

# EXPOSIÇÃO DOS PASSAGEIROS AO RUÍDO NO METRO DE LISBOA

Manuel Matos<sup>1,2</sup>, Bruna Delgado<sup>1</sup>, Joel Paulo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ISEL-Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal

<sup>2</sup>IT-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

## 1 Introdução

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que mais de 5% da população ocupada - 360 milhões de pessoas - tem perda auditiva incapacitante [1] A perda auditiva induzida por ruído ocupacional é evitável; no entanto, uma vez adquirido, poderá ser permanente e irreversível [2] Compreender e minimizar os riscos associados à exposição ao ruído são as chaves para prevenir a perda auditiva relacionada com o ruído. O ruído ocupacional está legislado, mas são muito poucas as normativas relativas à restantes atividades humanas. Entre elas estão os transportes entre casa e o emprego que podem implicar elevadas exposições ao ruído [3,4]. Num estudo recente na cidade de Toronto [5] concluiu-se que a maior exposição sonora estava ligada às viagens de bicicleta logo seguidas pelas viagens de metropolitano. Foi neste contexto que se mediu a exposição sonora dos utentes do Metropolitano de Lisboa antes e durante a situação de pandemia devido à COVID-19. Durante a pandemia o número de utentes do Metropolitano desceu abruptamente e importa quantificar qual o impacto da diminuição de utentes no conforto sonoro no Metropolitano de Lisboa.

A medição de som deve ser realizada por equipamentos sujeitos a verificação metrológica e calibração periódica [6]. Estes equipamentos são razoavelmente dispendiosos e a sua utilização está reservada a técnicos especializados. Estas limitações implicam que as medidas consideradas menos importantes ou não sujeitas a uma obrigação legal não se realizem com a frequência desejável ou mesmo não se realizem de todo. O desenvolvimento tecnológico permitiu a disponibilização de instrumentos e software que apresentam já bons resultados. Este desenvolvimento de hardware [7] e software [8,9] permitiu aumentar a capacidade do cidadão comum em medir o som no seu ambiente doméstico, nas viagens e mesmo no seu local de trabalho. A utilização de dispositivos móveis, smartphones, com a sua conectividade em rede constante, a funcionalidade de referência geográfica integrada e a facilidade de utilização pelos utilizadores apresentam vantagens distintas em relação aos instrumentos profissionais de medição de nível de som não conectados e geralmente volumosos e caros. Os recursos dos smartphones fornecem aos utilizadores e investigadores uma oportunidade de revolucionar a maneira como os dados de ruído são recolhidos e partilhados [10,11]. Vários projetos da União Europeia [12] reforçaram este aspeto através da consciencialização dos cidadãos sobre a sua capacidade de medir o som através dos seus telemóveis. Estas novas capacidades de medida permitem que os cidadãos tomem decisões informadas sobre os efeitos potencialmente perigosos do ruído em sua audição e bem-estar.

A realização de medidas no Metropolitano de Lisboa deve-se a que esta é a mais utilizada infraestrutura de transportes da região de Lisboa. O Metropolitano de Lisboa é utilizado por cerca de 170 milhões de passageiros por ano.

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 em 30 de dezembro o primeiro troço do Metropolitano de Lisboa. Esta pequena rede era composta por 6,5 quilómetros de extensão e onze estações (Restauradores, Avenida, Marquês de Pombal, Parque, São Sebastião, Praça de Espanha, Jardim Zoológico (com a designação original de Sete Rios), Picoas, Saldanha, Campo Pequeno e Entre Campos. A rede foi crescendo no tempo até à configuração atual que foi concluída em 2016 com a abertura da estação da Reboleira na linha Azul. O Metropolitano de Lisboa apresenta quatro linhas independentes com pontos de interconexão em várias estações (Figura 1). No total a rede tem 44.5 km, 56 estações e transporta 600 000 passageiros por dia [13]. Na tabela 1 apresenta-se as características principais da rede atual [14].

## 2 Metodologia

Foi utilizada para este estudo a técnica de amostragem com levantamento técnico das carruagens de transporte e padronização da recolha de dados para todas as medições. Utilizou-se como documentos de referência o Guia Prático para Medições de Ruído Ambiente da APA [15], o Decreto-Lei 182/2006 [16] que transpõe para a legislação portuguesa a Directiva 2003/10/CE [17] e a NP ISO 1999:1990 [18].

Tabela 1 – Características das linhas do Metropolitano de Lisboa [14].

Linha	Percurso (km)	N. de Estações
Linha Amarela	11.1	13
Linha Azul	13.8	18
Linha Verde	9.0	13
Linha Vermelha	10.6	12



Figura 1 – Rede do Metropolitano de Lisboa [13].

As medições foram realizadas entre as 7 e as 9 h da manhã, as horas de maior utilização no Metro de Lisboa de acordo com os dados do Censos 2017 [19]. As composições do Metro de Lisboa possuem

habitualmente três carruagens duplas e optou-se por realizar a monitorização na carruagem central. Com base nas orientações dadas na NP ISO 1996:2011, os pontos estabelecidos para a recolha de dados foram determinados escolhendo na carruagem central uma posição que permita a não interferências de terceiros e a não deslocação do ponto de medição. A posição dentro na carruagem foi escolhida para se localizar na posição mais afastada possível de estruturas refletoras horizontais, como por exemplo, os bancos de descanso. A altura do instrumento de medição situa-se o mais próximo possível da altura do ouvido externo humano, ou seja, no ombro, considerando a exposição apenas unilateral e que estivesse mais situada ao centro do comboio ou vagão. Os aparelhos de captação e medição estiveram situados na altura próxima a 1,50 m seguindo as determinações desta normativa que determina altura do instrumento de medição, entre 1,20 m e 1,50 m.

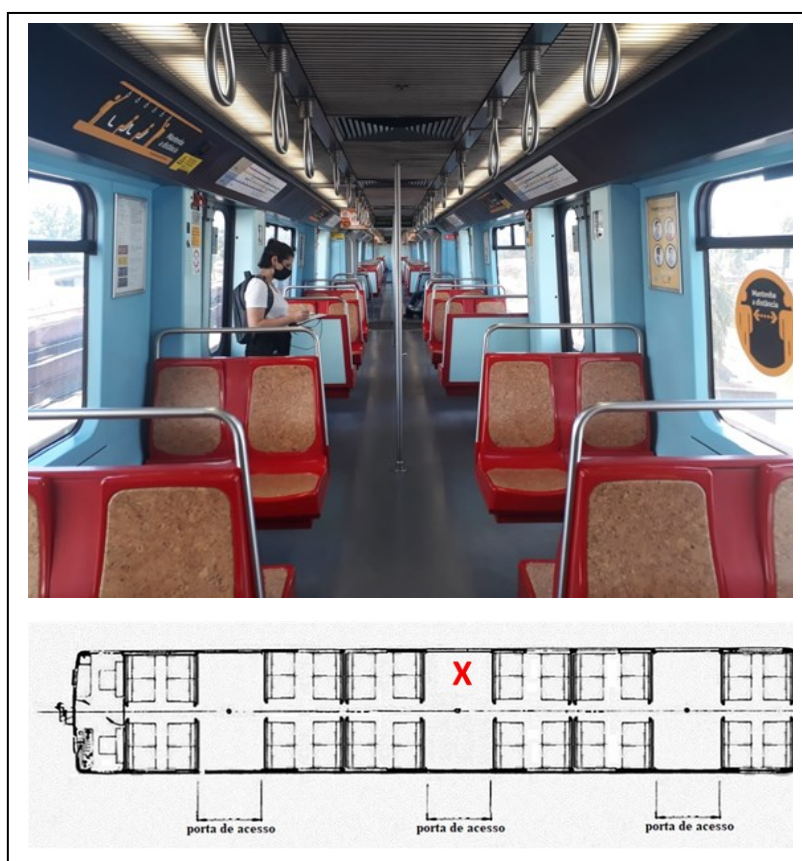


Figura 2 – Ponto de medição nas carruagens do Metro de Lisboa.

Foram utilizados smartphones da marca Apple equipados com a aplicação SPLnFFT [20] e um microfone externo iMM-6. Esta foi a conjugação de hardware e software que apresentou os resultados mais equilibrados nos estudos sistemáticos realizados por técnicos da OSHA nos EUA [21]. A utilização de microfones externos calibrados permite garantir a independência das medidas em relação ao microfone interno dos smartphones cujo estado de funcionamento é geralmente difícil de aferir. As medidas foram realizadas pelo menos seis vezes em cada linha e em cada situação, situação pré-COVID (Fevereiro e Março de 2019) e durante a pandemia (Julho de 2020). As taxas de ocupação dos lugares sentados e dos lugares de pé foram calculadas através de contagens dos passageiros na carruagem em que se efetuou a medida. Esta contagem era realizada no percurso entre todas as estações. Todos os cálculos foram realizados de acordo com a NP ISO 1999:1990 [18].

### 3 Resultados

As medidas realizadas foram exportadas para computadores onde os dados foram verificados e validados. Os dados gerados pela aplicação são constituídos por uma tabela diária com os registos de  $L_{Aeq}$  medido a cada oitavo de segundo. Para cada segundo foi calculada a média das oito medidas obtendo-se assim um valor médio para cada segundo. Foi este conjunto de medidas a cada segundo que foi de seguida utilizado para os cálculos subsequentes.

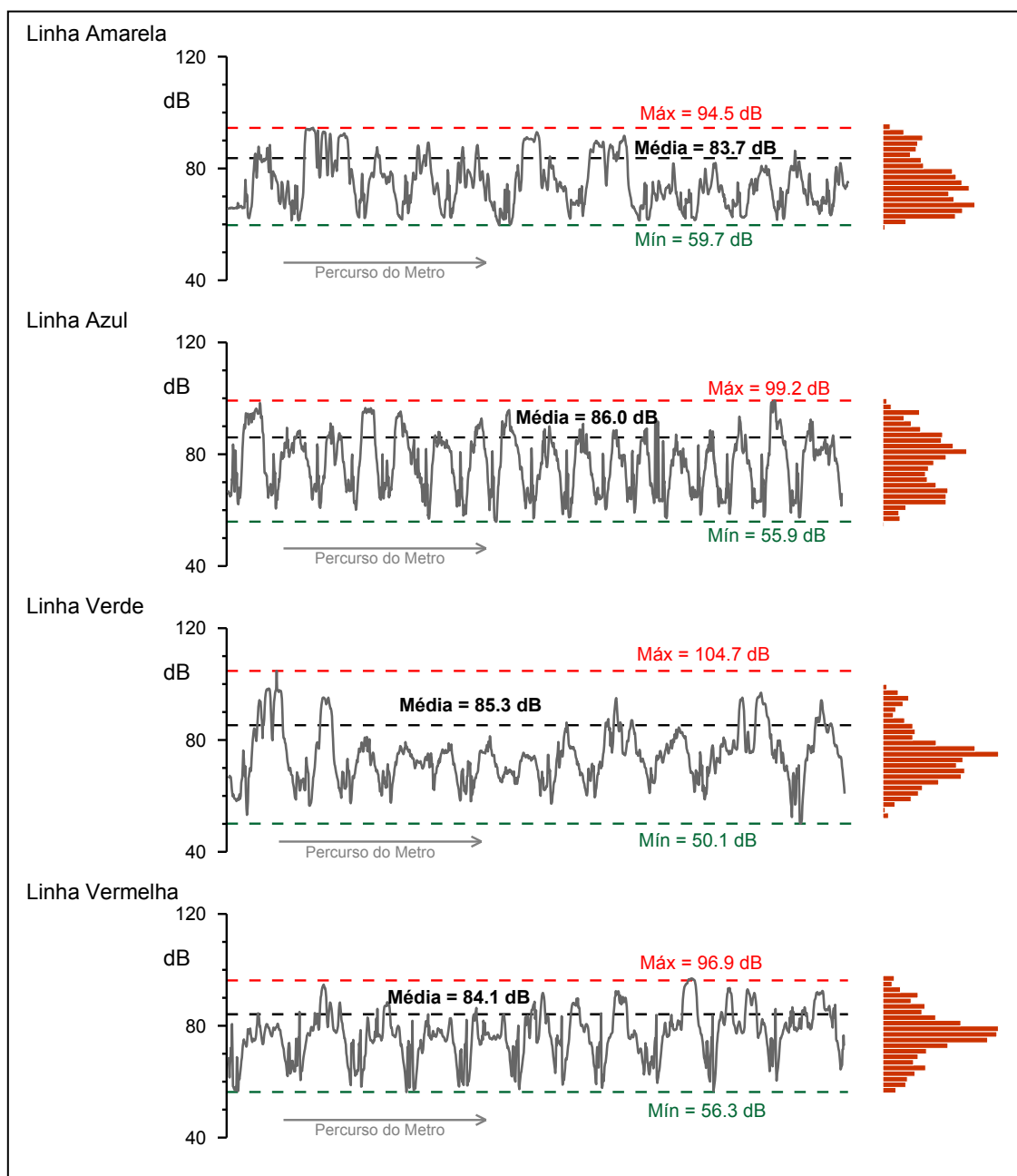


Figura 3 – Níveis sonoros nos percursos das linhas de Metro de Lisboa, pré-Covid (Fevereiro e Março de 2019).

Na figura 3 mostra-se um perfil sonoro típico para cada uma das linhas de Metropolitano na situação pré-COVID-19. Com as várias medidas para cada linha foram obtidos os valores médios de exposição. Na figura 4 apresenta-se um conjunto de medidas no período de pandemia COVID-19. Em ambas as figuras são evidenciados os valores de exposição mínima, máxima e também o valor da média para cada linha. No extremo direito de cada perfil, e para as diversas linhas, mostra-se a distribuição de frequências das várias intensidades sonoras registadas.

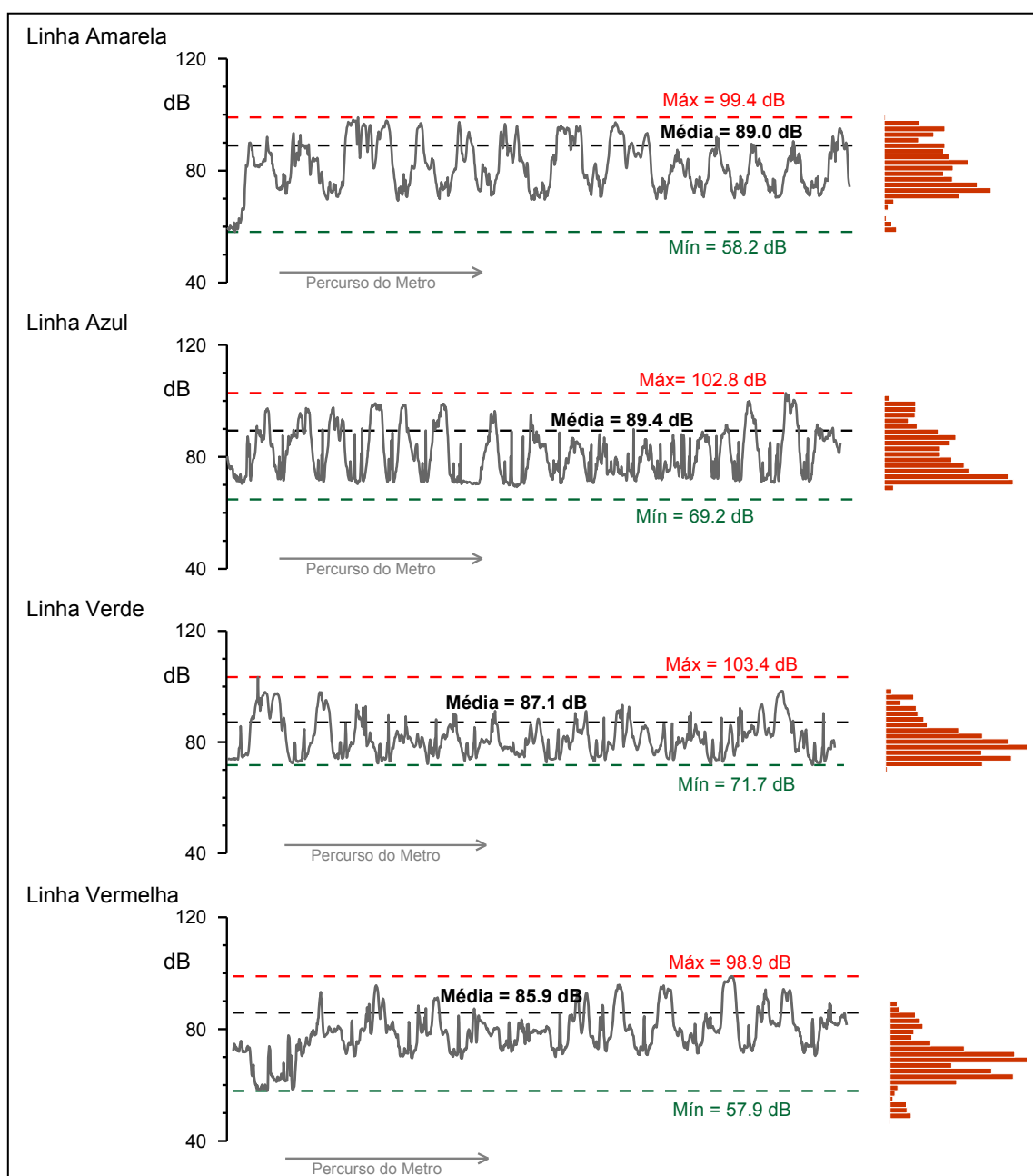


Figura 4 – Níveis sonoros nos percursos das linhas de Metro de Lisboa, durante a pandemia COVID-19 (Julho 2020).

Por seu lado, na figura 5, apresenta-se em detalhe uma medida envolvendo apenas o percurso de Metro entre três estações. Nesta figura podemos observar em pormenor o perfil sonoro do ruído no Metropolitano. Observa-se claramente os picos sonoros originados pela abertura e fecho das portas na chegada e na partida de cada estação.

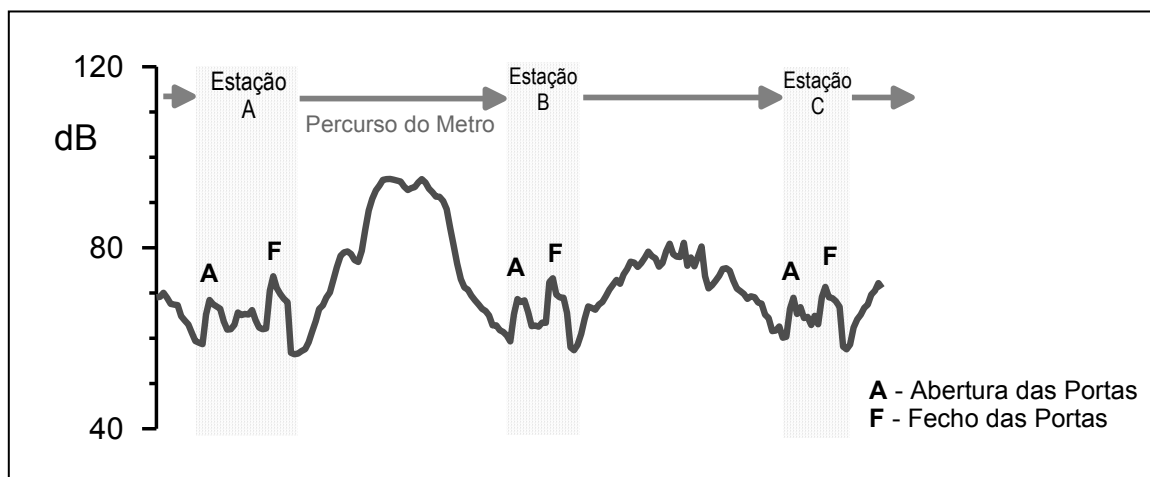


Figura 5 – Pormenor do perfil das medições de som numa linha de Metro.

## 4 Discussão

A observação das figuras 3 e 4 permite-nos constatar que existe um perfil típico para estas medições. Para as diversas linhas verifica-se que os níveis sonoros seguem um padrão comum com patamares diminutos de ruído e que correspondem à paragem do Metro nas estações. Nestes patamares de menor intensidade sonora constata-se a existência de dois picos de som em cada estação que correspondem à abertura e fecho das portas em cada estação. Os percursos entre estações apresentam zonas de elevada intensidade sonora sendo vulgar atingir-se valores próximos dos 100 dB(A).

Na tabela 2 mostra-se a sùmula dos dados de exposição sonora obtidos para as quatro linhas do Metropolitano de Lisboa. Os percursos do metro apresentam um  $L_{Aeq}$  médio em torno dos 86 dB(A) o que é uma contribuição razoavelmente elevada para a exposição sonora diária. As taxas de ocupação caíram significativamente durante a fase de pandemia para cerca de 50% da ocupação habitual. Notória foi a diminuição da ocupação dos lugares sentados devido à manutenção do distanciamento social. Esta diminuição das taxas de ocupação provocou um ligeiro aumento do valor médio do  $L_{Aeq}$  para todas as linhas nas medidas efetuadas em situação de pandemia.

A análise da distribuição dos níveis sonoros para cada viagem é apresentada no histograma associado à monitorização de cada linha. Para algumas das linhas é notória a existência de dois picos de distribuição para os níveis sonoros com um pico central e um pico para níveis sonoros mais elevados. Esta distribuição está associada a partes do percurso que são particularmente ruidosos. Também a velocidade da composição do metro é uma variável a ter em conta. Confirmou-se que um aumento de velocidade de circulação dos comboios implicava um aumento do ruído.

Para o cálculo da exposição pessoal diária ao ruído pode usar-se a equação 1 definida na norma NP ISO 1999:1990 [14] e também no DL 182/2006 [16].

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

Nesta equação  $L_{Aeq,T_k}$  representa o nível sonoro contínuo equivalente, ponderado A, de um ruído, num intervalo de tempo  $T_k$ , correspondente ao tipo de ruído  $k$  a que o trabalhador está exposto durante  $T_k$  horas por dia. Assume-se um dia de trabalho com 8 horas. Considerando como única exposição diária ao ruído, a exposição ao ruído durante dois percursos idênticos por dia (ida e volta para o emprego, escola, etc.) obtemos os valores de  $L_{EX,8h}$  apresentados na última coluna da tabela 2. Estes são valores bastante elevados de exposição sonora para uma duração média das viagens de 22.5 minutos, ou seja, uma exposição de 45 minutos de percursos diário.

Tabela 2 – Caracterização das viagens, ocupação e cálculo de  $L_{Aeq}$  médio para cada linha.

Linha de Metro	Duração média do Percurso (ida e volta)	Medida de Som	Ocupação (de Pé / Sentados)	$L_{Aeq}$ médio
Amarela	22×2 = 44 min.	Pré-COVID	60% / 100%	84.7
		Durante COVID	30% / 50%	88.7
Azul	27×2 = 54 min.	Pré-COVID	70% / 100%	85.5
		Durante COVID	40% / 50%	88.6
Verde	20×2 = 40 min.	Pré-COVID	40% / 90%	85.3
		Durante COVID	30% / 40%	86.1
Vermelha	21×2 = 42 min.	Pré-COVID	70% / 100%	84.4
		Durante COVID	30% / 50%	86.7

Se considerássemos que esta exposição sonora se mantinha durante as 8 horas do dia de trabalho chegaríamos a valores de  $L_{EX,8h}$  entre 84.5 e 88.7 dB (tabela 3). Este será provavelmente o caso para os trabalhadores do metro afetos à circulação dos comboios e que se situam já nas zonas de valores limites de exposição diária para trabalhadores (87 dB) nas linhas Amarela e Azul e no período de pandemia.

Considerando que a dose ( $D$ ) poderá ser calculada pela equação 2:

$$D = \frac{100}{T_c} t_i 10^{\left(\frac{L_i - L_c}{q}\right)} \quad (2)$$

em que  $T_c$  representa a duração do período de trabalho diário (geralmente 8 horas),  $t_i$  o tempo de duração da pressão sonora em causa,  $q$  fator de duplicação da dose (assume o valor de 10 para 3 dB) para  $L_i$  a pressão sonora em causa e  $L_c$  o limite considerado que poderá ser de acordo com a legislação europeia e portuguesa [16,17] de 80 dB (valor de ação inferior), 85 dB (valor de ação superior) ou 87 dB (valor limite de exposição). Considerando este último valor, 87 dB, foram calculadas as doses envolvidas em duas viagens (ida e volta) para o percurso total de cada linha de Metropolitano. Os



valores da dose são mostrados na tabela 3 e constata-se que as doses para os passageiros variam entre os 9 e os 25 % da dose média total limite.

Tabela 3 –  $L_{EX,8h}$  obtido para cada linha e cálculo da % de dose para um período de trabalho de 8 horas.

Linha de Metro	Duração do Percurso (min.)	Medida de Som	$L_{Aeq}$ médio (dB(A))	$L_{EX,8h}$ (dB(A))	Dose (% para 8 h)
Amarela	44	Pré-COVID	84.7	74.3	10.0 %
		Durante COVID	88.7	78.3	25.2 %
Azul	54	Pré-COVID	85.5	76.0	9.8 %
		Durante COVID	88.6	79.1	20.1 %
Verde	40	Pré-COVID	85.3	74.5	12.7%
		Durante COVID	86.1	75.3	15.2 %
Vermelha	42	Pré-COVID	84.4	73.8	9.8 %
		Durante COVID	86.7	76.1	16.7 %

## 5 Conclusões

As medidas de exposição sonora dos utentes da rede do Metropolitano de Lisboa mostram uma rede com troços bastante ruidosos e que poderão ter impacto na saúde pública. Verifica-se que os níveis sonoros se situam entre os 84 e os 87 dB mas com valores de pico que por vezes ultrapassam os 100 dB. Os valores apresentam resultados ligeiramente mais elevados na situação de pandemia devido à mais baixa taxa de ocupação do Metropolitano. Estes resultados devem-se essencialmente a dois fatores: 1) redução das superfícies de absorção por parte dos passageiros e redução da volumetria interna das composições o que faz baixar a reverberação e por outro lado 2) a diminuição do peso (massa global) reduz as vibrações das superfícies e transmissão entre componentes da estrutura do material circulante.

Para esta obtenção e registo de dados discretos foram utilizados smartphones aos quais foram acoplados microfones calibrados. Esta solução permite, segundo os testes laboratoriais de outros autores obter dados com erros máximos de 2 dB. A recolha de dados em contínuo durante todas as viagens permite identificar os troços mais ruidosos e permitem também avaliar os níveis sonoros associados a cada evento, tais como a abertura e fecho das portas em cada estação que podem atingir 90 dB(A). A dose para duas viagens diárias na mesma linha (ida e volta) atinge, em alguns casos, 25 % da dose máxima recomendada para os utentes.

Neste estudo não foram consideradas outras situações de exposição sonoras durante os percursos de ida e volta para o local de trabalho, escolas, etc., mas outras contribuições existirão para a dose total de ruído a que os utentes do Metro estão expostos. O valor apresentado é assim um valor por defeito. Esta dose de exposição sonora não é contabilizada no ruído ocupacional mas é uma exposição efetiva ao ruído que contribui para a má qualidade das viagens e para o acentuar da degradação da audição e qualidade de vida dos viajantes. Seria importantes que as autoridades considerassem este assunto

merecedor de atenção devido ao seu impacto na saúde pública, nomeadamente na degradação da audição, das condições de saúde e no bem-estar emocional.

Pretende-se continuar este estudo com a avaliação da exposição sonora noutros meios de transporte (autocarros, comboios suburbanos, automóveis, motos e bicicletas) envolvendo os percursos mais frequentes dos trabalhadores e estudantes em Lisboa.

## Agradecimentos

Agradecemos ao Laboratório de Acústica do ISEL e à empresa FI-Sonic pela colaboração prestada.

## 6 Referências

- [1] R. Neitzel, B. Fligor,, Make Listening Safe, Determination of risk of noise-induced hearing loss due to recreational sound: Review, WHO, 2017.
- [2] Mariola Sliwinska-Kowalska, Kamil Zaborowski, WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Permanent Hearing Loss and TinnitusInt. J. Environ. Res. Public Health 2017, 14, 1139; doi:10.3390/ijerph14101139
- [3] M. Tabacchi , I. Pavón , M. Ausejo , C. Asensio, M. Recuero, Assessment of Noise Exposure During Commuting in the Madrid Subway, Journal of Occupational and Environmental Hygiene, Volume 8, 2011 - Issue 9. <https://doi.org/10.1080/15459624.2011.600237>
- [4] M Garbala, L Gomez-Agustina, Passenger noise exposure in London underground, Proceedings of the Institute of Acoustics, Vol. 37. Pt. 2, 2015.
- [5] Christopher M.K.L. Yao, Andrew K. Ma, Sharon L. Cushing, Vincent Y.W. Lin, Noise exposure while commuting in Toronto - a study of personal and public transportation in Toronto, Journal of Otolaryngology - Head and Neck Surgery (2017) 46:62, DOI 10.1186/s40463-017-0239-6
- [6] Simone Riccioni, Massimo Cecchini, Danilo Monarca, Andrea Colantoni, Leonardo Longo, Pierluigi Cavalletti, Roberto Bedini, Overview of the Noise Measurements Process in Recent Years, Contemporary Engineering Sciences, Vol. 8, 2015, no. 26, 1179 – 1191, <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.56176>
- [7] Chucri A. Kardous, Peter B. Shaw, Evaluation of smartphone sound measurement applications, The Journal of the Acoustical Society of America 135, EL186 (2014), [<http://dx.doi.org/10.1121/1.4865269>]
- [8] Chucri A. Kardous, Peter B. Shaw, Evaluation of smartphone sound measurement applications - A follow-up study, The Journal of the Acoustical Society of America 140, EL327 (2016); [<http://dx.doi.org/10.1121/1.4964639>]
- [9] Enda Murphy, Eoin A King, Testing the accuracy of smartphones and sound level meter applications for measuring environmental noise, Applied Acoustics 106 (2016) 16–22, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.12.012>

- [10] Enda Murphy, Eoin A. King, Smartphone-based noise mapping: Integrating sound level meter app data into the strategic noise mapping process, *Science of the Total Environment* 562 (2016) 852–859, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.04.076>
- [11] Chucri A. Kardous, Peter B. Shaw, Do sound meter Apps measure noise levels accurately? *Sound & Vibration*, JULY 2015.
- [12] George Drosatos, Pavlos S. Efraimidis, Ioannis N. Athanasiadis, Matthias Stevens, Ellie D'Hondt, Privacy-preserving computation of participatory noise maps in the cloud. *Journal of Systems and Software*, February 2014. DOI: 10.1016/j.jss.2014.01.035
- [13] Informação Institucional do Metropolitano de Lisboa, <https://www.metrolisboa.pt/institucional/>, consultado em 11 de Setembro de 2020.
- [14] Relatório de Gestão 2017, Metropolitano de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2018.
- [15] Guia prático para medições de ruído ambiente - no contexto do Regulamento Geral do Ruído tendo em conta a NP ISO 1996, APA-Agência Portuguesa do Ambiente, 2020
- [16] Decreto-Lei n.º 182/2006 de 6 de Setembro, Diário da República, Portugal.
- [17] Directiva n.º 2003/10/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 6 de Fevereiro, Jornal Oficial da União Europeia.
- [18] Norma Portuguesa NP ISO 1996-1:1990, IPQ.
- [19] INE-Instituto Nacional de Estatística, Mobilidade e funcionalidade do território nas Áreas Metropolitanas do Porto e de Lisboa : 2017, INE, Lisboa, 2018.
- [20] Fabien Lefebvre, SPLnFFT for iOS, <https://apps.apple.com/us/app/splnfft-noise-meter/id355396114>
- [21] Benjamin Roberts, Chucri Kardous, Richard Neitzel, Improving the accuracy of smart devices to measure noise exposure, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 13:11, 840-846, DOI: 10.1080/15459624.2016.1183014