

Mapeamento sonoro e simulações acústicas na implantação do trecho norte da Linha Verde em Curitiba, Paraná, Brasil

Paulo Henrique Trombetta Zannin

Prof. Dr.-Ing., Laboratório de Acústica Ambiental, Industrial e Conforto Acústico, UFPR, Brasil
paulo.zannin@gmail.com

Paulo Eduardo Kirrian Fiedler

Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, UFPR, Brasil
paulofiedler@gmail.com

Erik de Lima Andrade

Doutorando em Ciências Ambientais, Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba – UNESP, Brasil
eng.erik@hotmail.com

RESUMO

O presente estudo objetivou realizar o levantamento da poluição sonora ambiental nas áreas próximas ao trecho norte da Linha Verde, em Curitiba-PR, com uma extensão de aproximadamente 8 km. Para tanto, medições *in situ* dos níveis sonoros foram realizadas, assim como a poluição sonora foi avaliada através do cálculo de mapas de ruído, além de simulações acústicas. As medições foram feitas em 16 pontos, seguindo-se as diretrizes da NBR 10151. Mapas acústicos foram confeccionados para cada ponto, por meio de software de acústica, conferindo se os valores medidos com aqueles simulados ficaram entre um erro para mais ou para menos de até 4,6 dB(A). Após validação dos mapas e constatação da poluição sonora nos pontos selecionados, separou-se um dos pontos, que fica próximo a um hospital, para avaliar diferentes cenários em simulações. Os cenários selecionados foram: troca do asfalto comum, por um com propriedades porosas; restrição de 90% da quantidade de veículos pesados; redução da velocidade média dos veículos de 80km/h para 60 km/h; restrição de 50% da quantidade de veículos de todas as categorias; situação acústica do local incluindo todas as medidas propostas nos cenários anteriores. Todos os cenários apresentados neste trabalho revelaram que as medidas adotadas não foram suficientes para atingir os 55 dB(A) próximos as áreas sensíveis como hospitais. Mostrou ainda que apenas uma medida de controle tomada não é suficiente para combater o ruído de forma eficiente. É necessário um plano com várias medidas conjuntas que diminuam o problema.

PALAVRAS-CHAVE: Ruído ambiental. Poluição sonora. Mapas de ruído.

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, milhões de pessoas são expostas a ruídos provenientes das mais diversas fontes. Os níveis de ruído e a conseqüente poluição sonora, estão ligados diretamente ao crescimento das cidades e da população urbana. Como conseqüência tem-se um aumento no número de fontes sonoras no meio urbano advindas, especialmente, dos meios de transporte (BASNER; MCGUIRE, 2018; WOSNIACK; ZANNIN, 2021).

A problemática do ruído em cidades tem sido estudada intensamente ao redor do mundo (PAIVA et al., 2019). O aumento da urbanização e o crescimento no número de automóveis que trafegam no perímetro urbano das metrópoles vêm, contribuindo para elevar ainda mais a emissão do ruído no meio urbano (KHAN et al., 2018).

A cidade de Curitiba-PR tem hoje mais de 1.900.000 habitantes (IBGE, 2021), o que a torna uma das grandes metrópoles brasileiras. Dados da divisão de estatísticas do Departamento de Trânsito do Paraná (DETRAN-PR) revelam que a frota total de veículos em dezembro de 2020 é de 1.469.805 (DETRAN-PR, 2021), sendo que estes números crescentes de população e veículos deixam em evidência um poluente ambiental indesejável, o ruído urbano.

Curitiba tem passado por transformações urbanas na sua história recente, como a conversão da antiga BR-116 em uma “grande avenida”. A antiga BR-116, hoje chamada de Linha Verde, foi e está sendo remodelada (ZANNIN; SANT’ANA, 2011). As obras de remodelação urbana da antiga BR-116 incluem o chamado trecho sul (Pinheirinho – Campus da Universidade Federal do Paraná (UFPR)), já concluído, e o chamado trecho norte (Campus da UFPR – Atuba).

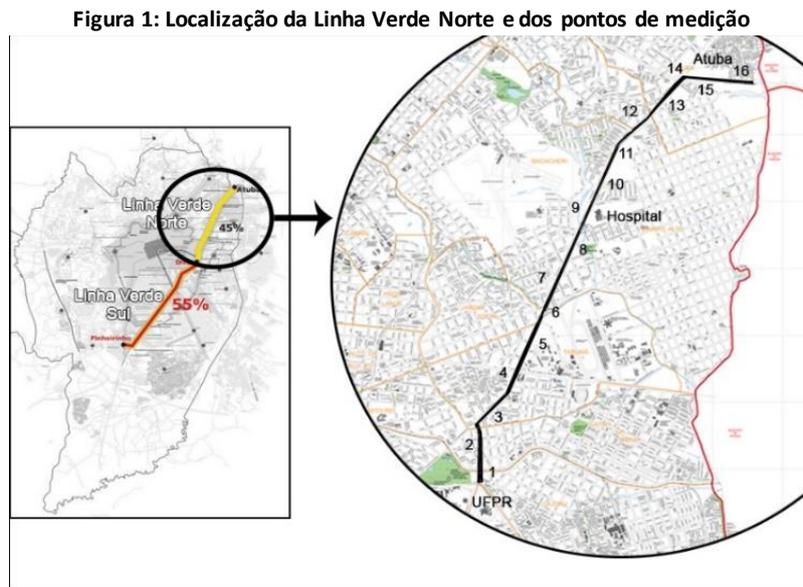
Neste sentido, o presente estudo objetivou realizar o levantamento da poluição sonora ambiental nas áreas próximas ao trecho norte da Linha Verde. Para tanto, medições *in situ* dos níveis sonoros foram realizadas, assim como a poluição sonora foi avaliada através do cálculo de mapas de ruído com simulações acústicas.

2 METODOLOGIA

2.1 MEDIÇÕES SONORAS

As medições sonoras foram feitas em 16 pontos, durante 10 minutos cada ponto, espaçados entre si em 500 m, totalizando um trecho total aproximado de 8 km. Os resultados

das medições para o nível sonoro equivalente (L_{eq}) foram expressos em dB(A). Para cada ponto de medição foi realizado um mapa de ruído considerando os principais fatores que determinam o ruído de tráfego rodoviário. As medições seguiram as recomendações da norma brasileira NBR 10.151 e os equipamentos utilizados foram: analisador sonoro BK 2250; calibrador acústico BK 4231. Simultaneamente as medições sonoras, realizou-se a contagem de veículos leves, pesados e motocicletas. Na Figura 1 podem ser visualizados os pontos de medição e a localização do trecho estudado.



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

2.2 MAPEAMENTO ACÚSTICO

Para criar os mapas de ruído da área em estudo, por meio do software de análise acústica Predictor 6.2 modelo 7810, utilizou-se dados cartográficos georreferenciados como a topografia, o arruamento e as ortofotocartas da região, que foram obtidos através da base de dados denominada Curitiba Digital – Edição 2006/CD-ROM, do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC). As edificações foram desenhadas manualmente. Outros dados de entrada foram necessários, entre eles: fluxo de veículos divididos em categorias (veículos leves, motocicletas e veículos pesados), velocidade média que trafegam os veículos e o tipo de asfalto utilizado. Definiu-se a velocidade média dos veículos nas vias analisadas considerando-se a velocidade máxima permitida nas vias de tráfego, variando de 60 a 80 km/h. Para veículos pesados a velocidade considerada foi 5 km/h abaixo das velocidades de motocicletas e veículos leves. A malha de pontos receptores (grid noise map) teve a distância entre os pontos definida em 15 x 15 m. A altura do grid utilizada foi de 4 m, com objetivo de seguir a recomendação da Environmental Noise Directive (2002/49/EC).

2.3 SIMULAÇÕES ACÚSTICAS

Selecionou-se um dos trechos do mapeamento acústico (próximo ao ponto 9 onde situa-se um hospital) para aplicação de simulações de cenários hipotéticos, utilizando o software Predictor 6.2 modelo 7810, no intuito de verificar se algumas medidas mitigadoras são capazes

de reduzir os níveis sonoros. Para aplicação das simulações, foram propostos cinco cenários, onde cada cenário apresenta uma situação diferente, mostrados da seguinte forma:

- Cenário de referência: mostra a situação acústica atual, após o mapeamento acústico, em frente a um grande hospital localizado na Linha Verde Norte;
- Cenário 1: mesmo local de referência após a troca do asfalto comum, por um com propriedades porosas;
- Cenário 2: restrição de 90% da quantidade de veículos pesados circulantes;
- Cenário 3: redução da velocidade média dos veículos de 80km/h para 60 km/h;
- Cenário 4: restrição de 50% da quantidade de veículos de todas as categorias;
- Cenário 5: mostra a situação acústica do local incluindo todas as medidas propostas nos cenários 1, 2, e 3.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 MAPAS DE RUÍDO

Inicialmente, procedeu-se com a calibração do modelo, que consiste em verificar se os níveis sonoros gerados pelo modelo são compatíveis com os níveis sonoros medidos em campo. Esta comparação é feita, adicionando receptores no modelo, no mesmo local onde foram feitas as medições. Os mapas foram calibrados com as medições, sendo que a diferença entre L_{eq} medido e o simulado deve ser menor do que os 4,6 dB(A), recomendados pela “Working Group Assessment of Exposure to Noise” (WG-AEN, 2002). Na Tabela 1 tem-se a diferença entre os valores medidos e simulados.

Tabela 1: Diferença entre L_{eq} dB(A) nas medições e nas simulações computacionais

Ponto de medição	Valor medido	Valor Simulado	Diferença
1	79,1	80,3	+1,2
2	79,9	79,6	-0,3
3	80,9	79,7	-1,2
4	81,7	82,4	+0,7
5	81,6	82,4	+0,8
6	80,2	76,9	-3,3
7	75,5	75,2	-0,3
8	76,1	77,5	+1,4
9	79,5	77,1	-2,4
10	76,7	77,2	+0,5
11	80,6	80,7	+0,1
12	76,3	73,0	-3,3
13	73,6	74,2	+0,6
14	74,1	74,6	+0,5
15	76,5	75,1	-1,4
16	78,4	76,9	-1,5

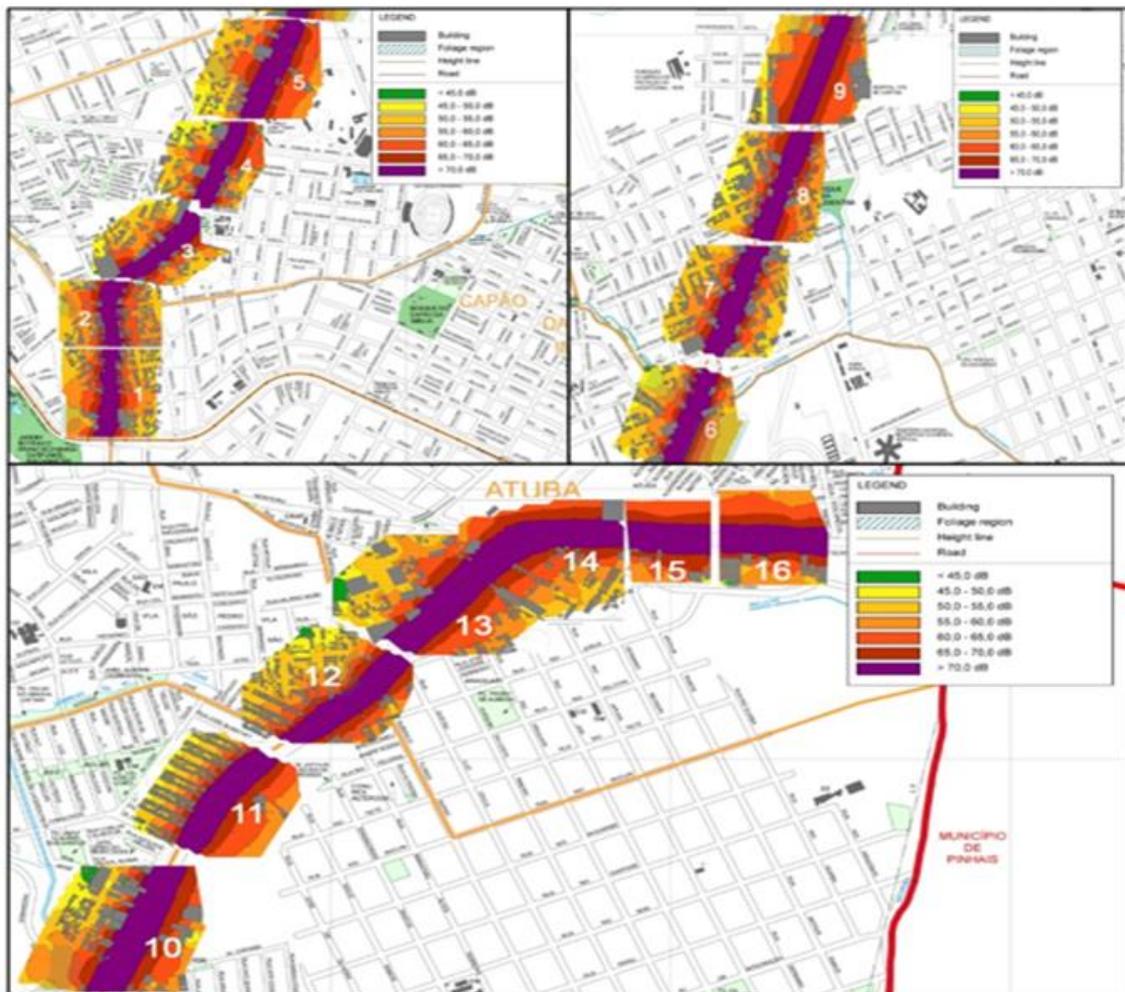
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Analisando-se os níveis de pressão sonora obtidos nas medições de cada ponto, confirma-se que todos os níveis estão muito acima do permitido pela lei municipal de Curitiba nº 10.625/2002, que é de 65 dB(A). A composição do tráfego é um fator de grande importância para a análise de impacto ambiental sonoro, pois afeta diretamente os níveis sonoros medidos.

A grande porcentagem de veículos leves (74,5%) e de pesados (15,5%) ajudam a justificar os elevados níveis sonoros ao longo do trecho (FIEDLER; ZANNIN, 2015).

A Figura 2 ilustra os 16 mapas de ruído obtidos para cada ponto de medição.

Figura 2: Mapas acústicos dos pontos 1 a 16



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Todos os mapas mostram que os níveis sonoros que atingem as fachadas das edificações são considerados elevados se comparados com os níveis máximos permitidos pela legislação vigente na cidade de Curitiba, Lei nº 10.625/2002, com valores acima de 70 dB(A). Esses níveis elevados podem ser justificados devido ao grande fluxo de veículos e a alta velocidade média observada no levantamento em campo.

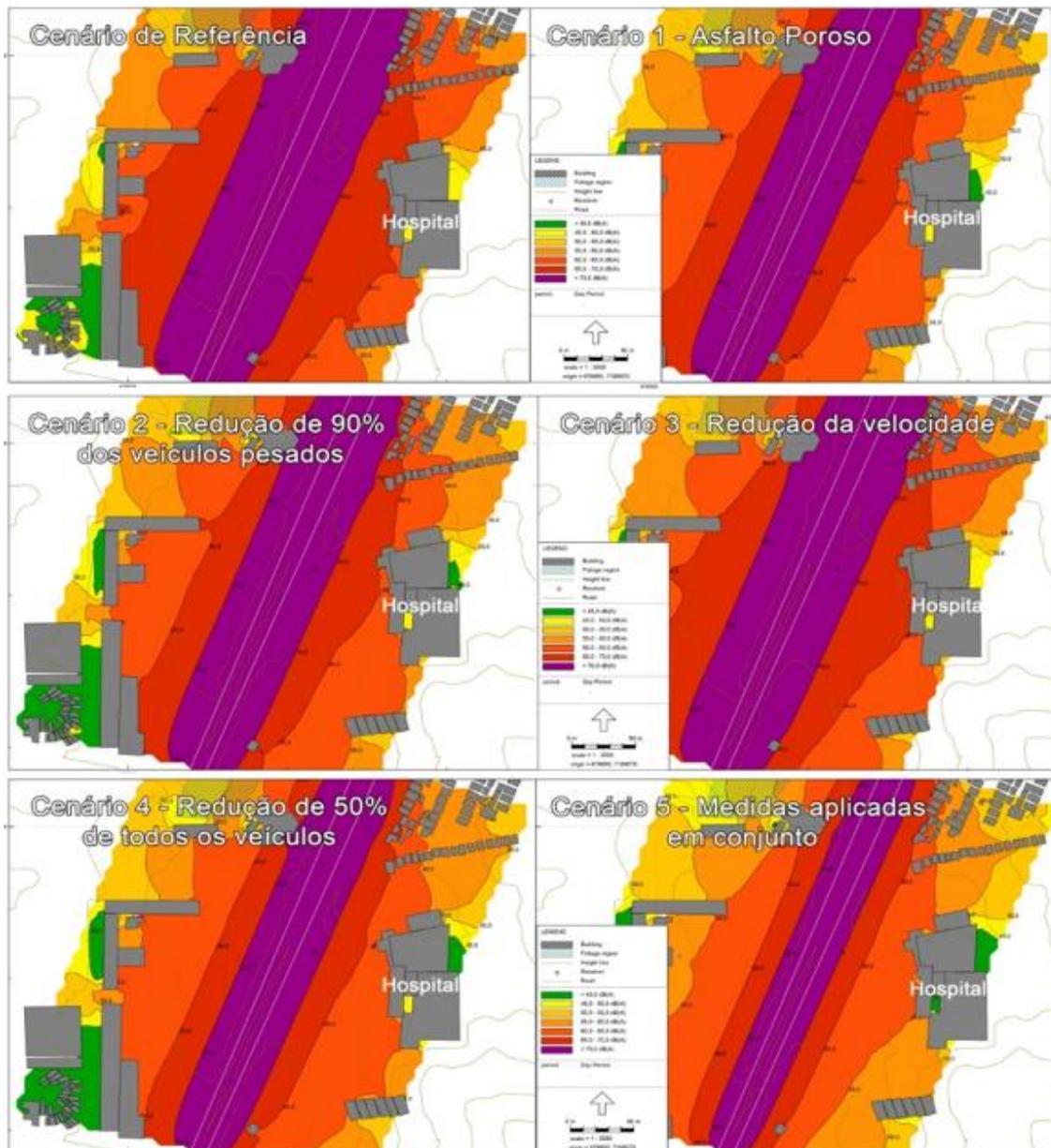
Para mudar o panorama acústico atual, podem ser realizadas medidas mitigadoras, como por exemplo: mudanças de pavimento (geralmente os asfaltos porosos são mais silenciosos), limitação do fluxo de veículos pesados e redução na velocidade média dos veículos (FIEDLER; ZANNIN, 2015; MONTES-GONZÁLEZ et al., 2019; ROSSI et al., 2020).

3.2 SIMULAÇÕES ACÚSTICAS

Na Figura 3 tem-se os resultados dos mapas elaborados para os diferentes cenários em

comparação ao cenário de referência. O trecho selecionado para verificar os diferentes cenários hipotéticos localiza-se próximo a um hospital, considerado área sensível ao ruído (ANDRADE et al., 2021a), com valores dos níveis sonoros mais restritivos (55 dB(A)).

Figura 3: Comparação entre todos os cenários simulados e o cenário de referência



Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Observou-se que após a mudança proposta no cenário 1, os níveis sonoros num intervalo de 60 a 65 dB(A) são predominantes em torno do hospital. Nota-se também que os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital estão cerca de 5 dB(A) abaixo do cenário de referência, resultado similar ao apresentado no cenário 2. Esta redução não é suficiente para que se enquadre no limite máximo permitido de 55 dB(A) em torno de regiões sensíveis como hospitais e escolas. No estudo de Montes-González et al. (2019), os autores verificaram reduções similares nos níveis sonoros durante a noite com a simulação da implantação de asfalto poroso

ao redor de um hospital. Fiedler e Zannin (2015), com a simulação da redução em 50% no número de veículos pesados, verificaram a redução em 3 dB(A) na fachada de dois hospitais.

O cenário 3 mostra que a diminuição dos níveis sonoros foi muito pequena e a mudança aparece quase imperceptível no mapa com valores próximos aos mostrados no cenário de referência. Outro trabalho verificou com a redução na velocidade dos veículos para 30 km/h, que os níveis sonoros baixaram de 3 a 5 dB(A) (ROSSI et al., 2020).

Observou-se que no mapa do cenário 4 a diferença entre o cenário de referência é bastante notável e indica que os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital são cerca de 5 dB(A) abaixo do cenário de referência. Porém esta redução também não é suficiente para que se enquadre no limite máximo permitido de 55 dB(A). Andrade et al. (2021b) verificaram que, mesmo com elevada taxa de redução na circulação total de veículos no entorno de um hospital na cidade de Sorocaba-SP, em função da pandemia de COVID-19, houve redução abaixo de 1 dB(A) na avenida de maior fluxo e velocidade de veículos.

Através dos cenários anteriores, constatou-se que apenas uma medida de mitigação não é suficiente para reduzir os níveis sonoros de modo que se enquadrem na legislação vigente. Dessa forma, no cenário 5 realizou-se uma simulação onde um conjunto de medidas foi adotado. As medidas adotadas nessa simulação são as mesmas apresentadas nos cenários 1, 2 e 3. O resultado mostrou que diferença entre o cenário de referência e o cenário 5 é bastante notável e indica que os níveis sonoros que atingem a fachada do hospital são inferiores em relação ao cenário de referência.

4 CONCLUSÃO

Os níveis sonoros medidos nos dezesseis pontos ao longo do trecho norte da Linha Verde em Curitiba-PR estão acima do permitido segundo a legislação vigente municipal, que é de até 65 dB(A). Os valores que chegam até a fachada das edificações estão acima dos 70 dB(A).

No ponto selecionado para as simulações de possíveis medidas mitigadoras da poluição sonora, verificou-se que todos os cenários apresentados não foram suficientes para atingir os 55 dB(A), nível máximo permitido para áreas sensíveis como hospitais. Foi possível verificar, ainda, que apenas uma medida de controle tomada não é suficiente para combater o ruído de forma eficiente. É necessário um plano com várias medidas conjuntas que diminuam o problema. Ainda que o cenário 5 com várias medidas não tenha alcançado o limite proposto pela legislação vigente, foi o que mostrou a maior diferença em relação aos outros cenários.

Neste estudo verificou-se que modelos computacionais são possíveis aliados no planejamento urbano para o controle de ruído e podem auxiliar na tomada de decisões dos gestores públicos, buscando a garantia e a melhoria da qualidade de vida da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, E. L.; SILVA, D. C. C.; LIMA, E. A.; OLIVEIRA, R. A.; ZANNIN, P. H. T.; MARTINS, A. C. G. Environmental noise in hospitals: a systematic review. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 28, p. 19629–19642, 2021a. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13211-2>.

ANDRADE, E. L.; LIMA, E. A.; SIMONETTI, V. C.; OLIVEIRA, R. A.; ZANNIN, P. H. T.; SILVA, D. C. C.; MARTINS, A. C. G. Influence of the COVID-19 pandemic on the external environmental noise of a public hospital in Sorocaba, Brazil. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, v. 9, n. 69, p. 44-51, 2021b. DOI: <http://dx.doi.org/10.17271/2318847296920212790>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10151: Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral**. Rio de Janeiro, 2019.

BASNER, M., MCGUIRE, S. WHO environmental noise Guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and effects on sleep. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 15, p. 519, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15030519>.

DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO PARANÁ (DETRAN-PR). **Estatísticas de Trânsito**. Disponível em: <http://www.detran.pr.gov.br/Pagina/Estatisticas-de-transito>. Acesso em: 11 fev. 2021.

EUROPEAN COMMISSION WORKING GROUP ASSESSMENT OF EXPOSURE TO NOISE (WG-AEN): “**Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure**” – v.2, p. 1-129, 13th Jan 2006.

EUROPEAN UNION DIRECTIVE 2002/49/EC **relating to the Assessment and Management of Environmental Noise**. Official Journal of the European Communities; 2002. No. L 189.

FIEDLER, P. E. K.; ZANNIN, P. H. T. Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs — Noise maps and measurements. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 51, p. 1-9, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2014.09.014>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População de Curitiba** – Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>. Acesso em: 11 fev. 2021.

KHAN, J.; KETZEL, M.; KAKOSIMOS, K.; SORENSEN, M.; JENSEN, S. S. Road traffic air and noise pollution exposure assessment—A review of tools and techniques. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 661–676, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.374>.

MONTES-GONZÁLEZ, D.; BARRIGÓN-MORILLAS, J. M.; GÓMEZ ESCOBAR, V.; VÍLCHEZ-GÓMEZ, R.; REY-GOZALO, G.; ATANASIO-MORAGA, P.; MÉNDEZ-SIERRA, J. A. Environmental Noise around Hospital Areas: A Case Study. **Environments**, v. 6, p. 41, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/environments6040041>.

PAIVA, K. M.; CARDOSO, M. R. A.; ZANNIN, P. H. T. Exposure to road traffic noise: Annoyance, perception and associated factors among Brazil’s adult population. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 978–986, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.041>.

ROSSI, I. A.; VIENNEAU, D.; RAGETTLI, M. S.; FLUCKIGER, B.; ROOSLI, M. Estimating the health benefits associated with a speed limit reduction to thirty kilometers per hour: A health impact assessment of noise and road traffic crashes for the Swiss city of Lausanne. **Environment International**, v. 145, p. 106126, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106126>.

WOSNIACK, G.; ZANNIN, P. H. T. Framework to manage railway noise exposure in Brazil based on field measurements and strategic noise mapping at the local level. **Science of the Total Environment**, v. 757, p. 143721, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143721>.

ZANNIN, P. H. T.; SANT’ANA, D. Q. Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project – A case study in Brazil. **Applied Acoustics**, v. 72, n. 8, p. 479-486, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.09.014>.