AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL BIANUAL DA POLUIÇÃO SONORA EM AMBIENTE UNIVERSITÁRIO VIA MAPEAMENTO ACÚSTICO

Eriberto Oliveira do Nascimento (1); Lígia M. Carlos (2) e Paulo Henrique Trombetta Zannin (3)
(1) Engenheiro Mecânico, Doutorando, eriberto.on@gmail.com
(2) Graduanda em Engenharia Mecânica, medinafc@gmail.com
(3) Engenheiro Mecânico, Prof. Tit. Dr. -Ing., paulo.zannin@gmail.com
Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Laboratório de Acústica Ambiental - Industrial e Conforto Acústico, Centro Politécnico, Bloco IV, Sala PG-05, Cx Postal 19011, Curitiba - PR, 81531-990

RESUMO
O ruído em ambientes escolares onera a relação ensino aprendizagem e pode prejudicar a saúde de alunos e professores. Este trabalho objetivou avaliar a evolução temporal do ruído em um ambiente universitário, na cidade de Curitiba. Aplicou-se o mapeamento acústico como uma ferramenta de prognóstico, nos anos de 2016 e 2018. Medições foram realizadas em 20 pontos, contou-se e estratificou-se o fluxo do tráfego veicular nesses pontos. Com os mapas de ruído, comparou-se os níveis de pressão sonora equivalente (LAeq) simulados e medidos em relação aos limites máximos da NBR 10.151 com 50 dB e a Lei municipal de Curitiba 10.625 permitindo até 60 dB. Os resultados demonstram que não houve diferença estatisticamente significante entre os anos de 2016 e 2018. Foi identificado que o campus se encontra em uma situação de poluição sonora, com todos os pontos de medição apresentando LAeq acima de 50 dB. Todavia, os mapas de ruídos identificaram algumas zonas internas do campus com valores aceitáveis. Conclui-se que os mapas de ruído é uma ferramenta indispensável para a avaliação da poluição sonora.

Palavras-chave: ruído do tráfego; impacto do ruído; poluição sonora; ambiente educacional

ABSTRACT
Noise in school environments burdens the relationship between teaching and learning and can harm students' and teachers' health. This work aimed to evaluate the temporal evolution of noise in a university environment in Curitiba. He applied acoustic mapping as a prognostic tool in the years 2016 and 2018. Measurements were made at 20 points, the flow of vehicular traffic at these points was counted and stratified. With the noise maps, the simulated and measured equivalent sound pressure levels (Leq) were compared to the maximum limits of NBR 10,151 with 50 dB (A) and the Curitiba Municipal Law 10,625, allowing up to 60 dB (A). The results demonstrate that there was no statistically significant difference between the years 2016 and 2018. It was identified that the campus is in a situation of noise pollution, with all points showing Leq above 50 dB (A). The noise maps identified some internal areas of the campus with acceptable values. It is concluded that noise maps are an indispensable tool for the assessment of noise pollution.

Keywords: traffic noise; noise impact; sound pollution; educational environment

1. INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde, relata que a poluição sonora não é apenas um incômodo ambiental, mas sim uma ameaça à saúde pública. Com o aumento da densidade demográfica, o ruído vem como uma consequência. A poluição sonora torna-se diretamente proporcional ao conglomerado de pessoas numa certa área. As fontes de ruído são variadas, originário de construções civis até relacionada com o aumento do tráfego urbano (CHANDRAPPA; DAS, 2021).

Para realizar uma análise sonora de um ambiente é empregado uma ferramenta chamada mapa acústico. O mapa acústico pode ser posteriormente empregado para o controle e redução da poluição sonora. A utilização de mapeamento acústico para controle de ruído e avaliação acústica, vem sendo utilizado em diversos países. Há muitos softwares, entre comercias e livres, que são utilizados para gerar um mapa acústico, tais como, CadnaA, Fluidyn, GipSynoise, IMMI, LIMA, Mithra, Noisemap, Predictor e SoundPLAN (ALAM et al., 2020).

Nesses softwares, há a possibilidade de realizar simulações de maneira a buscar soluções para redução do ruído em áreas em que os níveis de pressão sonora estão acima dos valores legais permitidos. Outra possiblidade é realizar predições do aumento da frota veicular (DO NASCIMENTO et al., 2021). Essas medidas de atenuação são necessárias, pois a exposição prolongada ao ruído prejudica a saúde. Alguns dos efeitos nocivos do ruído incluem, perturbações da qualidade e quantidade do sono, efeitos cardiovasculares e psicofisiológicos, tais como, redução do desempenho laboral e até mesmo, pode gerar mudanças comportamentais, devido sobretudo, ao efeito da ansiedade induzida pelo ruído (PAIVA; CARDOSO; ZANNIN, 2019).

Por outro lado, os efeitos negativos do ruído vão além dos problemas auriculares. Especificamente, o ruído afeta a aprendizagem e o desempenho cognitivo em crianças. Clark e Paunovic (2018) relatam que alunos expostos cronicamente ao ruído de diversas fontes como, o ruído aeroviário, rodoviário e ferroviário possui déficits de leitura, memória e desempenho em exames, comparado a crianças que não são expostas a tais ruídos em suas escolas.

Em ambientes acadêmicos, onde a comunicação entre o aluno e o professor é vital para se estabelecer o aprendizado, baixos níveis de pressão sonoro torna-se vital para essa interação, bem como para permitir uma maior concentração de ambas as partes. O ruído excessivo e a reverberação nas salas de aula são barreiras à aprendizagem, visto que degradam ou inibem a comunicação da fala (RUDNER, 2018).

.

2. OBJETIVO

Esse trabalho objetiva mensurar os níveis de pressão sonora equivalente em um ambiente universitário, no caso, o campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná e realizar o mapeamento acústico para identificar as zonas mais críticas. Após, estimar se houve diferença estatisticamente significativa entre os níveis de pressão sonora equivalente (LAeq) entre os anos de 2016 e 2018.

3. MÉTODO

A área avaliada foi o campus Centro Politécnico, da Universidade Federal do Paraná, situado na zona leste de Curitiba. Nessa região há rodovias de grande tráfego veicular, a Rodovia BR-277 e a Avenida Linha Verde.

A norma brasileira NBR 10151 (ABNT, 2019) foi empregada para a avaliação acústica. Tal norma informa os procedimentos metodológicos para a medição e os limites de ruído admissíveis por região. Os equipamentos utilizados foram o sonômetro Brüel & Kjaer 2270 de classe 1; calibrador acústico Brüel & Kjaer 4231; Tripés; Software Noise Explorer modelo 7815 para transferência e tratamento dos dados do sonômetro para o computador; Software Predictor 8.13 modelo 7810 para o cálculo e geração dos mapas acústicos.

Conforme mostra a Figura 1 foram escolhidos (n = 20) pontos estratégicos de medição, estes foram localizados próximos às fontes de ruído do local e dos blocos com salas de aula, ou seja, próximos à rodovia, à avenida e às ruas internas de maior tráfego veicular.

(A)



(B)



Figura 1 – Visão cartográfica da região avaliada: (A) Campus Politécnico; (B) Tripé de medição posicionado em direção a fonte de ruído do tráfego rodoviário

Para a realização das medições do nível de ruído sonoro equivalente no perímetro do Campus Centro Politécnico, adotou-se um tempo de medição de 15 minutos com leituras tomadas a 1,2 m do solo com o uso de tripés e ao menos 2,0 m de qualquer superfície refletora de ruídos. No total, foram analisados os níveis de pressão sonora equivalente de 40 pontos, sendo que 20 ocorreram em 2016 e os demais foram coletados em 2018. As localizações dos pontos foram as mesmas em ambos os anos. Cada campanha de medição ocorreu num intervalo de cinco dias.

Simultaneamente com as medições próximas às ruas e rodovias, foi feita a contagem de veículos, categorizados em veículos leves, veículos pesados e motocicletas. Isso permitiu definir os parâmetros essenciais de emissão de ruído no Software Predictor 8.13, através dos níveis de potência sonora de acordo com cada tipo de fonte. Para a simulação dos mapas de ruído utilizou a norma ISO 9613-2 (ISO, 2017) para a configuração dos coeficientes de absorção sonora e dos demais parâmetros.

A necessidade de vários pontos medição se deu para a calibração do modelo simulado. Assim, é garantida que a simulação seja condizente com a realidade e, dessa forma, é possível analisar a totalidade da área estudada, e não somente pontos específicos. Conforme a *European Commision Working Group – Assesment of Exposure to Noise* (WG-AEN, 2006), para que a calibração seja aceita, a diferença entre o valor medido de nível de pressão sonora equivalente e o simulado não deve ultrapassar 4,6 dB(A).

A NBR 10151 (ABNT, 2019) estipula o limite para o nível de pressão sonora para escolas como 50 dB. Por sua vez, segundo a Lei Municipal 10.625 (PMC, 2002), aplicando o zoneamento Zona Especial Educacional (ZE-E) o limite é de 60 dB.

A Análise da Variância (ANOVA) para a diferença entre as médias dos níveis de pressão sonora equivalente nos anos de 2016 e 2018 foi aplicado para os dados em pressão sonora medidos em Pascal e não em níveis de pressão sonora equivalente em dB, uma vez que a escala dB não é linear (DE OLIVEIRA SANTOS, 2020). Para aplicar a ANOVA necessita-se certificar previamente se os dados se ajustam a uma distribuição normal, o teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov foi aplicado, esse o teste estatístico do tipo D (MASSEY, 1951).

4. RESULTADOS

Ao findar-se a etapa de medições procedeu-se com a consolidação dos resultados. Essa seção foi dividida em três etapas, a primeira, comparação do LAeq medidos entre os anos de 2016 e 2018; a segunda comparação normativa dos níveis medidos em 2018, frente as normas NBR 10151 (ABNT, 2019) e a Lei Municipal

10.625 (PMC, 2002) e a terceira confecção dos mapas acústicos e verificação da situação corrente do campus como um todo.

A Tabela 1 consolida os valores dos níveis de pressão sonora equivalente (LAeq) em dB determinados nos pontos de medição para os anos de 2016 e 2018.

Tabela 1 – Níveis de Pressão Sonora Equivalente medidos – dB

Ponto	2016	2018	Ponto	2016	2018
1	60,7	69,3	11	58,3	58,8
2	63,5	67,6	12	71,8	53,4
3	65,4	57,2	13	71,4	53,3
4	62,9	56,1	14	59,5	51,2
5	59,9	57,9	15	58,6	56,1
6	62	56,6	16	56,9	54,5
7	72,9	58,7	17	64	54,7
8	70,1	50,8	18	65,9	66,8
9	68,4	51,4	19	62,1	70,4
10	69,3	52,2	20	69,5	69

Em relação ao teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov para uma população de (n = 20) os resultados mostraram que em ambos os anos os dados ajustaram-se a uma distribuição normal. Logo, para o ano de 2016 com o teste estatístico D de 0,1938 com p-valor de 0,0389, em 2018, D de 0,1241 e p-valor de 0,8806. Constatou-se que não houve diferença estatística em termos das médias para a análise ANOVA de um fator, para $\alpha = 0,05$ de confiança e com p-valor de 0,4060. Portanto, para a confecção dos mapas acústicos foram utilizados os dados somente do ano de 2018, uma vez que as medições em ambos os anos e em todos os pontos são estatisticamente equivalentes.

A Tabela 2 mostra os valores médios da estratificação da contagem dos veículos observados nos pontos de medição.

Tabela 2 – LAeq e estratificação do tráfego veicular no ano de 2018.

Ponto	LAeq	Veículos Leve	Veículos Pesados	Motocicletas	Ponto	LAeq	Veículos Leve	Veículos Pesados	Motocicletas
1	69,3	30	1	6	11	58,8	6	0	0
2	67,6	34	0	3	12	53,4	2	0	2
3	57,2	40	3	3	13	53,3	5	0	0
4	56,1	33	0	6	14	51,2	0	0	1
5	57,9	37	0	3	15	56,1	151	6	8
6	56,6	36	1	1	16	54,5	241	7	5
7	58,7	52	0	4	17	54,7	610	77	76
8	50,8	16	0	3	18	66,8	633	55	47
9	51,4	9	0	1	19	70,4	110	10	15
10	52,2	33	0	3	20	69	6	0	1

Com base na Tabela 2, as quantidades totais da frota veicular foram de 2084 (86%), 160 (7%) e 188 (8%) para os veículos leves, veículos pesados e motocicletas, respectivamente. Os dados da composição estratificada do tráfego veicular foram utilizados como as variáveis de entrada para o cálculo dos mapas de ruído.

A Tabela 3 mostra a comparação entre os valores medidos e simulados em cada ponto, além disso mostra-se a diferença entre estes para o ano de 2018. Assim estabeleceu-se o critério de validação.

Tabela 3 – Validação do mapa de ruído simulado no Software Predictor 8.13 no ano de 2018

Ponto	Medição - dB	Simulação - dB	Diferença - dB	Ponto - dB	Medição - dB	Simulação - dB	Diferença - dB
1	69,3	68,2	1,1	11	58,8	54,7	4,1
2	67,6	63,7	3,9	12	53,4	54,7	-1,3
3	57,2	56,8	0,4	13	53,3	57,1	-3,8
4	56,1	55,5	0,6	14	51,2	55,8	-4,6
5	57,9	62,4	-4,5	15	56,1	59,9	-3,8
6	56,6	61,2	-4,6	16	54,5	59	-4,5
7	58,7	61,2	-2,5	17	54,7	57,4	-2,7
8	50,8	54,8	-4	18	66,8	65,6	1,2
9	51,4	52,4	-1	19	70,4	69,9	0,5
10	52,2	56,2	-4	20	69	68,9	0,1

Ao inspecionar a Tabela 3 observou-se que os pontos atenderam ao critério da maior diferença estar contida dentro da faixa de erro tolerável de ± 4,6 dB(A). Portanto, considerou-se o mapa de ruído devidamente calibrado. Adicionalmente, a Figura 2 mostra a curva de calibração do modelo. Observou-se o coeficiente de determinação (R^2) de 0,8195. Dessa forma, o modelo do mapa de ruído de fato produz uma relação linear entre os valores medidos e simulados, corroborando a validação do mapa acústico.

(A) (B)

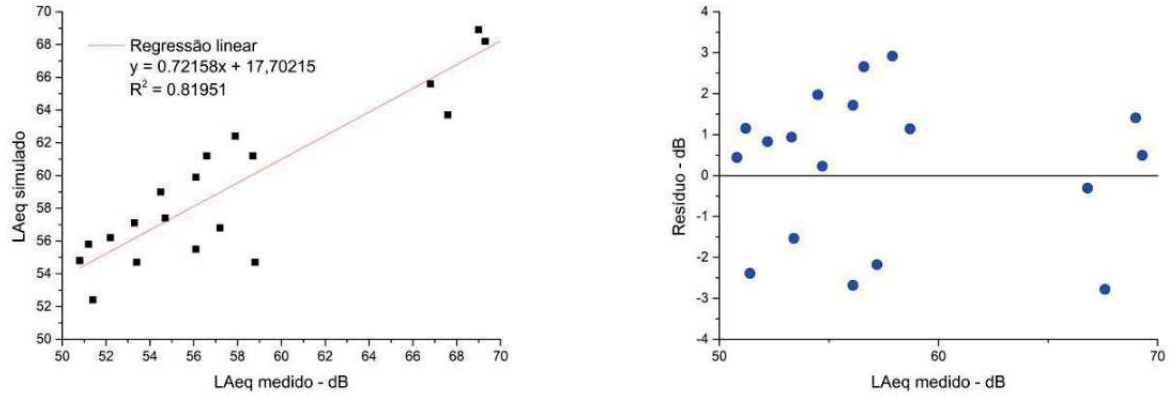


Figura 2 – Calibração do mapa de ruído: (A) Curva de calibração do mapa (B) Resíduos da regressão linear, o resíduo é considerado como o valor medido subtraído do valor predito pela regressão linear

Por outro lado, a fim de verificar tal resultado da curva de calibração, realizou-se de forma independente o teste ANOVA de um fator, para a população (n = 20) dos dados medidos versus simulados para o ano de 2018 contidos na Tabela 3. Portanto, com $\alpha = 0,05$ obteve-se o p-valor de 0,4385 e teste estatístico F de 0,6129. Esses valores certificam que não houve diferença estatisticamente significante entre as médias do LAeq medidos e simulados.

Em posse dos mapas de ruído devidamente validado, a Figura 3 mostra o mapa da região com as isolinhas dos níveis de pressão sonora equivalente simulados para a região avaliada.

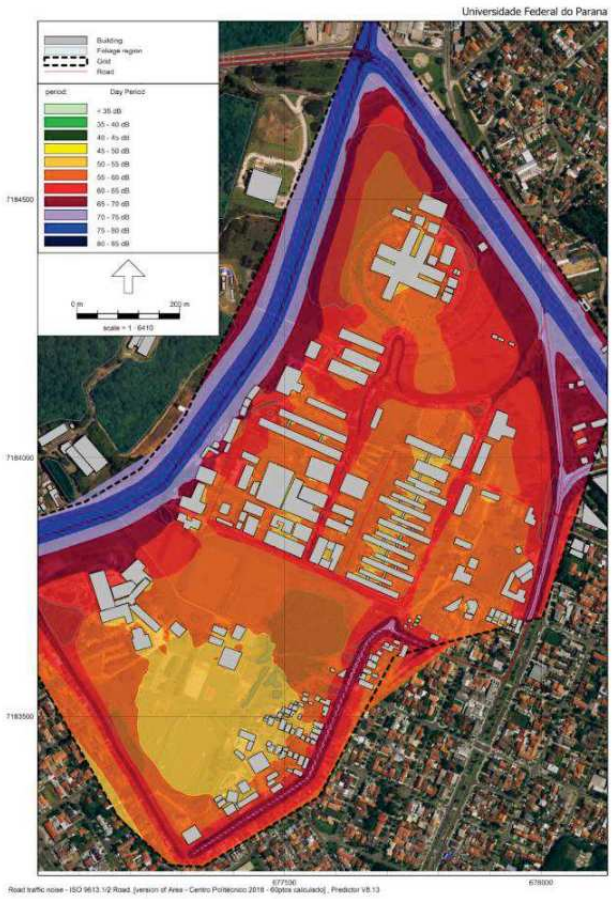


Figura 3 – Mapa de ruído para o ano de 2018

Os menores níveis simulados estão entre 45 dB e 50 dB, enquanto os maiores, 80 dB e 85 dB. Conforme a Figura 3, nota-se a influência da Rodovia BR-277 e da Avenida Linha Verde, essa região é identificada como as rodovias limítrofes ao campus, representadas pelas corres roxa e azul no mapa.

A Figura 4 mostra a representação tridimensional (3D) referente a condição atual do Campus Centro Politécnico. Nessa figura foram comparados os níveis de pressão sonora equivalente frente os valores limites da Lei Municipal 10.625 (PMC, 2002) e a NBR 10151 (ABNT, 2019). Qualitativamente, as tonalidades das cores roxo escuro representam níveis de pressão sonora elevados, na faixa de 70 a 75 dB. Conforme mencionado previamente, verificou-se ainda que os maiores níveis de pressão sonora equivalentes foram associados diretamente com o traçado das vias de transporte rodoviário internas e externas ao campus.

(A)



(B)



Figura 4 – Visão qualitativa do mapa de ruído tridimensional em duas situações: (A) Lei Municipal 10.625 (B) Norma NBR 10151

Quando comparados às leis e normas, notou-se irregularidades quanto aos níveis de ruído externo no campus. A Figura 5 mostraram-se os mapas que ilustram as áreas dentro dos limites estabelecidos (em verde) e fora (laranja) conforme a Lei Municipal 10.625 (PMC, 2002) e a NBR 10151 (ABNT, 2019), respectivamente. Em azul, regiões com LAeq de 80 dB, valores estes acima do permitido.

(A)



(B)

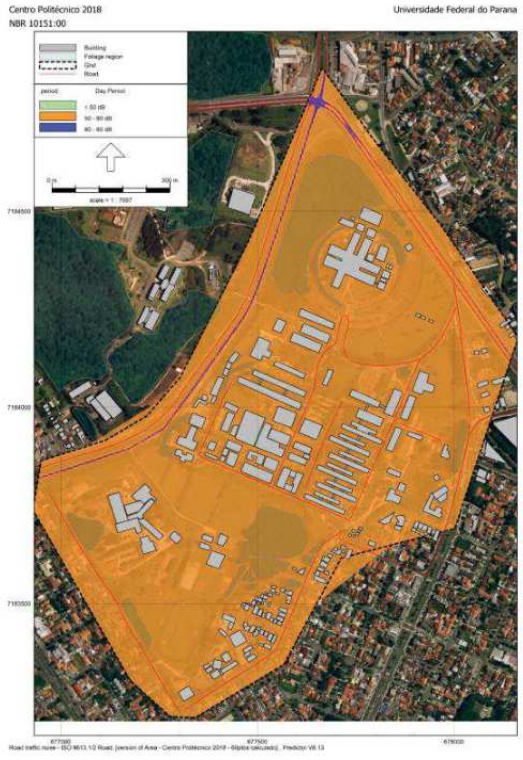


Figura 5 – Mapa de confronto dos valores níveis de pressão sonora permitidos no campus: (A) Lei Municipal 10.625 (PMC, 2002), (B) NBR 10151 (ABNT, 2019)

A maior região em termos de área, com LAeq entre 45 dB e 50 dB, está situada na área mais baixa do campus, onde se localizam a pista de atletismo da universidade e o campo de futebol, conforme mostra a Figura 1. Além do mais, essas são áreas com pouca movimentação de pessoas, essas áreas são identificadas pela cor verde clara, conforme a Figura 5(a).

A Figura 5(b) evidencia que segundo a NBR 10151 (ABNT, 2019) todo o campus estaria em uma situação com os níveis de pressão sonora acima dos limites legais de 50 dB. Enquanto, conforme a Figura 5(a), dos 20 pontos analisados, apenas 10 estão dentro do limite máximo estabelecido pela Lei Municipal 10.625 (PMC, 2002), isto é, 60 dB.

5. CONCLUSÕES

O estudo permitiu analisar os níveis de ruído externo em toda a área do campus Centro Politécnico. Com 20 pontos medidos para cada ano. A calibração do modelo simulado foi efetivada, garantindo que os mapas gerados sejam válidos.

Verificou-se que campus se encontra sob uma paisagem acústica considerada como não aquedada, isto é, os valores medidos e simulados são maiores que os níveis permitidos para estabelecimentos educacionais. Verificou-se que não houve diferença estatisticamente significante entre as medições dos anos de 2016 e 2018. Isso relevou que a poluição sonora nessa região é um problema persistente na região. Os elevados níveis de pressão sonora influenciam no desempenho dos indivíduos que frequentam aquelas regiões. Portanto, podem prejudicar o aprendizado dos alunos, bem como as demais atividades que ocorrem no local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAM, Pervez et al. Noise Monitoring, Mapping, and Modelling Studies–A Review. **Journal of Ecological Engineering,** v. 21, n. 4, 2020.

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.

CHANDRAPPA, R; DAS, D. B. Noise Pollution. **In: Environmental Health-Theory and Practice**. Springer, Cham, 2021. p. 141-148.

CLARK, C.; PAUNOVIC, K. WHO Environmental noise guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and quality of life, wellbeing, and mental health. **International journal of environmental research and public health**, v. 15, n. 11, p. 2400, 2018.

DO NASCIMENTO, E. O. et al. Noise prediction based on acoustic maps and vehicle fleet composition. **Applied Acoustics**, v. 174, p. 107803, 2021.

DE OLIVEIRA SANTOS, Geanesson Alberto et al. Evaluation of tube-shaped bus shelters as a noise mitigation solution for passengers. Applied Acoustics, v. 164, p. 107245, 2020.

EUROPEAN COMISSION WORKING GROUP ASSESSMENT OF EXPOSURE TONOISE (WG-AEN**). Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure**. Version 2, p. 1-129, 2006.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 9613:2** Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation. Suiça, 2017.

MASSEY JR, Frank J. The Kolmogorov-Smirnov test for goodness of fit. Journal of the American statistical Association, v. 46, n. 253, p. 68-78, 1951.

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.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA (PMC)–Secretaria Municipal do Meio Ambiente–SMMA. **Lei No. 10625**, de 19 de dezembro de 2002: Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem-estar e do sossego público e dá outras providências.

RUDNER, M. et al. Listening comprehension and listening effort in the primary school classroom. **Frontiers in psychology**, v. 9, p. 1193, 2018.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.