

## A CONTAMINAÇÃO ACÚSTICA PROVOCADA PELO METRÔ DO DF

S. L. Garavelli, W. C. de Melo, E. F. F Silva, C. A. da Costa, E. B. Carvalho Jr e A. M. Maroja

### RESUMO

A maior parte da malha metroviária do Distrito Federal é de superfície, este fato proporcionou um custo menor de instalação, em contrapartida provocou um aumento na contaminação acústica ambiental. Esse trabalho teve como objetivo principal avaliar os níveis de pressão sonora no interior das composições, nas estações e na comunidade residente próxima à malha metroviária do DF. No interior das composições e nas estações os ruídos foram elevados, superiores a 85 dB(A), sendo que, no trecho subterrâneo ultrapassou 90 dB(A). Próximo a fachadas de edifícios residenciais os níveis atingiram emitidos pelo metrô atingiram 76 dB(A), valor acima do limite estabelecido pela legislação. Constatou-se que o funcionamento do sistema impacta negativamente o panorama acústico da região limdeira à malha metroviária de superfície do metrô, afetando de maneira negativa a qualidade de vida da população. Além disso, os ruídos internos observados nas composições tem potencial de causar danos à saúde dos usuários.

### 1 INTRODUÇÃO

A exposição a níveis elevados de pressão sonora (NPS) é um problema grave nos grandes centros urbanos e tem aumentado nas últimas décadas. A poluição sonora é considerada pela Organização Mundial de Saúde como um problema de saúde pública, que afeta negativamente a qualidade de vida e a saúde de milhões de pessoas (WHO, 1999). Nas grandes cidades a principal fonte de ruído é o tráfego urbano, onde o transporte de massa tem uma contribuição significativa. Em muitas cidades, o sistema de transporte ferroviário, particularmente o metrô, contribui para o agravamento deste quadro.

Estudos envolvendo acústica ambiental visando avaliar os NPS devido aos vários modais de transporte têm sido realizados por vários pesquisadores (Soeta e Shimokura, 2012; Lang and Stani, 1977; Paunović, Belojević and Jakovljević, 2014). A pesquisa realizada por Freia, Mohlera e Rööslia (2014), avaliou os efeitos da exposição ao ruído do tráfego rodoviário moderado, na qualidade do sono, ou seja, o ruído noturno. Os resultados identificaram uma associação entre a qualidade do sono e o incômodo percebido.

Pesquisas relacionadas com a emissão de ruídos por veículos leves sobre trilhos indicam que as versões mais recentes são menos ruidosas, afetando com menor magnitude a paisagem sonora das regiões vizinhas às vias. (Leeuwen, 2003; Maroja *et al.*, 2013 e 2014).

González e Calle (2014) desenvolveram uma pesquisa na cidade de Bogotá, Colômbia, com medidas acústicas e avaliação da percepção da população em relação aos ruídos emitidos por veículos. Além de observarem níveis de pressão sonora elevados, o que

provoca prejuízos a qualidade de vida e à saúde da população, identificaram a incidência de fatores não acústicos em relação aos incômodos percebidos pela população. Okokon *et al.* (2015) concluíram que uma proporção considerável de adultos finlandeses são altamente perturbados com ruído do tráfego rodoviário, e consideram como um risco significativo à saúde, e a qualidade de vida.

Gershon *et al.* (2006) avaliaram nos NPS nas plataformas e no interior dos vagões do metrô de Nova York. Nas plataformas subterrâneas encontram a média de 86 dB(A), com valores máximos acima de 112 dB(A). Os resultados indicaram que nas plataformas de embarque/desembarque do metrô os NPS excedem os limites de exposição recomendados da Organização Mundial de Saúde (OMS) e da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA). Os autores indicam que estratégias de redução de risco devem ser aplicadas, para reduzir a exposição ao ruído de metrô.

Singal et al (1989) avaliaram os NPS no metrô de Calcutá, Índia, os resultados indicaram que os níveis de ruído e vibração são mais elevados do que os limites recomendados para conforto. Foram analisados os principais fatores responsáveis por excesso de ruídos e medidas mitigadoras para a redução dos NPS foram sugeridas.

Em Portugal, um estudo realizado pela associação ambientalista Quercus (2014), indica que os passageiros do Metropolitano de Lisboa estão sujeitos a níveis de ruído superiores aos limites legais e que, conjugados com o ruído ambiente, podem representar riscos à saúde.

Apesar de ser uma cidade planejada e jovem, Brasília sofre com as consequências do processo de urbanização e adensamento populacional. Esse processo juntamente com o crescimento constante do tráfego rodoviário levam a um número crescente de problemas ambientais, dentre eles destaca-se ruído, que nas zonas urbanas é a principal fonte de contaminação acústica na maioria das grandes cidades. São vários os problemas causados pela exposição ao ruído excessivo, além da perda auditiva permanente ou temporária, pesquisas indicam outros males como: fadiga, perturbações do sono, problemas cardiovasculares, estresse, distúrbios digestivos, falta de concentração, entre outros, são consequências da contaminação acústica nos seres humanos.

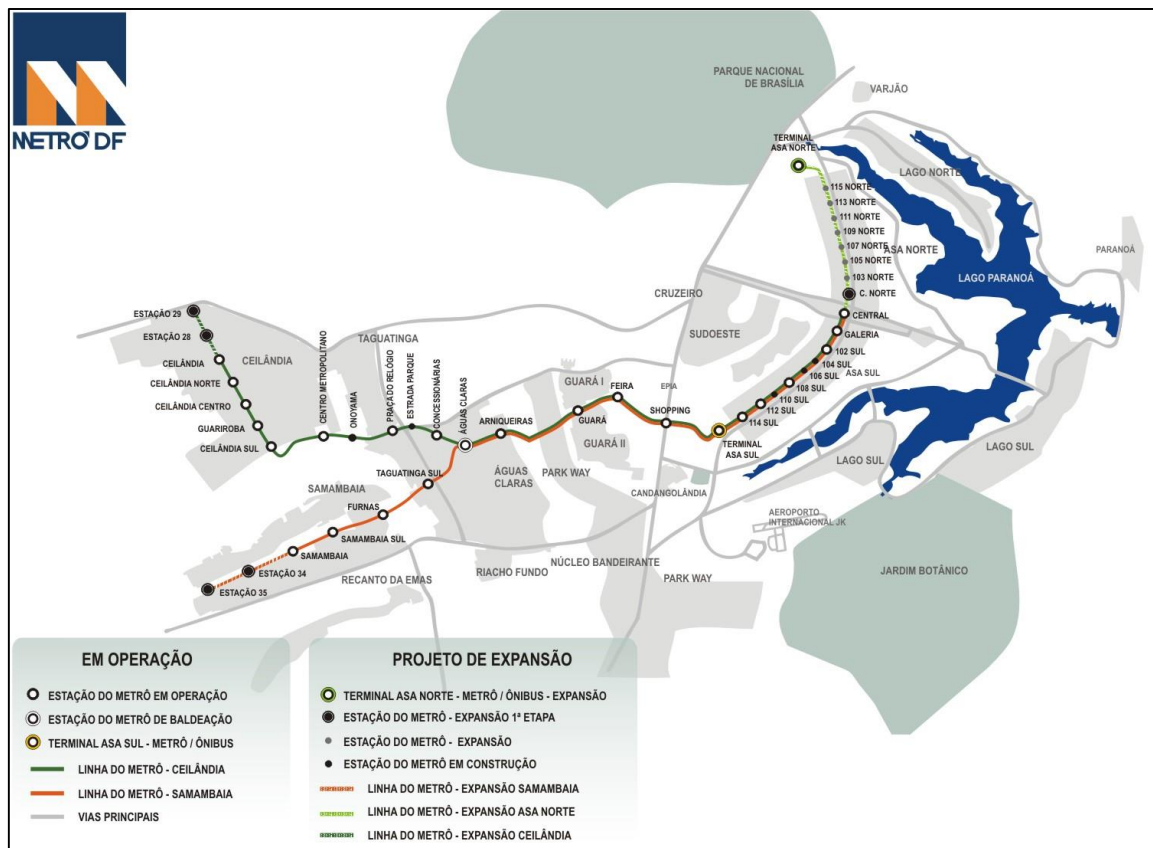
Em Brasília, a principal fonte móvel de ruído ambiental é o fluxo veicular, este tipo de contaminante tende a aumentar (Garavelli *et al.*, 2014), pois no Distrito Federal a taxa média de crescimento da frota de veículos é de aproximadamente 8% ao ano. Além do ruído emitido pelo tráfego veicular outra fonte de ruídos devido ao transporte é o Metrô.

No início dos anos 90, houve uma grande migração da população brasileira para os grandes centros do urbanos. O Distrito Federal, seguindo a mesma tendência, passou por um forte crescimento populacional, surgindo assim novas Regiões Administrativas. Esse aumento comprometeu alguns setores, dentre estes, o sistema de transporte, pois passou a ter uma grande demanda de passageiros, longas distâncias entre as cidades satélites e o Plano Piloto e a saturação dos principais corredores rodoviário, fatores que foram determinantes para a construção do metrô.

Atualmente o Metrô-DF conta com uma malha de 42 km, que liga Brasília às regiões administrativas de Ceilândia e Samambaia, possui 24 estações em funcionamento. Com uma frota de 32 trens, transporta em média 160 mil passageiros por dia. Como

característica especial, a maior parte da malha metroviária é de superfície, ou seja, a céu aberto — em trincheiras, sobre aterros, ou em faixas isoladas do terreno. Esta característica propiciou um custo menor da instalação do sistema, porém pelo fato de estar exposto, os níveis de pressão sonora emitidos pelo seu funcionamento atinge a população residente na vizinhança da malha de superfície. Os usuários nas estações e no interior dos vagões, durante o trajeto, também estão expostos aos ruídos emitidos pela operação do metrô.

O sistema metroviário atua com duas linhas (verde e laranja) em formato “Y”. As Linhas começam na estação Central, situada no subsolo da Rodoviária do Plano Piloto, e trafegam conjuntamente até a estação Águas Claras, onde são separadas em dois ramos, Linha Laranja que vai para o sul, até o Terminal Samambaia, enquanto a Linha Verde segue para Ceilândia, como é retratado na Figura 1. Dos 32 trens utilizados, 20 trens são da série 1000 (mais antigos) e 12 trens são da série 2000 (mais novos). Se deslocam com uma velocidade máxima de até 80 km/h, utilizam a bitola de 1.600 mm (Bitola Irlandesa) e a alimentação é elétrica e realizada por um terceiro trilho.



**Fig. 1 – Mapa Metroviário do DF**

Este trabalho teve como principal objetivo avaliar os níveis de pressão sonora no interior das composições, nas estações e na comunidade residente próxima a malha metroviária de superfície.

## 2 METODOLOGIA

Para o presente estudo foram realizadas medições acústicas nas áreas residenciais próximas a malha viária do metrô, nas estações e no interior do vagão, durante o trajeto. Foram

avaliados os seguintes parâmetros acústicos: nível equivalente de pressão sonora  $Leq(A)$ ,  $L90$ ,  $L10$ ,  $Lmin$  e  $Lmax$ .

Os parâmetros acústicos de interesse na análise do ruído ambiental utilizados são definidos a partir do nível de pressão sonora equivalente  $Leq(A)$ : nível do ruído contínuo equivalente ao som produzido durante um dado período de tempo medido com o filtro de frequências na ponderação A. O nível sonoro médio determinado a partir dessa série de medidas é calculado de acordo com NBR 10.151 (ABNT, 2000) pela equação:

$$Leq = 10 \times \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p(t)^2}{p_0^2} \right). \quad (1)$$

$T$  é a duração do período de referência (tempo total de medida);  $p(t)$  é a pressão sonora instantânea;  $p_0$  é pressão sonora de referência ( $2,0 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ ), o  $Leq(A)$  é medido no modo de ponderação A.

O  $Lmin$  é o menor nível de pressão sonora num determinado intervalo de tempo, o  $Lmax$  é o maior nível de pressão sonora num determinado intervalo de tempo, o  $L10$  é nível de pressão sonora excedido em 10% do tempo de medida efetiva e o  $L90$  é nível de pressão sonora excedido em 90% do tempo de medida efetiva.

A avaliação *in situ* ocorreu no período de dezembro de 2015 a fevereiro de 2016, foram realizadas em intervalos de tempo variáveis, dependendo do local. Nas áreas residenciais e estações o tempo foi de 10 min e no interior dos vagões, foi medido durante o tempo do trajeto. As medições foram realizadas em dias sem atividades como trovões ou chuva. A análise foi realizada com uso do *software* dBTraid da 01dB, e o equipamento foi calibrado antes e após a realização das medidas. Para efeitos de comparação entre os parâmetros obtidos e os limites da Legislação foi considerada a NBR 10.151 - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade (Rio de Janeiro: ABNT, 2000). Para cada medida foi feita a análise em bandas de oitavas, que permitiu a verificação da existência de componentes tonais.

O equipamento utilizado para as medições acústicas foi o sonômetro Solo da 01dB, com tripé e protetor de vento. Suas principais características e funções são: metrologia de precisão; cumpre com a norma IEC 61672; análise da frequência em tempo de oitava; medições paralelas de todos os indicadores; calibração em laboratório acreditado INMETRO (RBC, CHROMPACK) e calibrador Acústico da 01 dB Steel.

### 3 RESULTADOS

Na Tabela 1, estão apresentados os resultados das medidas realizadas nas áreas residenciais das regiões administrativas de Samambaia, Ceilândia e Águas Claras. Estes locais foram escolhidos em função de estarem localizados próximos à malha viária de superfície do metrô.

De acordo com a legislação atual do DF, a Lei 4.092 de 2008, os níveis de pressão sonora (NPS),  $Leq$ , não deve ultrapassar 50 dB(A) para o período diurno, e 45 dB(A) para o noturno, em áreas residenciais. Porém de acordo com os resultados, medidos no período diurno, os NPS variaram de 59,6 a 71,9 dB(A), valores acima do limite estabelecido pela

lei. Conforme foi constatado, os NPS foram devidos ao ruído gerado pela operação do metrô e também ao som residual do ambiente, cuja fonte principal é o tráfego veicular.

**Tabela 1 – Níveis de pressão sonora medidos na área residencial, dB(A)**

Índice	Local	<i>L<sub>min</sub></i>	<i>L<sub>90</sub></i>	<i>Leq</i>	<i>L<sub>10</sub></i>	<i>L<sub>max</sub></i>
AR1	Samambaia	46,8	48,7	<b>59,6</b>	61,6	76,5
AR2	Samambaia	40,5	43,3	<b>65,9</b>	64,7	87,9
AR3	Ceilândia Norte	47,3	51,4	<b>65,8</b>	68,1	85,1
AR 4	Ceilândia Sul	47,7	53,2	<b>71,9</b>	76,1	87,6
AR5	Águas Claras (vala)	48,4	51,8	<b>57,7</b>	60,7	68,4
AR6	Águas Claras (vala)	49,4	51,5	<b>58,1</b>	61,0	68,0
AR7	Águas Claras (vala)	50,8	53,0	<b>62,9</b>	67,1	74,8
AR8	Águas Claras (superfície)	49,8	53,1	<b>68,7</b>	72,3	83,1
AR9	Águas Claras (superfície)	47,3	51,0	<b>66,9</b>	69,8	83,1
AR10	Águas Claras (superfície)	48,7	52,1	<b>67,5</b>	70,6	82,5
AR11	Águas Claras (superfície)	46,7	50,2	<b>66,9</b>	68,6	84,4

Com o objetivo de identificar com mais acurácia a contribuição de cada fonte para os NPS totais, para três diferentes medidas na área residencial, a AR8, AR9 e AR10, foram realizados os cálculos separadamente do ruído ambiente, do som residual, e do ruído principal, ou seja, o nível de pressão sonora desconsiderando o ruído provocado pela passagem da composição e o ruído devido somente a passagem da composição, os resultados estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Níveis de pressão sonora medidos na área residencial, dB(A)**

Índice	Local	SR	RP
AR8	Águas Claras (superfície)	<b>68,2</b>	<b>71,8</b>
AR9	Águas Claras (superfície)	<b>63,8</b>	<b>72,4</b>
AR10	Águas Claras (superfície)	<b>65,1</b>	<b>74,5</b>

Os resultados indicam, que o som residual, identificado na tabela como SR, apresentam-se acima do limite indicado pela legislação vigente para estes locais, assim como os NPS gerados pela passagem do comboio. Como as avaliações foram realizadas no período diurno, quando os NPS devido ao som residual é maior, assim como o limite da legislação, pode-se concluir que o período noturno os níveis de pressão sonora gerados pela operação do metrô nas vizinhanças da malha metroviária de superfície, terá um maior impacto na população residente nestes locais com potencial significativo de causar incômodo.

O RP (ruído principal) avaliado nessas áreas durante a passagem do comboio variaram de 71,8 a 74,5 dB(A). Levando em conta que as medições foram realizadas próximas as fachadas mais expostas dos edifícios residenciais, estes níveis são elevados e tem potencial de provocar incômodo e danos à saúde da população, principalmente no período noturno, quando o som residual é menor.

Os resultados das medições realizadas nas estações estão apresentadas na Tabela 3, o *Leq* variou de 66,9 a 78,9 dB(A), como era esperados os NPS foram maiores nas estações subterrâneas, Central, Galeria e Taguatinga Centro. Os valores encontrados apresentam

baixo potencial de riscos aos trabalhadores e também aos usuários, pois o tempo de permanência nesses locais não é elevado.

**Tabela 3 – Níveis de pressão sonora medidos nas estações, dB(A)**

Índice	Local	<i>L<sub>min</sub></i>	<i>L<sub>90</sub></i>	<i>Leq</i>	<i>L<sub>10</sub></i>	<i>L<sub>max</sub></i>
E1	Estação Samambaia Sul	48,0	50,2	<b>66,9</b>	70,1	85,9
E2	Estação Central	64,0	65,2	<b>78,9</b>	82,3	88,2
E3	Estação Galeria	62,5	63,6	<b>76,1</b>	80,3	88,9
E4	Estação Águas Claras	57,9	60,6	<b>68,5</b>	72,9	81,0
E5	Estação Taguatinga Centro	61,5	63,0	<b>78,8</b>	82,9	97,6
E6	Estação Ceilândia Sul	54,1	58,1	<b>68,8</b>	71,8	85,7
E7	Estação Ceilândia Norte	51,6	53,9	<b>66,4</b>	70,6	79,4

Usuários que percorrem trajetos maiores e que utilizam o metrô regularmente estão expostos a níveis de ruídos elevados. De acordo com as avaliações feitas no interior das composições, os NPS variaram de 80,5 a 86,5 dB(A), conforme apresentado na Tabela 4. Esses valores são elevados e deve-se principalmente ao ruído originado fora do vagão, como os mesmos não possuem um sistema de refrigeração adequado, as janelas na maioria das vezes permanecem entreabertas. A dose de ruído adicionada a possíveis exposições que um usuário possa receber no seu ambiente de trabalho, tem potencial de causar danos à saúde, num médio o longo prazo.

**Tabela 4 – Níveis de pressão sonora medidos no interior das composições, dB(A)**

Índice	Local	<i>L<sub>min</sub></i>	<i>L<sub>90</sub></i>	<i>Leq</i>	<i>L<sub>10</sub></i>	<i>L<sub>max</sub></i>
VI1	Taguatinga Sul – Samambaia Sul	70,9	76,3	<b>80,5</b>	82,6	92,7
VI2	Samambaia Sul - Estação Central	74,7	75,6	<b>86,4</b>	92,0	100,4
VI3	Ceilândia Norte – Taguatinga Centro	67,0	74,6	<b>80,9</b>	85,6	88,6
VI4	Taguatinga Centro - Concessionárias	69,4	75,8	<b>85,3</b>	87,9	96,9

Há uma diferença significativa quando comparado os NPS na região onde a via é subterrânea, os cálculos realizado em separado para o *Leq* apresentou resultado de 90,8 dB(A) para esse trecho. Os valores máximos dos NPS também foram elevados em todas as medições, ultrapassando 100 dB(A).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do estudo indicam que os níveis de pressão avaliados nas estações tem pequeno potencial de impacto negativo na saúde nos usuários e trabalhadores do metrô DF, apesar de apresentarem valores próximos a 79 dB(A) para estações subterrâneas, o ruído é intermitente e usuários e funcionários passam pouco tempo nestes ambientes.

Os níveis de ruídos avaliados no interior dos vagões durante o trajeto apresentaram valores acima de 80 dB(A), a exposição a estes NPS não é recomendada, além do desconforto, dificulta a comunicação, concentração e leitura. A ausência de um sistema de refrigeração adequado foi identificado como o principal responsável pelos altos níveis de pressão sonora no interior das composições, pois a maioria delas trafega com as janelas semiabertas.

Nas regiões onde a malha metroviária é de superfície, foi constatado que os níveis de pressão sonora produzidos pela passagem do metrô, apesar de intermitente, estão acima do ruído residual, e também acima do limite estabelecido pela legislação distrital, assim como a norma da ABNT 10.151(2000). Esses níveis tem potencial de causar impactos negativos na população residentes nas áreas lindeiras à malha metroviária de superfície.

As desconformidades observadas em relação à legislação vigente indicam que o Metrô-DF tem potencial de provocar incômodo à população residente próxima a via de superfície e aos usuários.

A utilização de composições com sistema de refrigeração irá proporcionar um maior conforto aos usuários do sistema. Além do conforto térmico, teria o acústico, já que as composições iriam trafegar com as janelas fechadas o que atenuaria os ruídos externos que seriam transmitidos para o interior dos vagões.

Em relação aos ruídos ambientais, recomenda-se um estudo da viabilidade para implantação de barreiras acústicas para as áreas onde o metrô é de superfície.

**Agradecimento:** Os autores agradecem à FAP-DF (Fundação de Amparo à Pesquisa do Distrito Federal), ao UniCEUB e CNPq pelo apoio financeiro.

## 6 REFERÊNCIAS

Freia, P., Mohlera E., Rööslia M. (2014) Effect of nocturnal road traffic noise exposure and annoyance on objective and subjective sleep quality. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**. 217, (2-3), 188–195.

Garavelli, Sérgio Luiz; MAROJA, Armando de Mendonça ; COSTA, Cleber Alves da ; CARVALHO JÚNIOR, E. B. . O Projeto de Lucio Costa para Brasília DF e a Contaminação Acústica. In: **6º. Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional Integrado e Sustentável, 2014, Lisboa - PT**, 2014. v. 1. p. 1597-1608.

Gershon, R. R. M., Neitzel, R., Barrera M. A. and Akram M. (2006) Pilot Survey of Subway and Bus Stop Noise Levels. **Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine**, 83(5), 802-812.

González, A. R e Calle E. A. D. (2014). Objective and subjective indicators of traffic noise pollution in chapinero district (Bogotá city, Colombia). **Gestión y Ambiente Volumen**, 17 (2): 45-54.

Lang, J., Stani M. (1977) Measures against noise in Subway stations. **Journal of Sound and Vibration**, 51(3), 365-367.

Leeuwen H (2003). Noise emission of Light-Rail Vehicles - State of the art. In: **Proceedings of 5th European Conference on Noise Control**; May 19-21; Naples, Italy.

Maroja, A. M.; Santos, F. S.; Carvalho Jr., E. B.; Garavelli, S. L. (2014): Análise Espacial do Impacto Ambiental Acústico Provocado pela Implantação do VLT em Brasília - DF In:

**6º Congresso Luso-Brasileiro de Planejamento Urbano, Regional e Integração Sustentável**, Lisboa-PT. Livro de Actas, v. 1. Lisboa, Portugal.

Maroja, A. M.; Santos, F. S.; Garavelli, S. L.; Carvalho Jr., E. B. (2013): Veículo Leve sobre Trilhos: Impacto Ambiental Acústico em Brasília-DF. In: **XXVII ANPET – Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes**, Belém-PA.

Mohanan V., Sharma O. and Singal S. P. (1989) **Applied Acoustics**. A Noise and Vibration Survey in an Underground Railway System 28 (1989) 263-275.

Okokon E., Turunen A., Ung-Lanki S., Vartiainen A. , Tiittanen P., Lanki T. (2105) Road-Traffic Noise: Annoyance, Risk Perception, and Noise Sensitivity in the Finnish Adult Population. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. 12(6)5712

**Quercus (2015)**. Metro de Lisboa com níveis de ruído prejudiciais à saúde. <https://www.publico.pt/local/noticia/metro-de-lisboa-com-niveis-de-ruído-prejudiciais-a-saude-1694080>. Acesso em 01/02/2016.

Soeta Y., Shimokura R., (2012) Sound field characteristics of underground railway stations – Effect of interior materials and noise source positions. **Applied Acoustics**, 73(11), 1150-1158.

World Health Organization (WHO) (1999). In: Berglund B, Lindvall T, Schwela D, eds. **Guidelines for Community Noise**. Geneva: World Health Organization; 1999.

Paunović K., Belojević G., Jakovljević B., (2014) Noise annoyance is related to the presence of urban public transport. **Science of The Total Environment**, 481, 479-487.