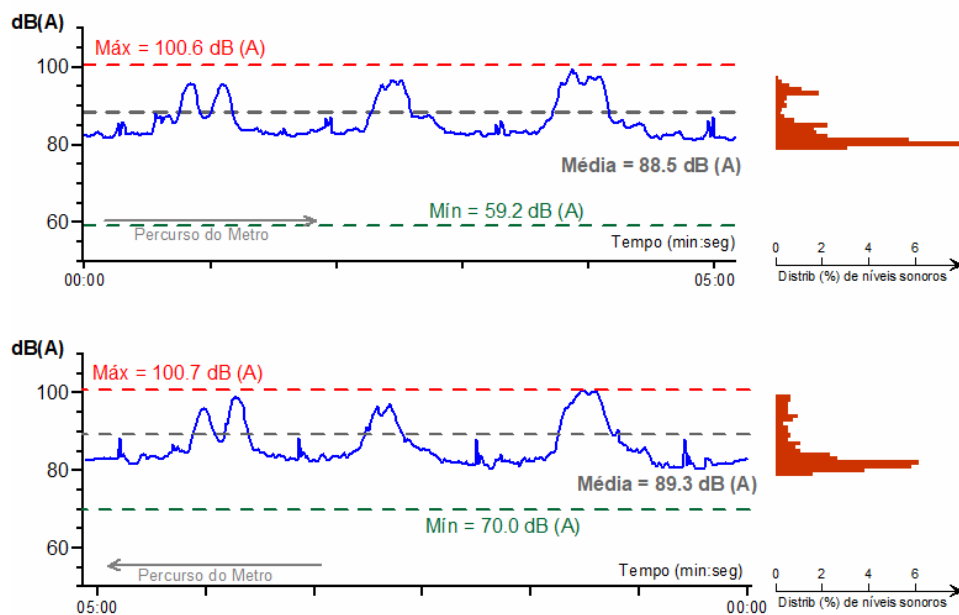


Figura 50 - Trecho viagem pendular 18/11/2020, VR, ponta (etapa 3).

Em ambos os casos (Figura 49 e 50) a indicação de valor máximo em dB (A) e valor mínimo foi apresentado respetivamente com relação a viagem completa e não somente ao trecho. Os trechos foram escolhidos atendendo à parte em que se regista a maior exposição sonora no âmbito da viagem pendular completa.

As viagens pendulares do dia 21/07/2020 (etapa 1) tipo Fundo e do dia 25/07/2020 (etapa 1) tipo Fim de Semana ambas na Linha AZ apresentam-se

entre os cinco maiores resultados na Tabela 37 ($Dose_{pendular} \geq 20\%$), na Tabela 40 ($Dose_{pendular} \geq 1\%/km$) assim como na Tabela 42 ($Dose_{pendular} \geq 0,5\%/min$). Na Tabela 43 a seguir é possível identificar tais resultados de forma resumida.

Tabela 43 – Resultados 21/07 tipo Fundo e 25/07 tipo Fim Semana (AZ).

Data	Linha	Etapa	$Dose_{pendular}\%$	$Dose_{pendular}\%/km$	$Dose_{pendular}\%/min$
21/07/2020	Az	1	32,05	1,17	0,56
25/07/2020	Az	1	32,87	1,20	0,54

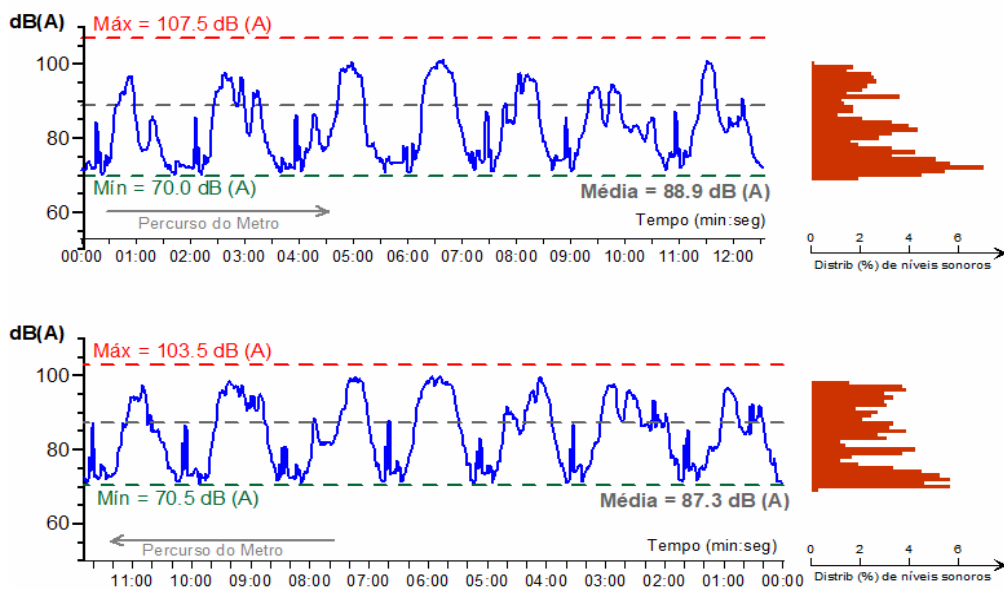


Figura 51 - Trecho viagem pendular 25/07/2020, AZ, fim semana (etapa 1).

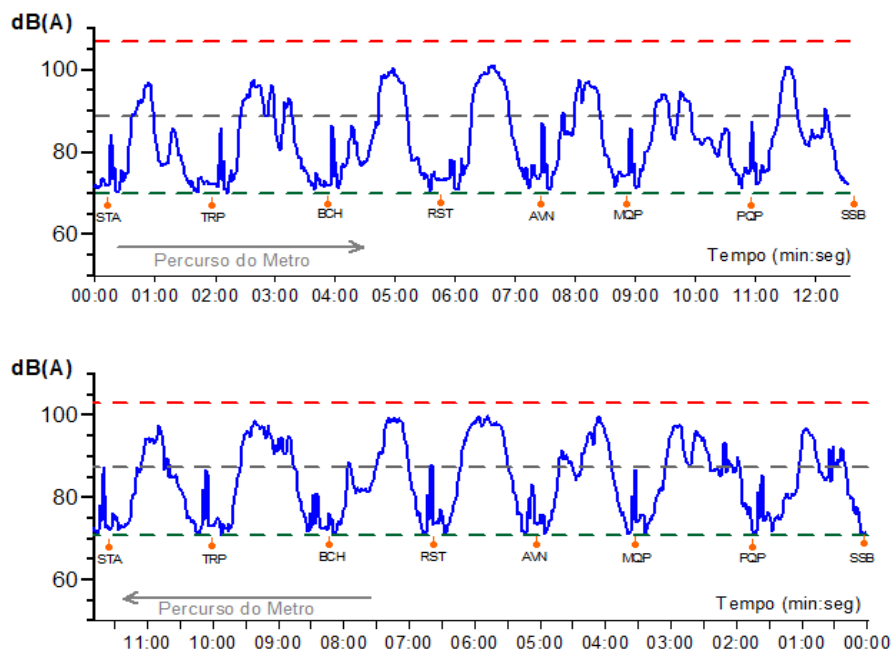


Figura 52 – Indicação das estações referente à Figura 51.

A viagem do dia 21/07/2020 (Tabela 44) encontra-se representada graficamente na Figura 44 deste capítulo. De forma complementar, vale ressaltar que a viagem unitária de ida (parte superior da Figura 44) ocorreu em carruagem da série ML95 e a viagem de volta (parte inferior da mesma figura) decorreu em carruagem pertencente a série ML90.

A medição do dia 25/07/2020 (Tabela 44) pode ser observada na Figura 51, de forma parcial. Sendo este o trecho em que as curvas de viagem localizam-se em constantes crescentes acima da média de exposição, por uma extensão equivalente a oito estações e duração de aproximadamente 12 minutos. A Figura 52 em sequência da anterior, apresenta este mesmo trecho da medição em questão, porém com a indicação e localização das respetivas estações correspondentes do ML.

A seguir evidencia-se outro trecho da medição do dia 25/07/2020 (Tabela 44), que diferente da Figura 51, neste momento, encontra-se em ambos os sentidos (viagem unitária de ida e viagem unitária de volta) o pico de exposição máximo, entre 103 e 107 dB(A). Que por sua vez, ocorrem nas curvas de viagem entre as estações ALF e CRD da Linha AZ, conforme Figura 53.

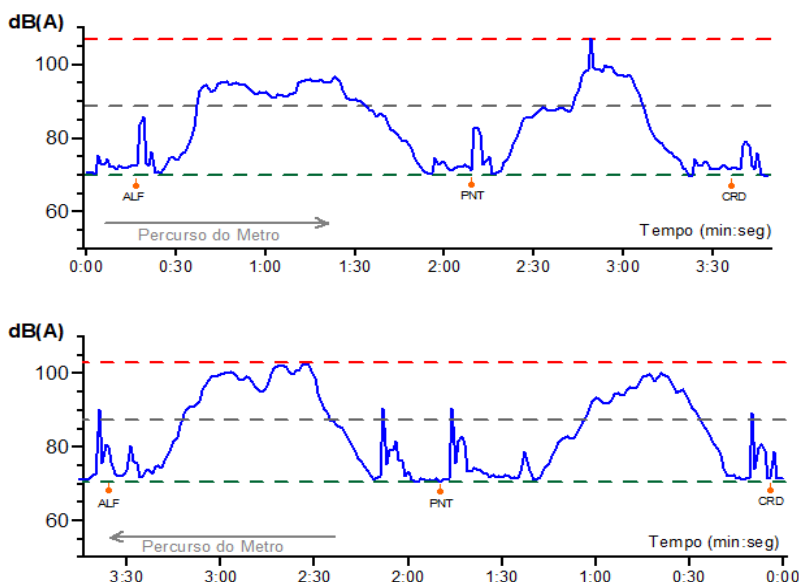


Figura 53 – Pico de exposição do 25/07/2020, AZ, fim de semana (etapa 1).

Vale ressaltar que em ambos os sentidos da composição pendular, as medições ocorreram em carruagens da série ML95.

Nas análises que fizemos em todas as viagens pendulares, identificamos que em alguns casos a abertura e fecho de portas nas estações, com o comboio parado, atingiu-se picos de exposição bastante expressivos. Em alguns casos alcança-se cerca de 90 dB (A) como na Figura 54.

Um dos relatórios publicados pelo Metropolitano de Lisboa em 2019, os mesmos indicam que foi executada a assinatura de contratos que objetivam a substituição integral dos mecanismos de portas do ML90 (acionamento elétrico) e para revisão dos mecanismos de portas das demais séries em funcionamento. De forma a “permitir um aumento significativo da fiabilidade do material circulante”. A evolução da circulação de carruagens em utilização no ML e tais substituições de algum dos materiais circulantes (de 1989 à 2020) podem ser observadas na Figura 14 (Item 5.1).

Evidencia-se nas Figuras 54 e 55 a ação de abertura de portas comparativamente em carruagens das séries ML90 e ML99. Para desconsiderar as variações provenientes da linha de medição e horário, pegamos 2 exemplos ML90 em medições distintas, assim como para com o ML99.

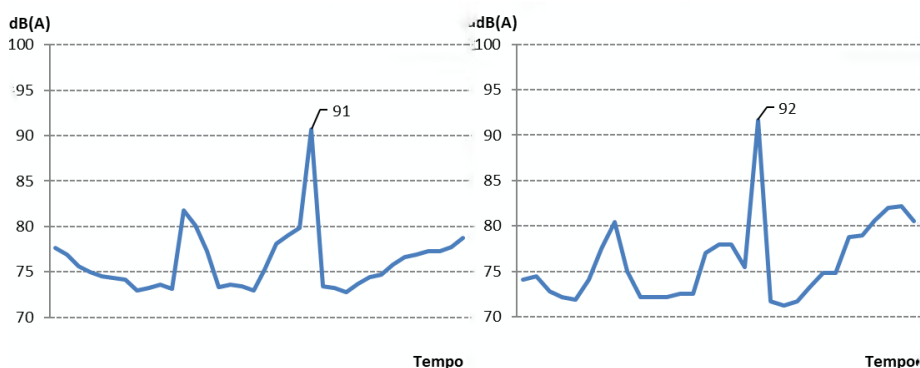


Figura 54 - Abertura de portas ML90

A Figura 54 mostra duas ações de abertura de portas em medições distintas. A ação representada do lado esquerdo da Figura 54 refere-se à medição do 21/07/2020 (fundo, Az) que ocorreu em carruagem M-242 (ML90). E a ação do lado direito da mesma figura refere-se a viagem do dia 25/07/2020 (fim de semana, Am) na carruagem M-212 (ML90). Ambas apresentam pico de 91 dB(A) e 92 dB(A) no momento de abertura portas, respetivamente.

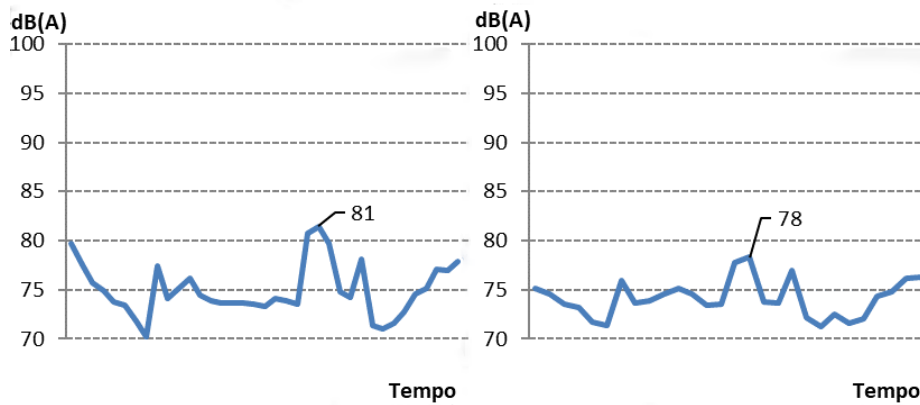


Figura 55 - Abertura de portas ML99

Na Figura 55 apresentamos do lado esquerda a abertura de portas em carruagem pertencente a série do ML99 (M- 703, medição do dia 21/07/2020 (ponta, Az), e do lado direito a abertura de portas também em carruagem pertencente a série do ML99 (M-685, medição do dia 23/07/2020, tarde, Am).

Em ambos os casos (Figuras 54 e 55) identifica-se a mesma ação em carruagem de série mais antiga e a na série mais nova (em termos de tempo de circulação). O comportamento do ruído nestes momentos, no comboio mais recente é expressivamente menor em relação ao mais antigo, ± 10 dB(A).

Conforme descrito no item 6.3 deste estudo, sistematizamos as gravações de áudio (som) gerado pelo telemóvel secundário e posteriormente as analisamos através da aplicação Adobe Audition. De forma a caracterizar os momentos de gravação e analisar as frequências e amplitudes das respetivas exposições ruidosas. Desta forma analisamos a ação de abertura e fecho de portas em determinadas.

Nas Figuras 56 e 57, é possível observar o comportamento do espectro sonoro das respetivas aberturas e fechamos de portas referente a medição realizada no dia 21/07/2020 (etapa 1, Az, ponta) iniciando na estação STA. Esta viagem pendular é composta por uma medição unitária de ida realizada em carruagem com número de série M-227 (ML90) e medição unitária de volta em carruagem M-703 (ML99).

O trecho apresenta aproximadamente um minuto e meio de duração e nela ocorre a abertura de portas, o alerta sonoro de fecho de portas, o efetivo

fecho das portas, a aceleração e deslocação do comboio, o alerta sonoro de indicação da próxima estação, a desaceleração por aproximação da próxima estação, a abertura de portas, o alerta de fecho de portas e o efetivo fecho das mesmas.

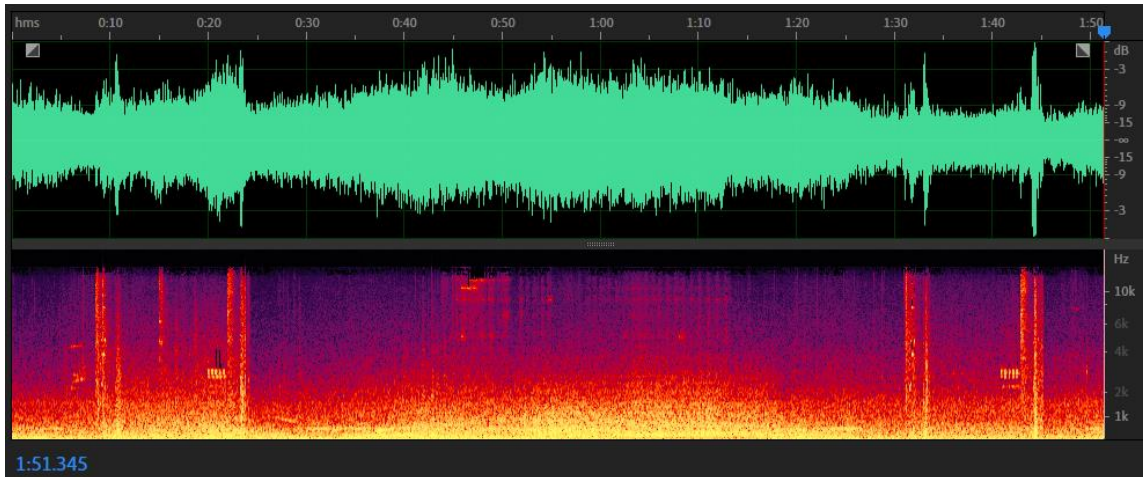


Figura 56 - Espectro do ruído de abertura e fecho de portas em ML90

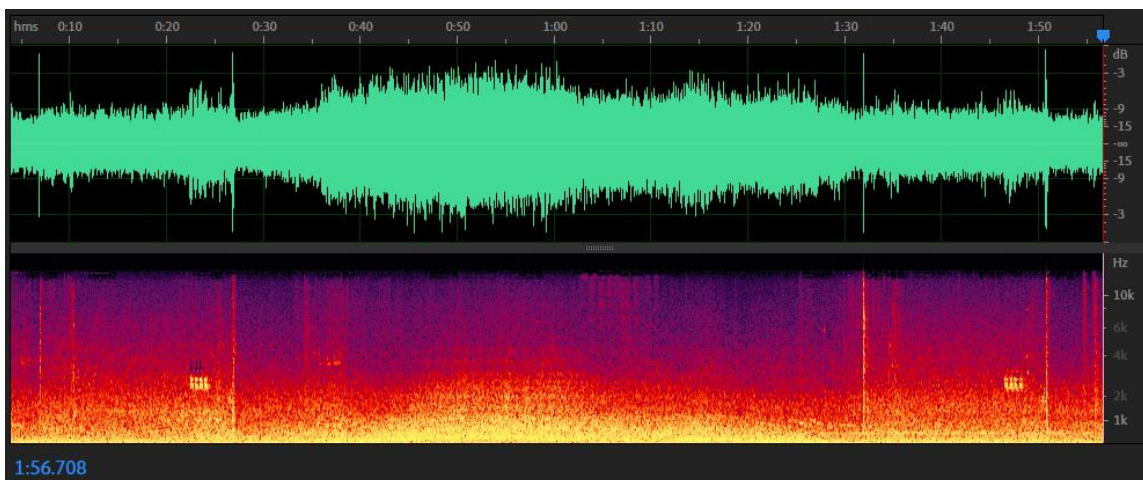


Figura 57 - Espectro do ruído de abertura e fecho de portas em ML99

Vale ressaltar que ambas as aberturas de portas na Figura 56 e 57 ocorreram entre as estações TRP e BCH e nelas é possível perceber as frequências sonoras que este ruído apresenta em determinados momentos, como por exemplo a cor intensa representa na deslocação do comboio entre as estações.

Nas Figuras 58 e 59 são representadas o espectro sonoro da mesma medição referente as Figuras 56 e 57, no entanto, amplia-se o momento da respetiva abertura de portas, alerta sonoro de fecho de portas e efetivo fecho das mesmas, com o comboio parado no cais da estação TRP.

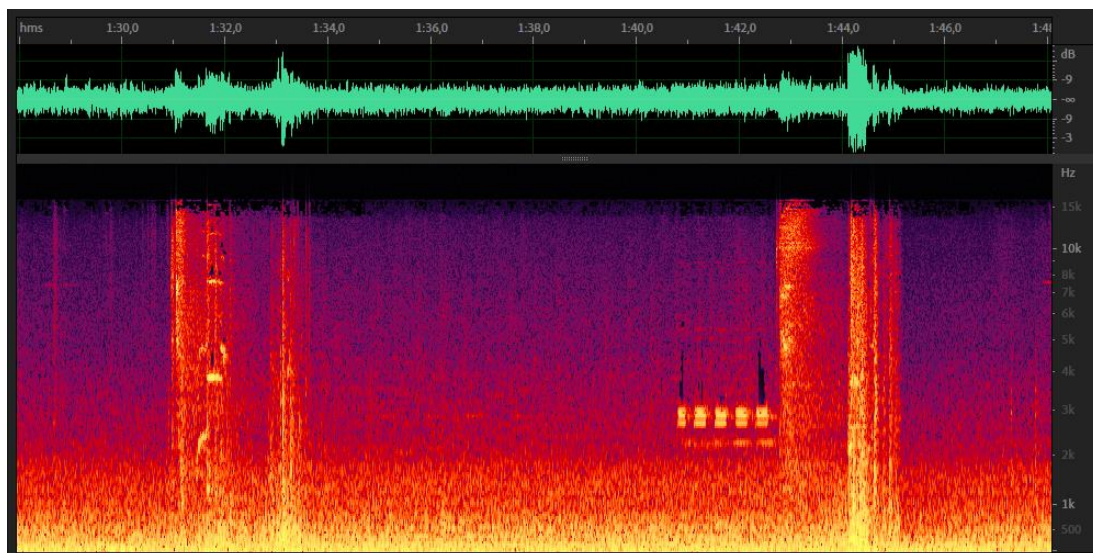


Figura 58 – Espectro ampliado do ruído de abertura de portas em ML90

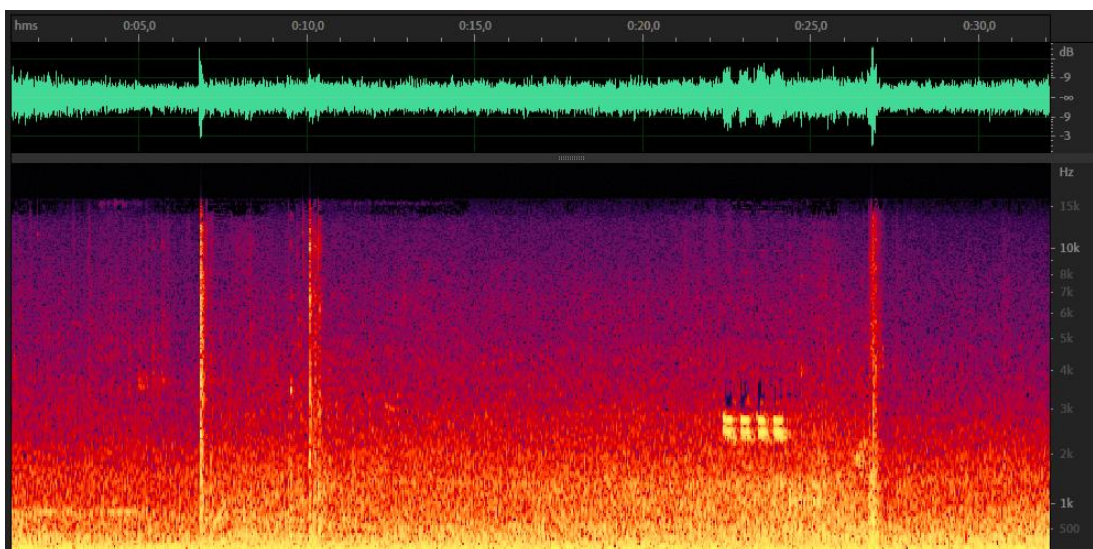


Figura 59 - Espectro ampliado do ruído de abertura de portas em ML99

Os espectros da frequência das exposições acima (Figura 58 e 59) caracterizam o destravar das portas, movimento de abertura e finalização da ação. Seguido do ruído com as portas abertas, comboio parado, entretanto em funcionamento. E por fim, os toques de alerta de fecho de portas (carruagem ML99 são cinco toques com duração mais longa que a carruagem ML90 com

quatro toques com intervalo mais curto entre si), continuado pelo destravar das portas, ação de fecho e efetivo ruído de impacto no fecho seguido pelo travar de portas (que todas as carruagens emitem).

Quanto mais clara a cor representada no espectro sonoro maior é a densidade de oscilação das ondas na frequência escalada. Por exemplo, o toque de alerta de portas na Figura 58 encontra-se equivalente a 3.000 Hz, isso indica que o tom do ruído em questão é agudo.

Assim como a abertura e fecho de portas, o ruído na viagem entre estações no ML90, é expressivamente muito mais agudo (como exemplificado no espectro sonoro) diretamente proporcional ao volume sonoro também muito mais elevados (como evidenciado nos gráficos das viagens pendulares) quando comparados a séries que apresentam entrada de serviço mais recente (ML99, por exemplo).

8.

Estudos anteriores e suas resultantes comparativas

No item 1.1, deste estudo, mencionou-se algumas referências publicadas na área de desenvolvimento do nosso tema em questão.

Nestas publicações, identificamos algumas semelhanças para tais como a metodologia em que utilizamos, a legislação que nos orientou quanto aos cálculos de médias e exposição, e desta forma, decidimos comparar os resultados obtidos com os resultados destas referências. Considerando apenas as publicações mais recentes (últimos seis anos).

Tabacchi *et al.* (2011), constatou que em uma viagem com 26 observações/transferências entre comboios e linhas do metropolitano de Madrid, a maior exposição média mencionada na publicação é igual a 82,3 dB (A) (média logarítmica) e o tempo de duração desta exposição foi de 160,3 minutos, equivale a aproximadamente 1,95 dB (A)/min. Em comparação aos resultados do nosso estudo a maior média de exposição é igual a 89 dB (A) com duração de 42,17 minutos, o que equivale a 2,11 dB (A)/min (referente a viagem pendular do dia 23/07/2020, Linha AM, tipo Tarde, desenvolvida na primeira etapa de medição). Importante ressaltar que a metodologia aplicada nesta publicação é bastante semelhante a aplicada no nosso estudo.

Han *et al.* (2016), expõe que “o nível de ruído médio equivalente nas estações e viagens em geral, resulta um pouco mais de 65 dB (A)”. Neste caso, não podemos comparar com os nossos resultados por falta de clareza na metodologia aplicada e falta de dados referente a memória de cálculo para a média utilizada. E mesmo que consideremos os resultados comparáveis, este se encontra abaixo das médias que encontramos no ML.

Yao *et al.* (2017), divulgou os resultados em publicação que resumidamente diz que “o ruído médio em plataformas do metropolitano de Toronto (80,9 +/- 3,9 dBA) eram maiores do que as médias de exposição ao ruído dentro das carruagens (76,8 +/- 2,6 dBA)”, porém se mantinham dentro dos limiares de exposição conforme legislação em vigor até a publicação que apontava para $L_{EX,8h} = 90$ dB (A). Levando em consideração que a metodologia aplicada ao estudo desenvolvido em Toronto é semelhante com a metodologia aplicada ao nosso trabalho, considera-se plausível a comparação dos resultados entre si.

Sendo assim, a média máxima de exposição ao ruído no metropolitano de Toronto em 2016 equivalente a 79 dB (A), e a média máxima de exposição ao ruído em uma viagem pendular no metropolitano de Lisboa em 2020 equivale a 89 dB (A), uma diferença de - 10 dB (A) em relação a média logarítmica máxima. Conforme pode ser observado nos itens 7.1 e 7.3 deste estudo, o valor mínimo obtido neste estudo equivale a 84 dB (A) (referente a medição do dia 16/11/2020, Linha VD, tipo ponta). Comparando o valor mínimo obtido no nosso estudo com o valor máximo no estudo de Yao *et al.* (2017) o ML apresenta uma diferença superior equivalente a + 5 dB (A).

Garbala & Agustina (2015), diz que “os níveis de exposição ao ruído na utilização do metropolitano de Londres não excedem os limites de exposição estabelecidos por normativas vigentes no ano da publicação” e em tabela o autor apresentou a média de exposição ao ruído ($L_{EX,8h}$) no metropolitano de Londres em 2015 igual a 73 dB (A) em duração equivalente a 74 minutos. Comparando com a menor média de exposição ao ruído do nosso estudo, equivalente a 84 dB (A) o ML apresenta cerca de + 11 dB (A) quando comparado com o metropolitano de Londres. Vale ressaltar que Garbala & Agustina (2015) também apresentam metodologia de medição e cálculo semelhante ao do nosso estudo, e por este motivo foi comparado os respectivos resultados com os resultados deste desenvolvimento.

9.

Conclusões

O estudo permitiu analisar a contribuição do ruído na exposição diária em viagens pendulares no Metropolitano de Lisboa. Segundo os procedimentos de cálculo nas legislações e regulamentações adequadas, conclui-se que grande parte dos resultados obtidos da média de exposição em viagens pendulares mantiveram-se acima do Valor Limite de Exposição (VLE). Sendo, 67,85% de $L_{EX,8h} \geq VLE$, 28,57% $L_{EX,8h} \geq VAS$ e por fim, 3,57% de $L_{EX,8h} \geq VAI$.

Quanto a $Dose_{pendular}$, $Dose_{pendular}/km$ e $Dose_{pendular}/min$ a Linha AZ expressou os maiores valores, maioritariamente na primeira etapa. Assim como também apresentou os maiores tempos de exposição por se tratar da linha de maior dimensão.

Quando considerado a exposição de uma viagem pendular prolongada a oito horas de trabalho ($Dose_{8h}$) cerca de 91,07% das $Dose_{pendular}$ resultaram em 122,75%, ou seja, 22,75% acima dos 100% permitido diariamente.

A etapa 1 revelou em geral valores de $Dose_{pendular}$ superiores quando comparado com a etapa 3. Além disso expôs maiores tempos de duração para as mesmas viagens pendulares em datas distintas. Por exemplo, a viagem pendular do dia 25/07/2020 (AZ, Final Semana) que resultou em $Dose_{pendular}=32,87\%/min$ da dose diária, a medição do dia 21/07/2020 (AZ, Fundo) que resultou em $Dose_{pendular}= 32,05\%/min$ da dose limite diária e por fim, a medição do dia 21/07/2020 (AZ, Ponta) que resultou em $Dose_{pendular}=31,87\%/min$.

Vale ressaltar na conclusão deste estudo que o ruído de abertura e fecho de portas que ocorrem nos materiais circulantes correspondentes ao número de série ML90, com entrada em serviço estimada em 1993/1996, apresentam cerca

de 12 dB(A) a mais na ação mecânica quando comparado com carruagens da série ML99, que entraram ao serviço em 2000 (Figura 14).

Os materiais utilizados para realização das medições planeadas mostraram-se credíveis e de fácil utilização, cumprindo assim o objetivo do trabalho.

O desenvolvimento do estudo mostrou-se sensível quanto a ausência de legislação específica com relação ao ruído em transporte ferroviários, e exposição não ocupacional ao ruído em termos quantitativos, sendo assim falta de método normalizada de forma a comparar os resultados obtidos. Também se sentiu falta de clareza por parte da prestadora de serviços em seus relatórios publicados em meios públicos (por exemplo, o relatório de sustentabilidade, sendo este o único dos quais consta alguma evidência sobre o ruído), assim como evidências sobre isolamento acústico, graus de incomodidade e medidas possivelmente relacionadas a mitigação do ruído no interior do material circulante.

Os resultados das medições nas estações (etapa 2) geraram valores considerados relevantes quanto a exposições de duração média igual a 21 minutos. Porém sabendo-se que um indivíduo permanece no cais da estação um terço deste tempo (conforme item 6.3 e 7.2) as doses de exposição acabam por sustentar menos de 0,2%/min de influência na exposição total diária. Como por exemplo, a exposição de 21m 55s na estação AEP dia 24/08/2020 com Dose de exposição igual à 3,86% (o maior valor contabilizado nesta etapa), o que equivale a 0,18%/min. Assim como a exposição de 21m 50s de duração na estação SDH dia 24/08/2020 com Dose = 3,18% (o segundo maior valor contabilizado nesta etapa) que resulta a 0,15%/min.

Os resultados mostram que os passageiros do Metropolitano de Lisboa são expostos a doses elevadas de ruído durante as suas viagens neste meio de transporte. A principal fonte de ruído tem origem nos rodados e no abrir/fechar de portas. O ML deveria ponderar diminuir esta fonte de ruído. Efetivamente, quem realiza várias viagens no ML por dia, acumula uma dose razoável de exposição ao ruído que pode mesmo ultrapassar os limites legais.

Com a retomada socioeconómica, com referência a pandemia do SARS-CoV-2, sugere-se que seja feita uma nova monitorização em termos de utilização normal do Metropolitano de Lisboa, envolvendo também as horas de fundo, horários de ponta, horários da tarde, em dias úteis e fins de semana, para as várias linhas do Metropolitano de Lisboa. Bem como a realização de uma nova campanha de monitorização para as estações, principalmente aquelas que apresentam conexões entre linhas.

Sugere-se também que seja monitorizado a exposição de trabalhadores que utilizam mais de um meio de transporte público em percursos que se iniciam ao redor da grande Lisboa e que objetivam a deslocação para o centro de Lisboa, em rotinas diárias de deslocação para o trabalho. Fazendo desta forma, a soma de exposições entre percursos de comboio, autocarro e metro.

Será interessante, também avaliar as exposições das linhas suburbanas de comboio, como Linha de Azambuja, Linha de Sintra, Linha de Cascais e Linha de Setúbal, em horários previamente estabelecidos com a base nos horários de maior circulação de utilizadores.

10.

Referências

- AESST. (2005). *O impacto do ruído no trabalho*. Fonte: Agência Europeia para a Segurança e a Saúde no Trabalho: <https://osha.europa.eu/pt/publications/factsheet-57-impact-noise-work/view>
- Aly, M. E. (2004). *Noise assessment inside the second-line of the Greater Cairo*. Fonte: *Sadhana* 30, 47–55: <https://doi.org/10.1007/BF02710078>
- AMT. (2019). *Ecossistema dos metropolitano em Portugal 2012 à 2017*. Fonte: Autoridade da Mobilidade e dos Transportes: https://www.amt-autoridade.pt/media/2031/relatorio_sistemas_metro_em_portugal_2012_2017.pdf
- APA. (2019). *Guia prático de Harmonização da Aplicação das Licenças Especiais de Ruído*. Fonte: https://apambiente.pt/_zdata/DESTAQUES/2017/GuiasRelatorios/Guia_LER.pdf
- Berardi, U., Iannace, G., & Giordano, G. (2015). *Acoustic Characteristics of Four Subway Stations in Naples, Italy*. Fonte: Conference Internoise 2015 at San Francisco, USA: https://www.researchgate.net/publication/282186553_Acoustic_Characteristics_of_Four_Subway_Stations_in_Naples_Italy
- Castle Group. (2020). *Noise - What is Dose and how is it calculated?* Fonte: <https://www.castlegroup.co.uk/guidance/noise-at-work-assessments/dose/>
- Coelho, J. B., & Ferreira, A. J. (2009). *Critérios para análise de relações exposição-impacte do ruído de infra-estruturas de transporte*. Fonte: APA:

https://apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/NotasTecnicas_EstudosReferencia/Criterios_analise_relacoes_exposicao_impacte_ruido_infra_estruturas_transporte.pdf

Costa, H. S. (2009). *Exposição ao ruído ocupacional e sua repercussão na saúde dos trabalhadores da empresa CMP-Maceira*. Fonte: <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/13477>

Decreto-Lei nº 129/2002, Diário da República n.º 109/2002, Série I-A de 2002-05-11. (Disponível em <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/129/2002/05/11/p/dre/pt/html>, última visualização a 17 de dezembro de 2021.).

Decreto-Lei nº 1291/1990, Diário da República n.º 218/1990, Série I de 1990-09-20. (Disponível em <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/291/1990/09/20/p/dre/pt/html>, última visualização a 18 de janeiro de 2021.).

Decreto-Lei nº 146/2006, Diário da República n.º 146/2006, Série I de 2006-07-31. (Disponível em <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/146/2006/07/31/p/dre/pt/html>, última visualização a 25 de janeiro de 2021.).

Decreto-Lei nº 182/2006, Diário da República n.º 172/2006, Série I de 2006-09-06. (Disponível em <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/182/2006/09/06/p/dre/pt/html>, última visualização a 22 de janeiro de 2021.).

Decreto-Lei nº 186/1990, Diário da República n.º 130/1990, Série I de 1990-06-06. (Disponível em <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/186/1990/06/06/p/dre/pt/html>, última visualização a 20 de fevereiro de 2021.).

Decreto-Lei nº 49/2001, Diário da República n.º 37/2001, Série I-A de 2001-02-13. (Disponível em <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/49/2001/02/13/p/dre/pt/html>, última visualização a 20 de março de 2021.).

Decreto-Lei nº 76/2002, Diário da República n.º 72/2002, Série I-A de 2002-03-26. (Disponível em <https://data.dre.pt/eli/dec-lei/76/2002/03/26/p/dre/pt/html>, última visualização a 22 de dezembro de 2021.).

Dias, R. A. (Fevereiro de 2012). O Som e o ruído nos jardins. Porto, Portugal: FEUP.

Directiva (UE) 2015/996 da Comissão, de 19 de maio de 2015, Jornal Oficial nº L 168 de 01/07/2015 p. 0001 - 0823. (Disponível em <http://data.europa.eu/eli/dir/2015/996/oj>, última visualização a 12 de fevereiro de 2021.).

Directiva 2000/14/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 08 de maio de 2000, Jornal Oficial nº L 162 de 03/07/2000 p. 0001 - 0078.. (Disponível em <http://data.europa.eu/eli/dir/2000/14/oj>, última visualização a 29 de dezembro de 2020).

Directiva 2001/42/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de junho de 2001, Jornal Oficial nº L 197 de 21/07/2001 p. 0030 - 0037. (Disponível em <http://data.europa.eu/eli/dir/2001/42/oj>, última visualização a 16 de novembro de 2020.).

Directiva 2002/30/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 26 de março de 2002, Jornal Oficial nº L 085 de 28/03/2002 p. 0040 - 0046. (Disponível em <http://data.europa.eu/eli/dir/2002/30/oj>, última visualização a 04 de fevereiro de 2021.).

Directiva 2002/44/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de junho de 2002, Jornal Oficial nº L 177 de 06/07/2002 p. 0013 - 0020. (Disponível em <http://data.europa.eu/eli/dir/2002/44/oj>, última visualização a 02 de fevereiro de 2021.). .

Directiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de junho de 2002, Jornal Oficial nº L 189 de 18/07/2002 p. 0012 - 0025. (Disponível em <http://data.europa.eu/eli/dir/2002/49/oj>, última visualização a 02 de fevereiro de 2021.).

Directiva 2003/10/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 06 de fevereiro de 2003, Jornal Oficial nº L 042 de 15/02/2003 p. 0038 - 0044. (Disponível em <http://data.europa.eu/eli/dir/2003/10/oj>, última visualização a 03 de fevereiro de 2021.).

Directiva 2003/613/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 06 de agosto de 2003, Jornal Oficial nº L 212 de 22/08/2003 p. 0049 - 0064. (Disponível em <http://data.europa.eu/eli/reco/2003/613/oj>, última visualização a 04 de fevereiro de 2021.).

Directorate General for Employment, Social Affairs and Inclusion (European Commission). (2011). *Guia indicativo de boas práticas para a aplicação da Directiva 2003/10/CE "Ruído no Trabalho"*. Fonte: Publications Office of the European Union: DOI 10.2767/29834

Diretiva 86/662/EEC do Parlamento Europeu e do Conselho, de 22 de dezembro de 1986, Jornal Oficial nº L 384 de 31/12/1986 p. 0001 - 0011. (s.d.). Disponível em <http://data.europa.eu/eli/dir/1986/662/oj>, última visualização a 14 de fevereiro de 2021.

Freitas, L. (2016). *Manual de Segurança e Saúde do Trabalho - Guia de Legislação*. Lisboa: Edições Sílabo Lda.

Garbala, M., & Agustina, L. (2015). *Passenger noise exposure in London underground*. Fonte: Proceedings of the Institute of Acoustics: https://www.researchgate.net/publication/282323419_Passenger_noise_exposure_in_London_underground

Hall, J. (2011). *Tratado de Fisiologia Médica*. Rio de Janeiro: Elsevier.

IGAS. (2018). Manual de Segurança e Saúde no Trabalho. (Despacho nº 563/2018). Disponível em: http://www.igas.min-saude.pt/wp-content/uploads/2017/04/Manual_Seguranca_e_saude_no_trabalho.pdf, última visualização a 17 de setembro de 2021.

INE. (2011). *Censos 2011, Resultados Definitivos - Região Lisboa*. Fonte: Instituto Nacional de Estatística, Statistics Portugal: https://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=ine_censos_p

publicacao_det&contexto=pu&PUBLICACOESpub_boui=156651739&PUBLICACOESmodo=2&selTab=tab1&pcensos=61969554

- INE. (2018). *Inquérito à Mobilidade nas Áreas Metropolitanas do Porto e de Lisboa*. Fonte: Instituto Nacional de Estatística, Statistics Portugal: https://www.ine.pt/ngt_server/attachfileu.jsp?look_parentBoui=334858898&att_display=n&att_download=y
- INE. (2018). *Mobilidade e funcionalidade do território nas Áreas Metropolitanas do Porto e de Lisboa 2017*. Fonte: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=349495406&PUBLICACOESmodo=2&xlang=pt
- INE. (2018). *Predomínio do automóvel nas deslocações dos residentes das Áreas Metropolitanas de Porto e Lisboa*. Fonte: Instituto Nacional de Estatística, Statistics Portugal: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_destaques&DESTAQUESdest_boui=334858129&DESTAQUESmodo=2&xlang=pt
- INE. (2020). *Boletim Mensal de Estatística*. Fonte: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=430023502&PUBLICACOESmodo=2
- ISO. (2011). *Norma Portuguesa. Acústica. Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente. Parte 1: Grandezas funcionais e métodos de avaliação*. Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade (IPQ).
- ISO. (2011). *Norma Portuguesa. Acústica. Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente. Parte 2: Determinação dos níveis de pressão sonora do ruído ambiente*. Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade (IPQ).
- ISO. (2019). *Norma Portuguesa. Acústica. Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente. Parte 1: Grandezas funcionais e métodos de avaliação*. Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade (IPQ).
- ISO. (2019). *Norma Portuguesa. Acústica. Descrição, medição e avaliação do ruído ambiente. Parte 2: Determinação dos níveis de pressão sonora do*

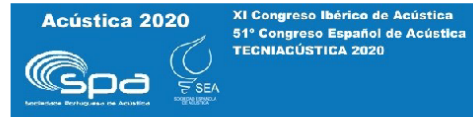
- ruído ambiente. Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade (IPQ).*
- Jieun Han, Soon-Bark Kwon, & Shungyoon Chun. (2016). *Indoor environment and passengers' comfort in subway stations in Seoul.* Fonte: Building and Environment: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.05.008>
- Kardous, C., & Shaw, P. (2014). *Do Sound Meter Apps Measure Noise Levels Accurately?* Fonte: National Institute for Occupational Safety and Health: <http://www.sandv.com/downloads/1507kard.pdf>
- Lutman, M., Coles, R., & Buffin, J. (2015). *Guidelines for quantification of noise-induced hearing loss in a medicolegal context.* Fonte: Journal Clinical Otorhinolaryngology: <https://doi.org/10.1111/coa.12569>
- Maia, P. (2002). *Estimativa de exposições não contínuas a ruído.* São Paulo, Brasil: Ministério do trabalho e emprego.
- Matos, J. T. (Dezembro de 2018). *Caracterização do perfil de ruído em vias de grande tráfego em Lisboa.* Lisboa, Portugal: ISEL.
- Matos, J., Fradique, J., Tavares, L., Guedes, M., & Leite, M. (2020). *Guia prático para medições de ruído ambiente - no contexto do Regulamento Geral do Ruído tendo em conta a NP ISO 1996.* Fonte: APA: <https://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=86&sub2ref=532>
- McGillivray, K. (2017). *Travelling by public transit in Toronto exposes you to damaging bursts of sound, study says.* Fonte: CBC: <https://www.cbc.ca/news/canada/toronto/toronto-commute-noise-damage-1.4414767#:~:text=Toronto-Travelling%20by%20public%20transit%20in%20Toronto%20exposes%20you%20to%20damaging,according%20to%20a%20new%20study.>
- Metropolitano de Lisboa. (2019). *Relatório Integrado - 2019.* Fonte: Metro Lisboa: Disponível em <https://www.metrolisboa.pt/institucional/informar/relatorios-e-documentos/>
- Murphy, E., & King, E. (2015). *Testing the accuracy of smartphones and sound level meter applications.* Fonte: Applied Acoustics: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.12.012>

- Murphy, E., & King, E. A. (2014). *Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy*. San Diego,: Elsevier.
- Murphy, E., King, A., Rahusen, S., & et al. (2015). *Exploring the accuracy of smartphone applications for*. Fonte: International Institute of Noise Control Engineering: <http://internoise2015.com/>
- Northwood, T. D. (1954). *Noise Produced by Brakes on Toronto Subway Trains*.
Fonte: National Research Council of Canada:
<http://doi.org/10.4224/20338178>
- OMS. (2011). *Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe*. Fonte: World Health Organization:
https://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/e94888/en/
- OMS. (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. Fonte: World Health Organization:
<https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>
- Pao-Chiang Chao, Yow-Jer Juang, Chiou-Jong Chen, Yu-Tung Dai, Ching-Ying Yeh, & Ching-Yao Hu. (Junho de 2013). *Combined effects of noise, vibration, and low temperature on the physiological parameters of labor employees*. Fonte: <https://doi.org/10.1016/j.kjms.2013.03.004>
- Pujol, R. (Disponível em <http://www.cochlea.eu/po/ouvido-generalidades>, última visualização a 29 de maio de 2021.). Ouvido: Generalidades.
- Ramos, C., Lopes, J., & Silva, M. (2018). *Levantamento de informações sobre os efeitos na saúde humana associados à exposição ao ruído ambiente*.
Fonte: APA & ESTeSL:
https://apambiente.pt/_cms/view/page_doc.php?id=451
- Roberts, B., Kardous, C., & Neitzel, R. (2016). *Improving the accuracy of smart devices to measure noise exposure*. Fonte: Journal of Occupational and Environmental Hygiene: <https://doi.org/10.1080/15459624.2016.1183014>
- Rossatto, F., Heissler, R., Pires, J., & Oliveira, M. (2020). *Análise de ruído metroviário de plataforma de embarque e de desembarque nas estações*

- da região metropolitana de Porto Alegre*. Fonte: XXVIII Encontro da SOBRAC: DOI: 10.17648/sobrac-87047
- Santos, M., & Almeida, A. (Março de 2016). *Ruído e saúde ocupacional: Consequências para além da hipoacusia*. Fonte: Revista Portuguesa de Saúde Ocupacional (RPSO): <https://www.rpso.pt/ruído-e-saúde-ocupacional/>
- Shaw, P., & Kardous, C. (2014). *Evaluation of smartphone sound measurement applications*. Fonte: The Journal of the Acoustical Society of America: <https://doi.org/10.1121/1.4865269>
- Shaw, P., & Kardous, C. (s.d.). *Evaluation of smartphone sound measurement applications (apps) using external*. Fonte: The Journal of the Acoustical Society of America: <https://doi.org/10.1121/1.4964639>
- Silva, M. A. (Setembro de 2012). *Medição e avaliação do ruído ambiente - Estudo dos fatores que condicionam a determinação dos níveis de pressão sonora*. Fonte: IPV: <http://hdl.handle.net/10400.19/1510>
- Sun, K., & Zhang, W. (2016). *Combined Annoyance Assessment of Subway Train-Induced Structural Vibration and Ambient Noise*. Fonte: Hindawi Publishing Corporation: <http://dx.doi.org/10.1155/2016/3028037>
- Tabacchi, M., Pavón, I., Ausejo, M., Asensio, C., & Recuero, M. (2011). *Assessment of Noise Exposure During Commuting in the Madrid Subway*. Fonte: Journal of Occupational and Environmental Hygiene: <https://doi.org/10.1080/15459624.2011.600237>
- Tontechnik Rechner. (2021). Calculation of the speed of sound in air and the effective temperature. (Disponível em <http://www.sengpielaudio.com/calculator-speedsound.htm>, última visualização a 23/09/2021).
- Yao, C., Ma, A., Cushing, S., & Lin, V. (2017). *Noise exposure while commuting in Toronto, a study of personal and public transportation in Toronto*. Fonte: Journal of Otolaryngology, Head & Neck Surgery: <http://dx.doi.org/10.1186/s40463-017-0239-6>

Anexos

Anexo 1 – Resumo submetido ao XI Congresso Ibérico de Acústica



EXPOSIÇÃO DOS PASSAGEIROS AO RUÍDO NO METRO DE LISBOA

Manuel Matos^{1,2}, Bruna Delgado¹, Joel Paulo¹

¹ISEL-Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal

²IT-Instituto de Telecomunicações, Lisboa, Portugal

{manuel.matos@isiel.pt, A45599@alunos.isiel.pt, jpaulo@deetc.isiel.ipl.pt}

Resumo

O ruído ambiente contribui determinadamente para o bem-estar e saúde das pessoas. A exposição dos cidadãos, enquanto trabalhadores, tem legislação própria e a exposição ao ruído é limitada e controlada. Contudo, a exposição ao ruído nas viagens casa-trabalho-casa não são usualmente contabilizadas. Temos como exemplo as deslocações em Metropolitano na cidade de Lisboa em que se registaram níveis de emissão sonora elevados nesta infraestrutura de transporte. Este ruído é uma exposição efetiva a que os utentes estão expostos e que importa quantificar.

Para avaliar a exposição ao ruído no Metropolitano de Lisboa foi realizada uma campanha de medições de ruído em contínuo em todas as linhas desta rede de transporte. Realizou-se um conjunto de medições no período pré e pós estado de emergência devido à Covid-19.

O estudo mostra que os cerca de 170 milhões de passageiros transportados por ano no Metropolitano de Lisboa, estão expostos a elevados níveis de ruído durante as viagens. Este assunto deverá ser encarado na ótica das questões de saúde pública e deverão ser procuradas estratégias de mitigação do ruído no Metropolitano de Lisboa.

Palavras-chave: exposição ao ruído, Metropolitano de Lisboa, passageiros, transportes públicos.

Abstract

Environmental noise contributes decisively to people's well-being and health. The exposure of citizens as workers has its own legislation and exposure to noise is limited and controlled. However, noise exposure during home-work-home travel is not usually accounted for. We have as an example the journeys in the subway in the city of Lisbon (Metropolitano de Lisboa), where high levels of noise emission were registered in this transport infrastructure. This noise is an effective exposure to which users are exposed and it is important to quantify.

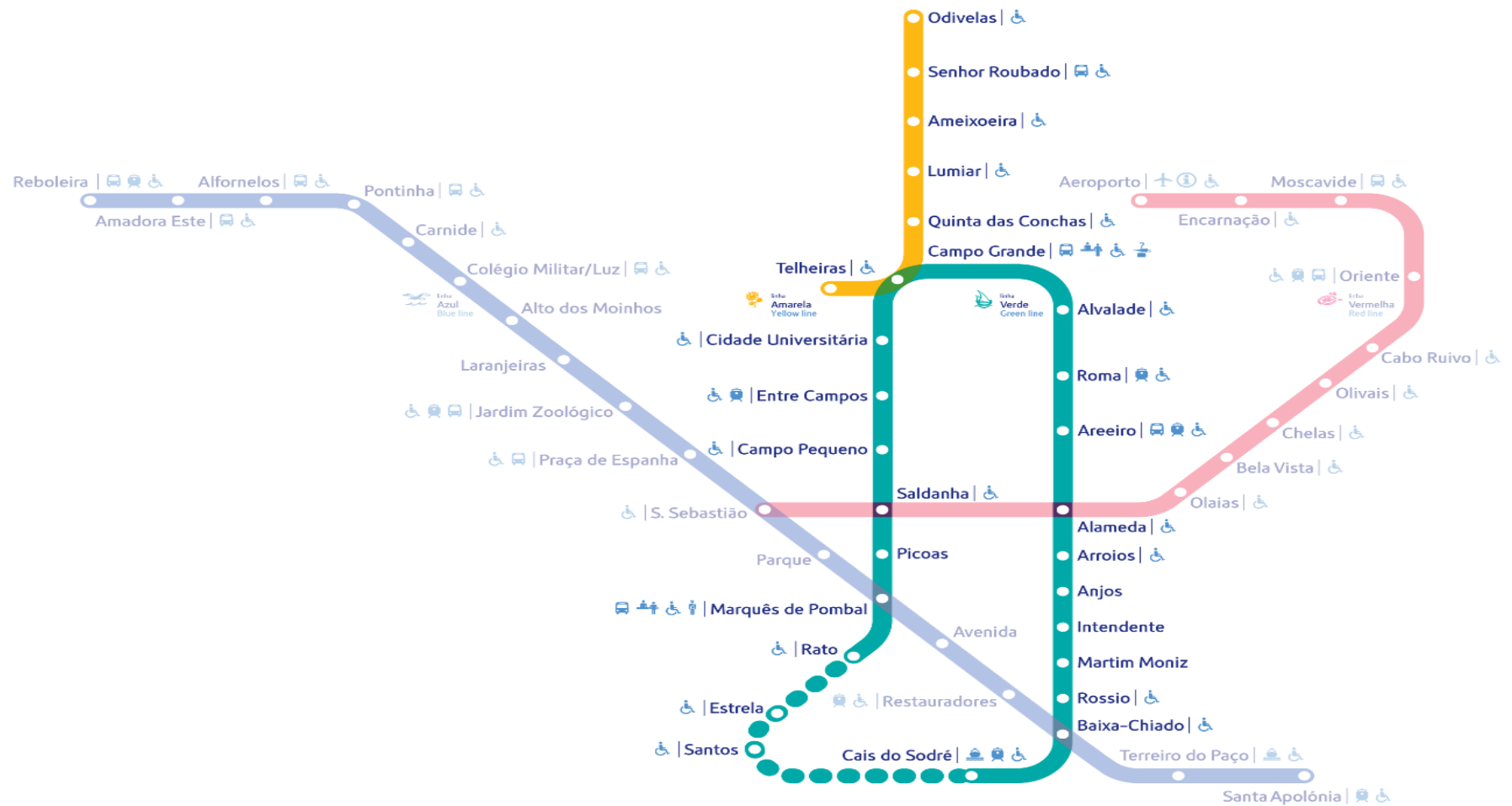
To assess the noise exposure of users transported by the subway in Lisbon, a continuous noise measurement campaign was carried out on all lines of this transport network. A set of measurements were made in the pre and post state of emergency period due to Covid-19.

The study shows that the approximately 170 million passengers transported each year on the Metropolitano de Lisboa, are exposed to high levels of noise while traveling. This issue should be viewed from the perspective of public health issues and noise mitigation strategies should be sought in subway of Lisbon.

Keywords: noise exposure, subway of Lisbon, passengers, public transport.

PACS no. 43.50.Lj, 43.50.Qp

Anexo 2 - Futuras expansão da Linha Amarela (ML)



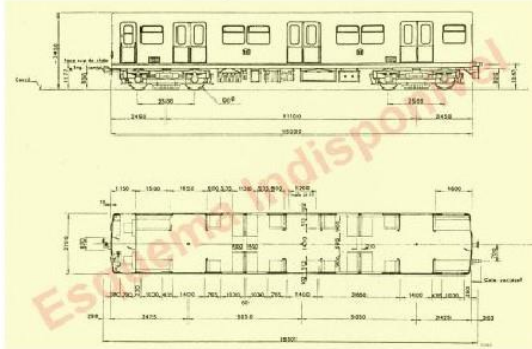
Anexo 3 - Ficha técnica ML99, ML97, ML95 e ML90

ML99 - Ficha Técnica

Número de Série: M-601 a M-714
 Número de Unidades: 114
 Ano de Entrada ao Serviço: 2000/02

Tipo de Tracção: Eléctrica
 Natureza do Serviço: Metropolitano
 Bitola de Via: 1435 mm

Galeria de Imagens



Características Técnicas

Medidas:

Pesos:

Em Tara (Motora)	29,3 t
Em Tara (Reboque)	18,8 t
Carga Normal Máxima (M)	40,6 t
Carga Normal Máxima (R)	31,2 t

Capacidade (Motora):

Passageiros Sentados	38
Passageiros em Pé (6 Passageiros / m ²)	127
Total	165

Dimensões:

Comprimento (Motora)	16.224 mm
Comprimento (Reboque)	16.058 mm
Largura Máxima	2.789 mm
Altura Máxima	3.523 mm
Bitola de Via	1.435 mm

Capacidade (Reboque):

Passageiros Sentados	44
Passageiros em Pé (6 Passageiros / m ²)	141
Total	185

Desempenhos (M+M):

Velocidade Máxima	72 kms/h
Aceleração Máxima	1,3 m/s ²
Desaceleração Média	1,2 m/s ²
Desaceleração de Emergência	1,4 m/s ²

Desempenhos (M+R+M):

Velocidade Máxima	72 kms/h
Aceleração Máxima	1,0 m/s ²
Desaceleração Média	1,0 m/s ²
Desaceleração de Emergência	1,4 m/s ²

Sistema de Tracção:

Ondulador de Tensão com GTO
 Motores assíncronos trifásicos com dupla gaiola de esquilo.

Características Eléctricas:

Tensão de Alimentação	750 V cc
Potência Instalada (1 Carruagem)	4 x 175 kW

Bogie:

Tipo	Bimotor
Suspensão Primária	Borracha tipo MEGGI

Frenagem:

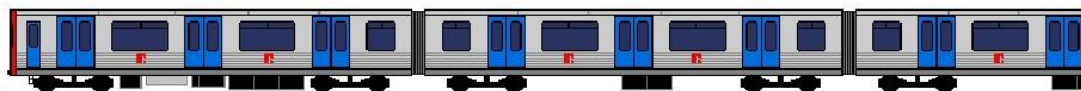
De Serviço	Electrodinâmico (Reostático ou Recuperação)
De Emergência	Pneumática + Electromagnética
De Paragem	Electropneumática de Discos
De Estacionamento	Tipo Mola, Incorporada num cilindro de Freio

Transmissão:

Redutor com dois andares de transmissão
 Engrenagens cilíndricas
 Veio oco com andares elásticos

Caixa:

Autoportante em aço inoxidável com cabeçotes em aço de alta resistência
 Dispositivo anti-encavalitamento nas extremidades
 Sistema de interligação com passadiço semi-rígido
 Fole Exterior e Revestimento interior em Alumínio e GFK
 Revestimento interior em Melaminium e resina fenólica
 Bancos anti-vandalismo sem apoios no chão
 Portas – tipo ladeante, de comando electrónico



Número Total de Carruagens

114

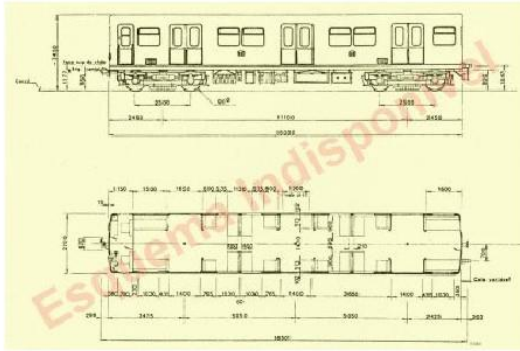
Fabricante

Sorefame / Bombardier

Número de Série: M-501 a M-554
 Número de Unidades: 54
 Ano de Entrada ao Serviço: 1999

Tipo de Tracção: Eléctrica
 Natureza do Serviço: Metropolitano
 Bitola de Via: 1435 mm

Galeria de Imagens



Características Técnicas

Medidas:

Pesos:

Em Tara (Motora)	29,3 t
Em Tara (Reboque)	18,8 t
Carga Normal Máxima (M)	40,6 t
Carga Normal Máxima (R)	31,2 t

Dimensões:

Comprimento (Motora)	16.224 mm
Comprimento (Reboque)	16.058 mm
Largura Máxima	2.789 mm
Altura Máxima	3.523 mm
Bitola de Via	1.435 mm

Capacidade (Motora):

Passageiros Sentados	38
Passageiros em Pé (6 Passageiros / m ²)	127
Total	165

Capacidade (Reboque):

Passageiros Sentados	44
Passageiros em Pé (6 Passageiros / m ²)	141
Total	185

Desempenhos (M+M):

Velocidade Máxima	72 kms/h
Aceleração Máxima	1,3 m/s ²
Desaceleração Média	1,2 m/s ²
Desaceleração de Emergência	1,4 m/s ²

Frenagem:

De Serviço	Electrodinâmico (Reostático ou Recuperação)
De Emergência	Pneumática + Electromagnética
De Paragem	Electropneumática de Discos
De Estacionamento	Tipo Mola, Incorporada num cilindro de Freio

Desempenhos (M+R+M):

Velocidade Máxima	72 kms/h
Aceleração Máxima	1,0 m/s ²
Desaceleração Média	1,0 m/s ²
Desaceleração de Emergência	1,4 m/s ²

Transmissão:

Redutor com dois andares de transmissão
 Engrenagens cilíndricas
 Veio oco com andares elásticos

Sistema de Tracção:

Ondulador de Tensão com GTO
 Motores assíncronos trifásicos com dupla gaiola de esquilo.

Caixa:

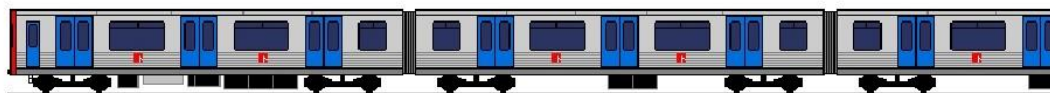
Autoportante em aço inoxidável com cabeçotes em aço de alta resistência
 Dispositivo anti-encavalitamento nas extremidades
 Sistema de interligação com passadiço semi-rígido
 Fole Exterior e Revestimento interior em Alumínio e GFK
 Revestimento interior em Melaminium e resina fenólica
 Portas – tipo ladeante, de comando electrónico

Características Eléctricas:

Tensão de Alimentação	750 V cc
Potência Instalada (1 Carruagem)	4 x 175 kW

Bogie:

Tipo	Bimotor	Suspensão Secundária	Bolsas Pneumáticas c/ molas de borracha
Suspensão Primária	Borracha tipo MEGGI	Relação de Transmissão	1 : 7,45



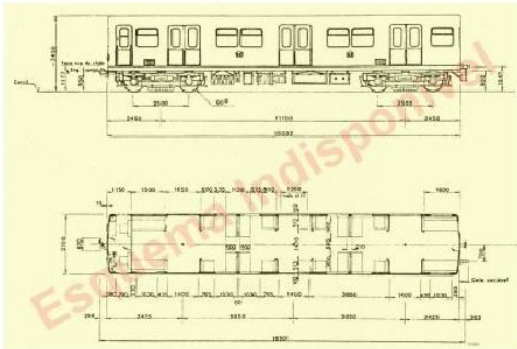
Número Total de Carruagens 54

Fabricante Sorefame / Bombardier
 Entrada ao Serviço 1 de Fevereiro de 1999

Número de Série: M-301 a M-414
 Número de Unidades: 114
 Ano de Entrada ao Serviço: 1997/99

Tipo de Tracção: Eléctrica
 Natureza do Serviço: Metropolitano
 Bitola de Via: 1435 mm

Galeria de Imagens



Galeria (Clicar)

ML95 - Ficha Técnica

Características Técnicas

Medidas:

Pesos:

Em Tara (Motora)	29,0 t
Em Tara (Reboque)	19,2 t
Carga Normal Máxima (M)	40,3 t
Carga Normal Máxima (R)	31,6 t

Capacidade (Motora):

Passageiros Sentados	40
Passageiros em Pé (6 Passageiros / m ²)	122
Total	162

Desempenhos (M+M):

Velocidade Máxima	72 kms/h
Aceleração Máxima	1,3 m/s ²
Desaceleração Média	1,2 m/s ²
Desaceleração de Emergência	1,4 m/s ²

Desempenhos (M+R+M):

Velocidade Máxima	72 kms/h
Aceleração Máxima	1,0 m/s ²
Desaceleração Média	1,0 m/s ²
Desaceleração de Emergência	1,4 m/s ²

Sistema de Tracção:

Ondulador de tensão com GTO
 Motores assíncronos trifásicos com dupla gaiola de esquilo.

Dimensões:

Comprimento (Motora)	16.240 mm
Comprimento (Reboque)	16.090 mm
Largura Máxima	2.789 mm
Altura Máxima	3.523 mm
Bitola de Via	1.435 mm

Capacidade (Reboque):

Passageiros Sentados	48
Passageiros em Pé (6 Passageiros / m ²)	130
Total	178

Frenagem:

De Serviço	Electrodinâmico (Reostático ou Recuperação)
De Emergência	Pneumática + Electromagnética
De Paragem	Electropneumática de Discos
De Estacionamento	Tipo Mola, Incorporada num cilindro de Freio

Características Eléctricas:

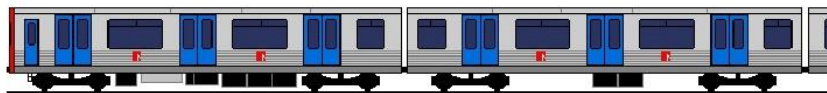
Tensão de Alimentação	750 V cc
Potência Instalada (1 Carruagem)	4 x 175 kW

Caixa:

Autoportante em aço inoxidável com cabeçotes em aço de alta resistência
 Portas – tipo iadeante, de comando electrónico

Bogie:

Tipo	Bimotor	Suspensão Secundária	Bolsas Pneumáticas
Suspensão Primária	de Borracha, tipo MEGGI	Relação de Transmissão	1 : 7,45



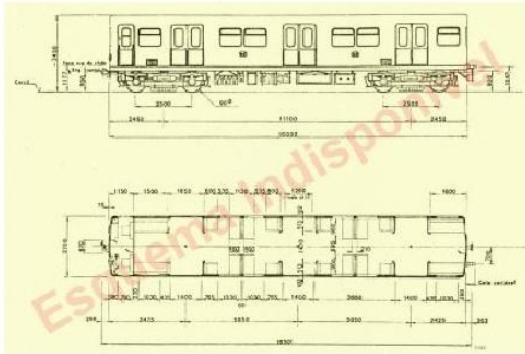
Número Total de Carruagens 114

Fabricante Sorefame / Bombardier
 Entrada ao Serviço 1997

Número de Série: M-201 a M-257
 Número de Unidades: 56
 Ano de Entrada ao Serviço: 1993/96

Tipo de Tracção: Eléctrica
 Natureza do Serviço: Metropolitano
 Bitola de Via: 1435 mm

Galeria de Imagens



ML90 - Ficha Técnica

Características Técnicas

Medidas:

Pesos:

Em Tara (Motora)	30,4 t
Em Tara (Reboque)	19,6 t
Carga Normal Máxima (M)	41,7 t
Carga Normal Máxima (R)	32,0 t

Dimensões:

Comprimento (Motora)	16.240 mm
Comprimento (Reboque)	16.090 mm
Largura Máxima	2.789 mm
Altura Máxima	3.523 mm
Bitola de Via	1.435 mm

Capacidade (Motora):

Passageiros Sentados	40
Passageiros em Pé (6 Passageiros / m ²)	122
Total	162

Capacidade (Reboque):

Passageiros Sentados	48
Passageiros em Pé (6 Passageiros / m ²)	130
Total	178

Desempenhos (M+M):

Velocidade Máxima	72 kms/h
Aceleração Máxima	1,3 m/s ²
Desaceleração Média	1,2 m/s ²
Desaceleração de Emergência	1,4 m/s ²

Frenagem:

De Serviço	Electrodinâmico (Reostático ou Recuperação)
De Emergência	Pneumática + Electromagnética
De Paragem	Electropneumática de Discos
De Estacionamento	Tipo Mola, Incorporada num cilindro de Freio

Desempenhos (M+R+M):

Velocidade Máxima	72 kms/h
Aceleração Máxima	1,0 m/s ²
Desaceleração Média	1,0 m/s ²
Desaceleração de Emergência	1,4 m/s ²

Características Eléctricas:

Tensão de Alimentação	750 V cc
Potência Instalada (1 Carruagem)	4 x 195 kW

Sistema de Tracção:

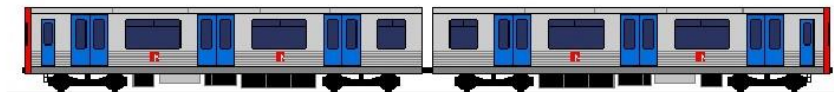
Chopper de dois quadrantes com GTO e ondulator de corrente
 Motores assíncronos trifásicos com dupla gaiola de esquilo.

Caixa:

Autoportante em aço inoxidável com cabeçotes em aço de alta resistência
 Portas – tipo ladeante, de comando pneumático.

Bogie:

Tipo	Bimotor	Suspensão Secundária	Bolsas Pneumáticas
Suspensão Primária	Molas de Borracha	Relação de Transmissão	1 : 7,45



Número Total de Carruagens 57

Fabricante Sorefame / Bombardier
 Entrada ao Serviço 29 de Março de 1993

Anexo 4 - Frequência Metropolitano de Lisboa



Dias úteis

Período horário	Frequência
06h30 – 07h00	07'00"
07h01 – 07h30	05'50"
07h31 – 09h30	04'00"
09h31 – 10h00	04'35"
10h01 – 16h30	06'40"
16h31 – 19h30	04'20"
19h31 – 20h00	05'25"
20h01 – 20h30	06'40"
20h31 – 21h00	07'20"
21h01 – 21h30	08'15"
21h31 – 22h30	08'05"
22h31 – 01h00	09'10"

Fins de semana e feriados

Período horário	Frequência
06h30 – 12h00	08'10"
12h01 – 20h15	07'20"
20h16 – 22h20	08'05"
22h21 – 01h00	09'10"

Tabela com informação da frequência de comboios na linha Azul, Fins de semana e feriados.

Circulação de comboios com 3 carruagens:

- Dias úteis, a partir das 21h30;
- Fins de semana e feriados, a partir das 20h15.

As frequências indicadas são tempos médios aproximados, salvo perturbações.



Dias úteis

Período horário	Frequência
06h30 – 07h15	07'30"
07h16 – 09h30	03'35"
09h31 – 10h00	04'25"
10h01 – 16h45	05'50"
10h01 – 16h45	11'40"
16h46 – 19h00	03'45"
19h01 – 19h30	04'50"
19h01 – 20h00	05'55"
20h01 – 21h00	08'55"
21h01 – 01h00	08'45"

Fins de semana e feriados

Período horário	Frequência
06h30 – 20h30	08'55"
20h31 – 01h00	08'40"

Tabela com informação da frequência de comboios na linha Amarela, Fins de semana e feriados.

Circulação de comboios com 3 carruagens:

- Dias úteis, a partir das 21h30;
- Fins de semana e feriados, a partir das 20h30.

As frequências indicadas são tempos médios aproximados, salvo perturbações.



Dias úteis

Período horário	Frequência
06h30 – 07h15	06'50"
07h16 – 10h00	05'35"
10h01 – 16h15	06'05"
16h16 – 20h30	05'35"
20h31 – 21h00	06'00"
21h01 – 22h15	07'55"
22h15 - 01h00	09'30"

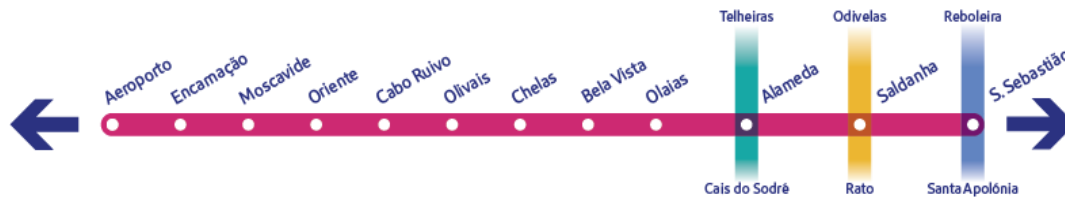
Fins de semana e feriados

Período horário	Frequência
06h30 – 21h30	08'05"
21h31 – 22h40	08'00"
22h41 – 01h00	09'30"

Circulação de comboios com 3 carruagens:

- Dias úteis, a partir das 20h30;
- Fins de semana e feriados, a partir das 21h30.

As frequências indicadas são tempos médios aproximados, salvo perturbações.



Dias úteis

Período horário	Frequência
06h30 – 07h15	09'45"
07h16 – 09h45	06'00"
09h46 – 16h30	07'00"
16h31 – 19h30	06'00"
19h31 – 20h30	07'05"
20h31 – 22h30	07'55"
22h31 – 01h00	09'25"

Fins de semana e feriados

Período horário	Frequência
06h30 – 12h00	08'10"
12h00 – 20h15	07'00"
20h16 – 22h15	08'00"
22h16 – 01h00	09'30"

Tabela com informação da frequência de comboios na linha Vermelha, aos fins de semana e feriados.

Circulação de comboios com 3 carruagens:

- Dias úteis, a partir das 20h30;
- Fins de semana e feriados, a partir das 20h15.

As frequências indicadas são tempos médios aproximados, salvo perturbações.

Anexo 5 - Formulário Medição Ruído



revisão 05_24/07/2020

FORMULÁRIO MEDIÇÕES DE RUÍDO

Responsável (medição) _____ Data (DD/MM/AAAA): _____
 Participante Secundário _____ Dia da semana: _____

Linha (cod) _____ Estação (cod) _____ Horário de fechamento das portas: _____
 em estação inicial/ início da medição

Número de estações totais da linha

Sentido Central Periférico Fundo Ponta

Características técnicas

0.0 - Modelo da carruagem

ML99 ML97 ML95 ML90 ML79 ML7 Não identificado outro _____

1 - Número de carruagens

Nº de carruagens totais _____ Nº da carruag. Medição _____ Observação _____

2 - Controle de medições e número de utilizadores

Nº pessoas Sentados	Nº pessoas Em pé	Estação:	Horário de abertura das portas:	paragem
<input type="text"/>	<input type="text"/>	→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	2ª
		→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	3ª
<input type="text"/>	<input type="text"/>	→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	4ª
		→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	5ª
<input type="text"/>	<input type="text"/>	→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	6ª
		→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	7ª
<input type="text"/>	<input type="text"/>	→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	8ª
		→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	9ª
<input type="text"/>	<input type="text"/>	→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	10ª
		→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	11ª
<input type="text"/>	<input type="text"/>	→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	12ª
		→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	13ª
<input type="text"/>	<input type="text"/>	→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	14ª
		→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	15ª
<input type="text"/>	<input type="text"/>	→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	16ª
		→ <input type="text"/>	<input type="text"/>	17ª



revisão 05_24/07/2020

FORMULÁRIO MEDIÇÕES DE RUÍDO

3 - Interferências

Interferência 1

Horário: Tempo de gravação secundária:

Estação:

estação anterior em caso de haver interrupção entre estações;

Descrição da interferência e/ou Motivo de anulação da medição:

A MEDIÇÃO FOI ANULADA? Sim Não

Interferência 2

Horário: Tempo de gravação secundária:

Estação:

estação anterior em caso de haver interrupção no meio da linha;

Descrição da interferência/ Motivo de anulação da interferência:

A MEDIÇÃO FOI ANULADA? Sim Não

4 - Posição dentro da carruagem

Marcar com um 'X' a localização dentro da carruagem que ocorreu a medição.

Nos casos em que a carruagem (objeto de medição) apresentar diferenças do croqui a baixo, deve-se apontar de forma nítida e interpretável as alterações necessárias que a diferem.

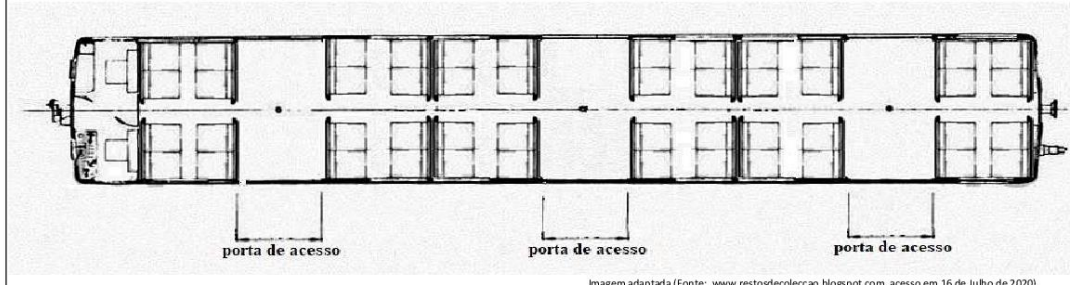


Imagem adaptada (Fonte: www.restosdecoleccion.blogspot.com, acesso em 16 de Julho de 2020).

5 - Apontamentos adicionais

Observações

Anexo 6 - Codificação das linhas e estações do ML

revisão 05_23/04/2021

CODIFICAÇÃO DAS LINHAS E ESTAÇÕES DO METROPOLITANDO DE LISBOA

Linha	Estação	Código	Conexão
Az	Reboleira	RBL	
	Amadora Este	AME	
	Alfornelos	ALF	
	Pontinha	PNT	
	Carnide	CRD	
	Colégio Militar/ Luz	CLG	Am
	Alto dos Moinhos	ALT	
	Laranjeira	LAJ	
	Jardim Zoológico	JRD	
	Praça de Espanha	PRC	
	São Sebastião	SSB	Vr
	Parque	PQP	
	Marquês de Pombal	MQP	
	Avenida	AVN	
	Restauradores	RST	
	Baixa-Chiado	BCH	Vd
Terreiro do Paço	TRP		
Santa Apolónia	STA		
Am	Odivelas	ODV	
	Senhor Roubado	SRR	
	Ameixoeira	AMX	
	Lumiar	LMR	
	Quinta das Conchas	QCH	
	Campo Grande	CMG	Vd
	Cidade Universitária	CUN	
	Entre Campos	ENC	
	Campo Pequeno	CMP	
	Saldanha	SDH	Vr
	Picoas	PCS	
Marquês de Pombal	MQP	Az	
Rato	RAT		
Vr	Aeroporto	AEP	
	Encarnação	ENC	
	Moscavide	MSC	
	Oriente	ORT	
	Cabo Ruivo	CBR	
	Olivais	OLV	
	Chelas	CHE	
	Bela Vista	BEL	
	Olaias	OLS	
	Alameda	ALM	Vd
	Saldanha	SDH	Am
	São Sebastião	SSB	Az
Vd	Telheiras	TEL	
	Campo Grande	CMG	Am
	Alvalade	ALV	
	Roma	ROM	
	Areiro	ARE	
	Alameda	ALM	Vr
	Arroios	ARO	
	Anjos	ANJ	
	Intendente	INT	
	Martim Moniz	MRM	
	Rossio	ROS	
	Baixa-Chiado	BCH	Az
Cais do Sodré	CDS		

Linha	Código
Azul	AZ
Amarela	AM
Vermelha	VR
Verde	VD