

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA - CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MAPEAMENTO SONORO: AVALIAÇÃO DE RUÍDO URBANO NO ENTORNO DO
PRÉDIO DE ARQUITETURA DA UFRGS

por

Gabriel Jaques Menoni

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, maio de 2021.

Menoni, Gabriel Jaques

Mapeamento Sonoro: Avaliação de ruído urbano no
entorno do prédio de Arquitetura da UFRGS / Gabriel
Jaques Menoni. -- 2021.

30 f.

Orientadora: Leticia Fleck Fadel Miguel.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2021.

1. poluição sonora. 2. mapa de ruído. 3. simulação
computacional. 4. RLS-90. 5. CadnaA. I. Miguel,
Leticia Fleck Fadel, orient. II. Título.

Gabriel Jaques Menoni

MAPEAMENTO SONORO: AVALIAÇÃO DE RUÍDO URBANO NO ENTORNO DO
PRÉDIO DE ARQUITETURA DA UFRGS

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Mário Roland Sobczyk Sobrinho
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos Sólidos**

Orientador: Prof^ª. Dr.^a Letícia Fleck Fadel Miguel

Comissão de Avaliação:

Prof^a. Letícia Fleck Fadel Miguel

Prof. Edson Aseka

Prof. Herbert Martins Gomes

Porto Alegre, maio de 2021.

DEDICATÓRIA

Trabalho dedicado aos meus pais, que estiveram comigo desde o princípio.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e à minha irmã, o meu muito obrigado. Lançaram mão de todos os recursos disponíveis para que essa conquista fosse, enfim, alcançada. Vocês foram um dos meus pilares nessa longa jornada.

Aos professores e professoras que tive o prazer de compartilhar a sala de aula desde o meu início nos estudos, o meu gigantesco agradecimento. Vocês foram de extrema importância ao longo de todos esses anos de vida. Levarei vocês com carinho e muita admiração. Obrigado pela dedicação extrema ao ensino. Tenho convicção de que a educação transforma e engrandece.

À MMC LAB Controle Tecnológico, o meu mais vigoroso agradecimento. Vocês foram minha porta de entrada no mundo profissional e me auxiliaram diariamente na construção desse trabalho. Sem vocês, nada disso seria possível. Agradeço a oportunidade, colaboração e todos os ensinamentos que me transmitiram desde o dia que aí ingressei.

Aos amigos e amigas, vocês foram essenciais nessa jornada. Por cada conversa, ajuda, parceria e cafés compartilhados, o meu eterno agradecimento. Todos vocês foram cruciais para que eu tenha chegado onde cheguei. Saibam que carrego vocês no coração diariamente.

À minha namorada e aos meus sogros, a minha gratidão infindável. Obrigado por proporcionarem momentos maravilhosos e por terem depositado confiança em nosso relacionamento.

À Prefeitura de Porto Alegre pela disponibilização dos arquivos de geoprocessamento da cidade, o meu obrigado. Esses dados foram indispensáveis na realização deste trabalho.

À Superintendência de Infraestrutura, o meu agradecimento pela disponibilização das plantas do prédio da Arquitetura da UFRGS.

*Eu não falhei.
Apenas descobri 10 mil
maneiras que não funcionaram.*

Thomas Edison

MENONI, G. J. Mapeamento Sonoro: Avaliação de Ruído Urbano no Entorno do Prédio de Arquitetura da UFRGS. 2021. 30f. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

RESUMO

A poluição sonora vem sendo cada vez mais estudada e amplamente debatida. Ela é causadora de diversos danos à saúde humana, tais como distúrbios do sono, estresse, arritmias, dores de cabeça, infartos e surdez. O presente trabalho tem como objeto de estudo o prédio da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde foram realizadas medições de níveis de pressão sonora equivalentes (L_{Aeq}) com a utilização de um sonômetro em 5 pontos no entorno e os valores obtidos foram comparados com os resultados de uma simulação acústica realizada no programa CadnaA, através do método de cálculo RLS-90. O erro máximo ocorre no Ponto 3 (Rua Engenheiro Luís Englert), onde a diferença entre medição e simulação é de +3,7 dB(A), estando dentro dos limites propostos pelas diretrizes WG3 (1999) e WG-AEN (2006). Além disso, estima-se por simulação que o máximo nível de pressão sonora equivalente incidente nas fachadas do prédio é de 70 dB(A), oriundo do ruído urbano, principalmente da Avenida Osvaldo Aranha. Ao fim, é apresentado o mapa de ruído do local, com o intuito de viabilizar estratégias no combate à poluição sonora da região.

PALAVRAS-CHAVE: poluição sonora, mapa de ruído, simulação computacional, RLS-90, *CadnaA*.

MENONI, G. J. Noise Mapping: Urban Noise Evaluation of UFRGS Architecture Building Surroundings. 2021. 30p. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

ABSTRACT

Noise pollution has been increasingly studied and widely debated. It causes several damages to human health, such as sleep disorders, stress, arrhythmias, headaches, heart attacks and deafness. The present work has as object of study the building of the Faculty of Architecture of the Federal University of Rio Grande do Sul, where the equivalent noise level (L_{Aeq}) were measured with a sound level meter on 5 points in the surroundings of the building. Then these values were compared with the results of an acoustic simulation performed in the CadnaA program, using the RLS-90 calculation method. The maximum error occurs at Point 3 (Eng. Luís Englert St.), where the difference between measurement and simulation is +3.7 dB (A), being within the limits proposed by WG3 (1999) and WG- AEN (2006) guidelines. Furthermore, it is verified by simulation that the maximum equivalent sound pressure level incident on the building's façades is 70 dB (A), coming from urban noise, mainly from Oswaldo Aranha Avenue. At the end, the noise map of the place is presented, in order to study strategies to combat noise pollution in the region.

KEYWORDS: noise pollution, noise map, computer simulation, RLS-90, *CadnaA*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Compressões e distensões causadas pela onda sonora no meio elástico.	3
Figura 2 – Principais meios de atenuação sonora ao ar livre.	3
Figura 3 – Representação do nível de pressão sonora equivalente.....	6
Figura 4 – Fluxograma para a elaboração do Mapeamento Acústico.....	8
Figura 5 – Localização do prédio da Faculdade de Arquitetura e pontos de medição.	9
Figura 6 – Pontos 1 e 2 – R. Sarmiento Leite (a) e R. Eng. Luís Englert (b).....	10
Figura 7 – Pontos 3 e 4 – Av. Paulo Gama (a) e R. Eng. Luís Englert (b).	11
Figura 8 – Ponto 5 – Av. Oswaldo Aranha.	11
Figura 9 – Modelo 3D da região de estudo.	12
Figura 10 – Variação temporal dos níveis sonoros do Ponto 4.	13
Figura 11 – Variação temporal dos níveis sonoros do Ponto 5.	14
Figura 12 – L_{Aeq} medido e simulado.	14
Figura 13 – L_{Aeq} simulados nas fachadas da Faculdade de Arquitetura.....	15

NOMENCLATURA

Símbolos

dB	Decibel	
dB (A)	Decibel com ponderação em A	
I	Intensidade sonora	W/m ²
I_{ref}	Intensidade de referência	10 ⁻¹² W/m ²
L	Nível sonoro ponderado em A	dB(A)
L_{Aeq}	Nível de pressão sonora equivalente em A	dB(A)
L_l	Nível sonoro	dB
L_p	Nível de pressão sonora	dB
L_w	Potência sonora	W
PBT	Peso bruto total	kg
R	Ruído de teste	dB(A)
RF	Ruído de fundo	dB(A)
RL_{Aeq}	Máximo nível de pressão sonora equivalente em A	dB(A)

Abreviaturas e Acrônimos

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
ISO	International Organization for Standardization
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
RBC	Rede Brasileira de Calibração
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SMAMUS	Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Urbanismo e Sustentabilidade
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS84	World Geodetic System
WHO	World Health Organization

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3. OBJETIVOS	2
3.1 Objetivos gerais.....	2
3.2 Objetivos específicos.....	3
4. FUNDAMENTAÇÃO	3
4.1 Som e o Ruído.....	3
4.2 Propagação Sonora.....	3
4.3 Intensidade e a Potência Sonora.....	4
4.4 Nível de Pressão Sonora.....	4
4.5 Sensação Auditiva.....	5
4.6 Nível de Pressão Sonora Equivalente.....	5
4.7 Outros Descritores.....	6
4.8 Ruído Automotivo.....	6
4.9 Legislações para a Poluição Sonora no Brasil	7
5. METODOLOGIA	8
6. ESTUDO DE CASO	9
6.1 Caracterização do Entorno.....	9
6.2 Ensaio	10
6.3 Dados Geográficos	11
6.4 Modelagem	11
6.5 Simulação Computacional	12
7. RESULTADOS	13
7.1 Dados das Medições.....	13
7.2 Simulação Computacional	14
8. CONCLUSÃO	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16
ANEXO A – CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO	18
APÊNDICE A – MAPEAMENTO DO RUÍDO NO <i>SOFTWARE</i> CADNAA.....	19

1. INTRODUÇÃO

O combate à poluição sonora tem sido cada vez mais posto em prática na sociedade moderna. Através de diversos estudos de planejamento urbano, as soluções acústicas são fundamentais para enfrentar os ruídos urbanos.

O crescimento desenfreado das cidades nas últimas décadas é o maior contribuinte para esse tipo específico de poluição. São incontáveis os ruídos a que as pessoas estão expostas em uma caminhada ao ar livre, por exemplo. Carros, caminhões e ônibus são uns dos grandes contribuintes para o ruído urbano. Além deles, máquinas, geradores, turbinas e várias outras fontes de ruído também colaboram para a poluição sonora.

De acordo com a OMS, a poluição sonora perde apenas para a poluição do ar no *ranking* das poluições (WHO, 1999). Além de ocasionar desconforto ao aparelho auditivo, a poluição sonora é capaz de causar mais danos à saúde. Perda parcial ou total da audição são alguns desses danos. Entretanto, problemas extra-auditivos, cardiovasculares e distúrbios no sistema nervoso também podem ocorrer. Atribui-se ao ruído a perda da visão, sensação generalizada de fadiga e depressão. (CARVALHO, 2010).

Faz-se imprescindível o estudo constante da poluição sonora. Para combatê-la, existem as cartas acústicas ou mapas de ruído. O mapeamento do ruído é feito através de caracterizações de diversas fontes sonoras no entorno de um determinado local. É uma técnica extremamente importante e poderosa, pois ela é capaz de auxiliar no combate a esse tipo de poluição, possibilitando visualizar as áreas mais ruidosas e solucioná-las se possível.

Na Europa, os mapas acústicos são amplamente difundidos e requisitados. Diversas são as diretrizes para a caracterização dos ruídos provenientes do tecido urbano das cidades europeias. Em Portugal, por exemplo, todos os municípios devem incluir em seus Planos Diretores Municipais as cartas acústicas, com a devida identificação e classificação das zonas sensíveis e mistas (KRUMENAUER, 2016). No Brasil, o município de São Paulo é o único que exige a elaboração do mapeamento de ruído, a fim de identificar as áreas prioritárias para a redução de ruídos e preservação das zonas com os níveis sonoros apropriados, através da Lei nº 16.499, de 20 de julho de 2016.

Caracterizar os ruídos de uma cidade por meio de medições com os equipamentos adequados demanda muito tempo, além de serem extremamente complexos e exigirem uma modelagem detalhada (BISTAFA, 2011). Alternativamente, os mapas de ruído ambiental podem ser simulados computacionalmente, através de uma identificação das fontes geradoras de ruído e também dos dados geográficos da região, lançando mão de técnicas como o Sistema de Informação Geográfica (SIG). Quando pronto, é possível identificar se os limites estabelecidos foram extrapolados, sendo possível solucionar o problema e reduzir os níveis extrapolados através de diversas soluções.

O prédio da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul é semestralmente ocupado por alunos dos mais diversos cursos. Os alunos que ali frequentam queixam-se dos ruídos provenientes das avenidas movimentadas do entorno. Esse fenômeno é mais aparente quando ocorrem os períodos de grande trânsito de veículos, conhecidos como “hora do *rush*”.

Neste contexto, o presente trabalho realiza o mapeamento de ruído da quadra do prédio da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, que pode ser apresentado aos órgãos municipais competentes com o estudo de soluções que levem a uma diminuição do ruído do local.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em sua dissertação de mestrado, Krumenauer (2016), mapeou o ruído proveniente do tráfego rodoviário em todo o Campus da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS. Através de medições realizadas em 55 pontos no campus e com o a utilização de equipamentos devidamente calibrados, o autor simula diferentes modelos a fim de comparar resultados do *software* CadnaA com os medidos em campo. O autor conclui que para os 55 pontos do modelo 12 analisado, 43 apresentaram diferenças positivas e 12 apresentaram diferenças negativas. A maior diferença positiva apresentada pelo autor é de 8,62 dB(A) na simulação.

Brasileiro (2017), também em sua dissertação de mestrado e com o uso do *software* SoundPLAN, mapeou o ruído provocado pelo tráfego do bairro Castelo Branco, na cidade de João Pessoa/PB. Em sua pesquisa, a autora propõe avaliar o comportamento sonoro do ruído de tráfego do bairro em questão e também propõe um cenário hipotético para o ano de 2026, baseado nas leis vigentes da cidade. A autora conclui que os modelos se assemelham com os dados coletados em campo e que os picos de ruído provenientes das acelerações e desacelerações dos veículos atingem uma alteração significativa de até 28 dB(A) nos níveis de pressão sonora das rodovias do bairro.

No artigo de Peralvo et al (2016), os autores realizam um estudo do ruído de tráfego da rua Mariscal Lamar, em Cuenca, no Equador. O estudo utiliza o método de predição de ruído NMPB-Routes-96 e as diferentes configurações são simuladas no *software* CadnaA. Os autores concluem que os dados que mais se assemelham com os resultados obtidos em campo é o proveniente do método “Dados Exatos de Contagem”, onde os veículos que trafegam na região são contabilizados no *software* manualmente. Além disso, o método utilizado não insere reflexão nas fachadas das edificações da região e os resultados obtidos apresentam uma diferença de +0,8 dB(A) entre os resultados simulados e os obtidos *in situ*.

Bastían-Monarca et al. (2016) definem em seu estudo uma metodologia para a confecção de um mapeamento acústico de baixo custo da cidade de Valdivia, no Chile. Os autores utilizam o modelo de tráfego RLS-90 para a realização do mapa de ruído do local e utilizam medições em 80 pontos para efetuar a comparação entre os valores simulados e obtidos em campo. O estudo conclui que os pontos medidos apresentam diferenças de nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}) menores que 1 dB(A).

No estudo de Murillo-Gómez et al (2015), é feita a avaliação do método RLS-90 como estimativa dos níveis de ruído gerados pelo tráfego em duas diferentes áreas na cidade de Medellín, na Colômbia. Os autores utilizam o *software* SoundPLAN para a concepção da carta acústica e o estudo valida o método de avaliação do tráfego, uma vez que os resultados do nível de pressão sonora equivalente obtidos apresentam divergência de ± 3 dB(A) nas comparações entre simulação via *software* e medição em campo.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivos gerais

O presente trabalho tem por finalidade medir, simular e possivelmente apresentar aos órgãos competentes, o mapa de ruído na região do prédio da Arquitetura da UFRGS, que é oriundo, predominantemente, do tráfego rodoviário da Avenida Oswaldo Aranha e da Rua Engenheiro Luís Englert.

3.2 Objetivos específicos

Com a utilização do *software* de simulação acústica CadnaA, o trabalho tem por objetivo mapear acusticamente o entorno do prédio da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, além de apresentar os níveis de ruído incidentes nas fachadas onde se encontram as salas de aula.

4. FUNDAMENTAÇÃO

4.1 Som e o Ruído

O som é um fenômeno vibratório resultante de variações de pressão do meio elástico em que se encontram, como água ou ar. A vibração sonora se transmite ao meio e propaga-se a uma velocidade de 344 m/s a 20 °C no ar. Ao serem transmitidas, as ondas sonoras produzem sucessivas compressões e distensões, com velocidade uniforme em todas as direções (DA COSTA, 2003), conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Compressões e distensões causadas pela onda sonora no meio elástico.



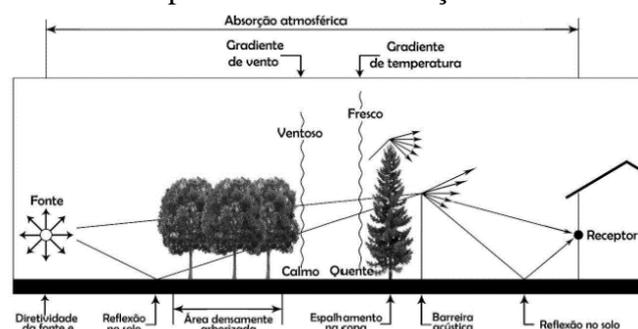
Fonte: Adaptado de Manual ProAcústica (2019).

Já o ruído é o som indesejado. Ele é completamente subjetivo, pois ora pode ser agradável, ora não. Portanto, é o som que interfere de maneira negativa na compreensão da informação, gerando incômodo para o ouvinte (BISTAFA, 2011) e por não apresentarem distinção física, o ruído é definido apenas como o som desagradável.

4.2 Propagação Sonora

O ruído chega ao ouvinte por diversos caminhos. Destaca-se a propagação em locais abertos, que, independentemente da potência e da fonte sonora, tem sua energia atenuada enquanto percorre sua trajetória até o receptor. Essa atenuação, representada na Figura 2, é o resultado de diversos mecanismos que dificultam o seu movimento, tais como absorção sonora, barreiras, obstáculos e efeitos das condições atmosféricas (HANSEN, 2003).

Figura 2 – Principais meios de atenuação sonora ao ar livre.



Fonte: Bistafa (2011).

O nível de pressão sonora se reduz conforme o aumento da distância entre a fonte e o receptor. A atenuação já inicia com a absorção do som em contato com o ar atmosférico logo após ser emitido pela fonte. Reflexões sonoras no solo, barreiras naturais e artificiais influenciam diretamente na propagação sonora, fazendo com que o som se atenuate até que finalmente chegue ao ouvinte.

4.3 Intensidade e a Potência Sonora

A Equação 1 apresenta a intensidade sonora definida como a taxa do fluxo de energia perpendicular à direção de propagação da onda (GERGES, 2000).

$$I = \frac{W}{S} \quad (1)$$

onde W (Watts) é a potência e S (m^2) é a área perpendicular à direção de propagação.

A Equação 1 pode ser reescrita para obter o resultado logarítmico, uma vez que a escala linear não é adequada para faixa de valores abrangentes e o ouvido humano responde a aproximadamente uma função logarítmica (PATRÍCIO, 2010). A Equação 2 apresenta o nível sonoro, expresso em decibels (dB) que correspondem a um décimo de Bel.

$$L_I = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_{ref}} \right) \text{ dB} \quad (2)$$

em que I é a intensidade sonora (W/m^2) e I_{ref} é o valor da intensidade de referência, equivalente a $10^{-12} W/m^2$ em uma frequência de 1000 Hz.

Sendo assim, um decibel corresponde a $I/I_{ref} = 10^{0,1}$, ou seja, pode-se dizer que quando existe uma variação de 1 dB, a intensidade varia 1,26 vezes. Da mesma forma, uma variação de 3 dB corresponde a $10^{0,3} \approx 2$, significando que a duplicação da intensidade acústica representa um acréscimo de apenas 3 dB relativo ao valor de referência.

A Equação 3 apresenta a potência sonora (L_w) ou energia sonora emitida por unidade de tempo, em Watts (PATRÍCIO, 2010).

$$L_w = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{W_{ref}} \right) \text{ dB} \quad (3)$$

em que W é a potência sonora da fonte, em Watts, e W_{ref} é o valor da potência sonora de referência, equivalente a 10^{-12} Watts.

4.4 Nível de Pressão Sonora

O nível de pressão sonora pode ser considerado como o descritor acústico mais utilizado, uma vez que é o estímulo físico que melhor se relaciona com a sensação de som (BISTAFA, 2011). Bistafa (2011) explica que o nível de pressão sonora L_p é a medida física para realizar a caracterização da sensação subjetiva da intensidade do som.

O nível de pressão sonora L_p é comumente apresentado por bandas de frequências, com larguras de uma oitava ou de um terço de oitava (PATRÍCIO, 2010) e é expresso em dB segundo a Equação 4.

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} \text{ dB} \quad (4)$$

onde P é a pressão e P_0 é a pressão de referência, correspondente ao limiar da audição em 1000 Hz e tem valor de $2,0 \times 10^{-5}$ N/m².

4.5 Sensação Auditiva

O ouvido humano se comporta de maneira diferentes para frequências diferentes. A sensibilidade auditiva do ouvinte é menor para frequências baixas, na ordem de 100 Hz a 800 Hz e para frequências muito altas, acima de 10.000 Hz (PATRÍCIO, 2010). Um exemplo: um tom de 100 Hz deve ter um nível de 5 dB maior para dar gerar a mesma sensibilidade que um tom de 1.000 Hz a 80 dB (GERGES, 2000).

Por essa razão, utiliza-se a curva de correção na escala (A), que aplica correções principalmente em baixas frequências, faixa onde o ouvido interpreta o ruído em menor intensidade quando comparada às frequências médias (MURGEL, 2007). O valor da pressão sonora na escala (A) traduz em um valor único a pressão sonora interpretada pelo ouvido humano. A Equação 5 apresenta o nível sonoro em dB(A) (PATRÍCIO, 2010).

$$L_p = 10 \log_{10} \sum_i 10^{0,1(L_{pi}+C_i)} \text{ dB(A)} \quad (5)$$

onde L_{pi} representa o nível de pressão sonora em cada uma das bandas de frequências i avaliadas e C_i as correções correspondentes à ponderação (A). Os valores de C_i apresentam-se na Tabela 1, para as bandas de frequência de 10 Hz a 20.000 Hz.

Tabela 1 – Correções correspondentes à percepção auditiva na escala (A).

Bandas de Frequência (Hz)	Correção da Curva A (C_i) dB(A)	Bandas de Frequência (Hz)	Correção da Curva A (C_i) dB(A)	Bandas de Frequência (Hz)	Correção da Curva A (C_i) dB(A)
10	-70,4	160	-13,4	2.500	1,3
12,5	-63,4	200	-10,9	3.150	1,2
16	-56,7	250	-8,6	4.000	1,0
20	-50,5	315	-6,6	5.000	0,5
25	-44,7	400	-4,8	6.300	-0,1
31,5	-39,4	500	-3,2	8.000	-1,1
40	-34,6	630	-1,9	10.000	-2,5
50	-30,2	800	-0,8	12.500	-4,3
63	-26,2	1.000	0,0	16.000	-6,6
80	-22,5	1.250	0,6	20.000	-9,3
100	-19,1	1.600	1,0	-	-
125	-16,1	2.000	1,2	-	-

Fonte: Adaptado de Gerges (2010).

4.6 Nível de Pressão Sonora Equivalente

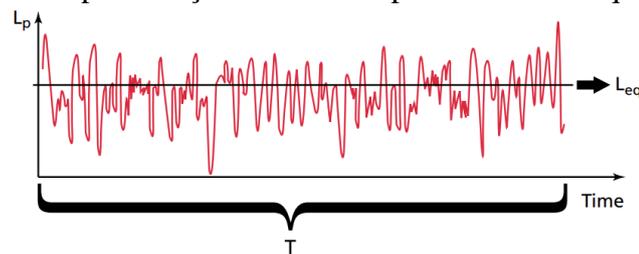
Embora o nível de pressão sonora L_p seja o descritor mais usado, ele não leva em consideração o tempo de exposição ao ruído. Como exemplo, um pico sonoro de 90 dB(A) causa menos danos que um nível sonoro constante de 80 dB(A) por uma hora (MURGEL, 2007). Para tal, utiliza-se o nível de pressão sonora equivalente L_{Aeq} , constituída pela integração do nível sonoro medido a cada fração de segundo.

O L_{Aeq} é a medida da energia média de um nível sonoro variável dentro de um determinado intervalo de tempo (Brüel & Kjaer, 2000). A Equação 6 apresenta o nível de pressão sonora equivalente em dB(A) (PATRÍCIO, 2010).

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \sum_i 10^{0,1L_i} \text{ dB(A)} \quad (6)$$

onde L_i é o nível de pressão sonora em dB(A) lido a cada 5 s, durante o tempo total de medição e T é a duração total da medição. A Figura 3 apresenta uma representação do nível de pressão sonora equivalente.

Figura 3 – Representação do nível de pressão sonora equivalente.



Fonte: Adaptado de Brüel & Kjaer (2000).

Percebe-se que o L_p apresenta diversos picos, porém o parâmetro acústico L_{Aeq} é o mais representativo, pois pode ser considerado como o ruído médio dentro do intervalo da avaliação.

4.7 Outros Descritores

Para Patrício (2010), os níveis estatísticos L_{A10} , L_{A90} , $L_{Amáx}$ podem ser registrados para um mesmo sinal por sonômetros mais evoluídos, sendo que:

- L_{A10} : Nível de pressão sonora excedido em 10% do tempo de medição, podendo ser considerado como os ruídos intrusivos ou de pico durante a medição;
- L_{A90} : Nível de pressão sonora excedido em 90% do tempo de medição, sendo considerado como o ruído de fundo do local;
- $L_{Amáx}$: Nível de pressão sonora máximo ocorrido durante todo o período da medição.

4.8 Ruído Automotivo

O ruído de tráfego, proveniente da irradiação de ondas cilíndricas, é considerado como o maior culpado da poluição sonora, em consequência do contínuo crescimento dos meios de transporte rodoviários. Para uma determinada cidade, é possível estabelecer níveis sonoros praticamente invariáveis em certos horários do dia, quando em fluxo regular (PATRÍCIO, 2010).

Patrício (2010) divide o ruído produzido pelos automóveis em três tipos de fontes:

- Fontes mecânicas: correspondentes às vibrações do motor e dos sistemas mecânicos a ele acoplados, sendo transmitidas a toda estrutura do veículo, radiando energia sonora.

- Fontes aerodinâmicas: referentes à admissão e escape dos gases. A energia sonora radiada pelas fontes aerodinâmicas variam de forma significativa conforme a configuração externa ao automóvel e com a velocidade de circulação na via.

- Contato pneu/asfalto: ruído proveniente entre o choque do pneu e as irregularidades do piso. Nos pavimentos onde o piso é feito de paralelepípedo, esse efeito é elevado. A frequência resultante desse contato é elevada, na ordem de 500 Hz a 1.000 Hz.

Além disso, os veículos geram maior ruído quando em baixas velocidades, uma vez que os ruídos das fontes mecânicas são predominantes (MURGEL, 2007). Segundo Murgel (2007), os fabricantes de veículos automotores vem projetando motores e sistemas de escapamento cada vez mais eficientes e menos ruidosos. Sendo assim, o ruído do contato entre pneu e asfalto é o mais evidente e é predominante para qualquer velocidade constante em veículos leves e a partir de 50 km/h para veículos pesados.

4.9 Legislações para a Poluição Sonora no Brasil

O Brasil conta com duas grandes normas que abordam o assunto de ruído. São elas: NBR 10.151:2019 Versão Corrigida:2020: Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral e a NBR 10.152:2017 Versão Corrigida:2020 - Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Ambas as normas tem como descritor avaliativo o L_{Aeq} .

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) também atua como instrumento de combate à poluição sonora. As resoluções do CONAMA têm como base a NBR 10.151 e NBR 10.152, além de considerarem as normas expedidas pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) (KRUMENAUER, 2017).

Nas Resoluções 1 e 2 do CONAMA são estabelecidos limites máximos de ruído com veículos em aceleração e quando em inatividade, para todos os veículos automotores, nacionais e importados, apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Limites propostos pelo CONAMA para veículos nacionais e importados.

Categoria	Nível de ruído dB(A)		
	Descrição	Ciclo Otto	Ciclo Diesel
		Injeção Direta	Injeção Indireta
a.		74	74
b. PBT até 2000 kg		76	76
b. PBT entre 2000 e 3500 kg		77	77
c. Potência máxima abaixo de 150 kW (204 cv)		78	78
c. Potência máxima igual ou superior a 150 kW (204 cv)		80	80
d. Potência máxima abaixo de 75 kW (102 cv)		77	77
d. Potência máxima entre 75 e 150 kW		78	78
d. Potência máxima igual ou superior a 150 kW		80	80

Fonte: Adaptado das Resoluções CONAMA N° 001/1993 e N° 002/1993.

Para a Tabela 2, PBT é definido como peso bruto total e as categorias ‘a’, ‘b’, ‘c’ e ‘d’ são classificadas conforme a seguir.

- Automóvel e veículo de uso misto derivado de automóvel;
- Veículo de passageiros de até nove lugares, veículo de carga, camioneta de uso misto não derivada de automóvel e utilitário;
- Veículo de passageiros com mais de nove lugares e peso bruto total acima de 3500 kg.
- Veículo de carga com peso bruto total acima de 3500 kg.

Na esfera municipal, a cidade de Porto Alegre tem como base legal o Decreto Municipal nº 8.185, de 7 de março de 1983. Segundo esse decreto, som incômodo é toda e qualquer emissão de som medido dentro dos limites reais da propriedade supostamente incomodada que ultrapasse em mais de 5 dB(A) o valor de ruído de fundo, seguindo analiticamente a Equação 7.

$$R \oplus RF \geq RF + 5 \text{ dB(A)} \quad (7)$$

onde R é o ruído de teste, em dB(A), RF é o ruído de fundo do local, em dB(A), \oplus é a soma logarítmica e + é a soma aritmética.

Além disso, a NBR 15.575-4 determina os níveis de desempenho das fachadas em que existam dormitórios nas edificações habitacionais. Os valores mínimos de referência são vinculados à Classe de Ruído em que a edificação está exposta e são obtidos através dos níveis de pressão sonora equivalentes (L_{Aeq}) incidentes a 2 m das fachadas, conforme apresenta a Tabela 3.

Tabela 3 – Classe de Ruído das edificações.

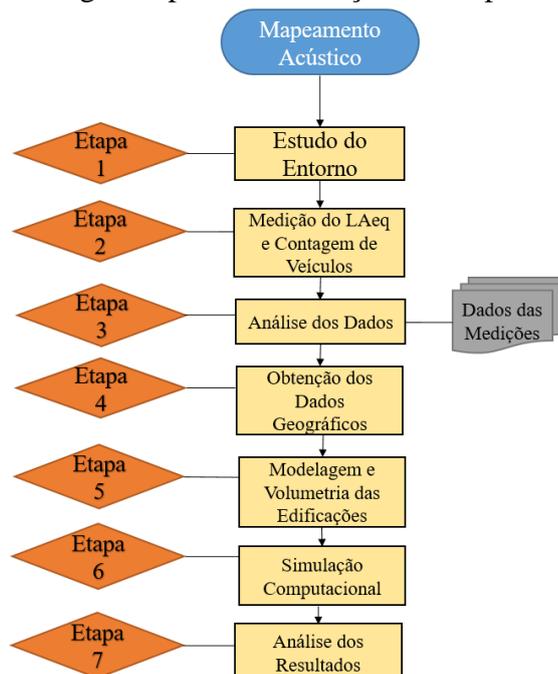
Classe de Ruído	Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{Aeq})
I	≤ 60 dB(A)
II	61 a 65 dB(A)
III	66 a 70 dB(A)

Fonte: Manual ProAcústica (2017).

5. METODOLOGIA

O trabalho se divide em 7 principais etapas, conforme apresentadas na Figura 4.

Figura 4 – Fluxograma para a elaboração do Mapeamento Acústico.



As etapas são caracterizadas da seguinte maneira:

- Etapa 1 – Estudo do Entorno: caracterização das fontes sonoras que compõem a região e definição dos pontos de medição;
- Etapa 2 – Medição do L_{Aeq} e Contagem de Veículos: medição das fontes sonoras com o auxílio de um sonômetro e contagem manual de veículos nas vias do entorno;
- Etapa 3 – Análise dos Dados: tratamento dos dados obtidos na medição da Etapa 2;
- Etapa 4 – Obtenção dos Dados Geográficos: aquisição das curvas de nível do município para a posterior inserção no *software*;
- Etapa 5 – Modelagem e Volumetria das Edificações: modelagem dos edifícios do entorno e posterior adequação da volumetria no ambiente do *software* CadnaA;
- Etapa 6 – Simulação Computacional: etapa de simulação no *software* CadnaA e posterior apresentação dos resultados obtidos;
- Etapa 7 – Análise dos resultados: etapa onde os resultados computacionais e medidos em campo são comparados.

6. ESTUDO DE CASO

O trabalho tem como escopo de estudo o entorno da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Nessa seção, todas as etapas para a realização do mapa de ruído serão analisadas.

Salienta-se que o ensaio foi realizado durante a pandemia da COVID-19 em meio a decretos municipais que restringiram o fluxo habitual de pessoas e veículos nas ruas. Portanto, os resultados aqui apresentados podem apresentar uma variação quando comparados aos períodos sem tais restrições.

6.1 Caracterização do Entorno

O prédio da Faculdade de Arquitetura da UFRGS está localizado no Centro de Porto Alegre, onde as vias de maior movimento são a Rua Sarmento Leite, Avenida Oswaldo Aranha e Rua Engenheiro Luís Englert.

A Figura 5 apresenta os locais de medição e o objeto de estudo destacado em vermelho.

Figura 5 – Localização do prédio da Faculdade de Arquitetura e pontos de medição.



Foram feitas medições em 5 pontos (P1, P2, P3, P4 e P5). Os 5 pontos de medição têm por objetivo caracterizar os locais mais críticos em função da circulação de automóveis. Evitam-se

medições próximas a semáforos para garantir uma medição compatível com a velocidade dos veículos na via. No local não havia nenhuma fonte adicional de ruído, a não ser pelo próprio ruído do tráfego.

6.2 Ensaio

A medição é realizada de acordo com os procedimentos da ISO 9613-2 com a utilização de um medidor de nível de pressão sonora modelo 2270, Classe 1, calibrador acústico modelo 4231, Classe 1 e microfone, modelo 4189, todos da marca Brüel & Kjaer. Os equipamentos são devidamente calibrados por um laboratório credenciado pela Rede Brasileira de Calibração (RBC).

O calibrador emite um nível de pressão sonora de 93,93 dB na frequência de 1 kHz e o sonômetro é responsável por captar a pressão sonora e informar ao usuário no momento da calibração. Calibra-se o equipamento no momento de início e ao fim do ensaio, com o objetivo de manter a qualidade de aferição da instrumentação. Caso a diferença na calibração seja maior do que $\pm 0,5$ dB, a calibração e o ensaio devem ser refeitos e em hipótese de persistência do problema, o instrumento deve ser enviado ao laboratório responsável a fim de calibrá-lo novamente.

As medições foram feitas no dia 07/04/2021 no intervalo compreendido entre 14h e 17h. O medidor foi posicionado a 1,3 m do solo e a pelo menos 2,0 m de qualquer superfície refletora, como muro e paredes. Os valores de calibração obtidos foram de 93,92 dB(A) ao início da medição e 93,94 dB(A) ao final.

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam as localizações dos pontos de medição, com a identificação das respectivas vias.

Figura 6 – Pontos 1 e 2 – R. Sarmiento Leite (a) e R. Eng. Luís Englert (b).



As vias são caracterizadas como coletoras, uma vez que a velocidade de trânsito dos veículos é de 40 km/h. O sonômetro foi posicionado a 2,8 m e a 3,5 m da via, respectivamente. O tempo de medição foi de 15 minutos em ambos os pontos.

Figura 7 – Pontos 3 e 4 – Av. Paulo Gama (a) e R. Eng. Luís Englert (b).



As vias são caracterizadas como coletoras, uma vez que a velocidade de trânsito dos veículos é de 40 km/h. O sonômetro foi posicionado a 3,0 m e a 4,0 m da via, respectivamente. O tempo de medição foi de 15 minutos para o ponto 3 e de 10 minutos para o ponto 4.

Figura 8 – Ponto 5 – Av. Oswaldo Aranha.



A via é caracterizada como arterial, uma vez que a velocidade de trânsito dos veículos é acima de 50 km/h. O sonômetro foi posicionado a 4,0 m da via. O tempo de medição foi de 10 minutos.

6.3 Dados Geográficos

As curvas de nível da região, bem como a distribuição das edificações foram obtidos juntamente à Prefeitura de Porto Alegre, uma vez que esses dados são levantados pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Urbanismo e Sustentabilidade (SMAMUS).

As informações topográficas e de volumetria dos edifícios são de extrema relevância, pois influenciam diretamente nos níveis de propagação sonora nas fachadas dos edifícios (ProAcústica, 2017).

Após a construção da base CAD no *software* AutoCAD 2020, apresentado no Anexo A, os dados são importados para o CadnaA onde o modelo 3D é feito.

6.4 Modelagem

A modelagem é realizada no sistema de coordenadas UTM (*Universal Transverse Mercator*) para o hemisfério sul, referenciados em WGS84 (*World Geodetic System*) no fuso 22. Tais informações são essenciais para a boa prática da simulação acústica, pois todas as

referências devem ser feitas no mesmo sistema de coordenadas a fim de evitar a aquisição de dados incoerentes com a realidade.

As edificações, ruas e avenidas são importadas da plataforma OpenStreetMap. Quando ausentes, a altura dos prédios é estimada com o auxílio do *software* Google Earth.

Todos os objetos e elementos são preparados em 2D antes da importação, com exceção das informações topográficas, que possuem valores no eixo Z ao longo das curvas. A Figura 9 é o modelo 3D construído dentro do ambiente do CadnaA, após a inserção de todos os dados essenciais para a simulação computacional.

Figura 9 – Modelo 3D da região de estudo.



6.5 Simulação Computacional

O método de cálculo utilizado no CadnaA foi o método RLS-90 para prever a propagação sonora da região. O método leva em consideração alguns fatores importantes como a velocidade de trânsito dos veículos, a quantidade de automóveis por hora na via (obtida através da contagem dentro do intervalo de medição e estimada para a quantidade por hora) e o tipo de asfalto utilizado. Outros dados devem ser levados em conta, como o período de avaliação, dados meteorológicos, coeficiente de absorção do asfalto e coeficiente de absorção das edificações.

O período de referência foi determinado com início às 07:00h e fim às 22:00h. O coeficiente de absorção sonora das fachadas dos edifícios foi definido em $G = 0,21$ e para a absorção sonora do solo foi definido o valor de $G = 0,30$. A malha de cálculo, de acordo com a APA (2011), deve possuir um valor de no máximo 10 m x 10 m para áreas específicas de interesse. Para o presente trabalho, a malha adotada foi de 5 m x 5 m.

A validação do modelo consiste na comparação entre as medições realizadas em campo e os resultados nos pontos receptores na simulação computacional. De acordo com WG3 (1999) e a WG-AEN (2006), as diferenças esperadas para a aprovação do modelo devem ser de ± 4 dB(A) e ± 5 dB(A), respectivamente.

Caso os valores medidos e simulados estejam em desacordo, é possível realizar os ajustes necessários no próprio programa. Logo, as medições em campo são fundamentais e servem de auxílio para a elaboração do mapa de ruído.

A avaliação das fachadas é feita no mesmo *software* e os dados de entrada anteriormente inseridos se fazem necessários para realizar tal estudo.

7. RESULTADOS

7.1 Dados das Medições

A Tabela 4 apresenta os dados de contagem estimados dos veículos, distribuídos em leves e pesados por hora, juntamente com os respectivos valores de L_{Aeq} , $L_{máx}$, L_{90} e L_{10} medidos pelo sonômetro e extraídos pelo *software* BZ-5503 – *Measurement Partner Suite*.

Tabela 4 – Dados das medições.

Ponto	Via	Leves	Pesados	L_{Aeq} dB(A)	$L_{máx}$ dB(A)	L_{90} dB(A)	L_{10} dB(A)
1	R. Sarmiento Leite	796	44	66,4	88,0	57,0	70,0
2	R. Eng. Luiz Englert	2256	184	69,5	86,4	64,0	72,1
3	Av. Paulo Gama	1664	128	69,6	87,3	62,8	72,1
4	R. Eng. Luiz Englert	-	-	70,0	81,5	60,9	72,6
5	Av. Oswaldo Aranha	1884	270	69,0	86,8	63,4	71,2

Observa-se que a via mais ruidosa é a Engenheiro Luiz Englert, por apresentar maior trânsito de veículos durante o período de medição e pela configuração das vias do entorno contribuírem para o grande fluxo de carros, motos e caminhões.

A Figura 10 apresenta o histórico da variação temporal dos níveis sonoros do Ponto 4, que teve o maior nível de L_{Aeq} dentre os 5 medidos.

Figura 10 – Variação temporal dos níveis sonoros do Ponto 4.

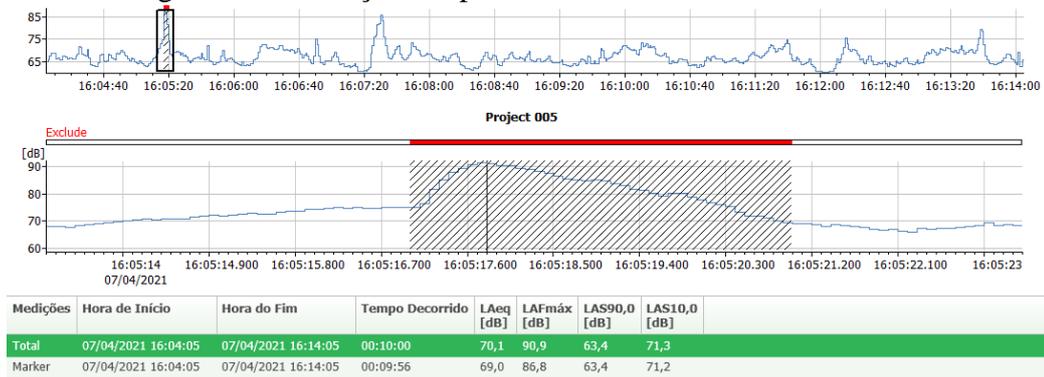


Fonte: *Software* BZ5503 – *Measurement Partner Suite*.

Durante o período de medição, é possível perceber as flutuações dos níveis sonoros, pois o movimento de veículos não é constante na via. Apesar de existir alguns registros de níveis de pressão sonora abaixo de 60,0 dB(A) e outros acima de 80,0 dB(A), o L_{Aeq} resultante é de 70,0 dB(A), representando o ruído médio específico dessa via.

A Figura 11 apresenta a variação temporal dos níveis sonoros da Avenida Oswaldo Aranha (Ponto 5).

Figura 11 – Variação temporal dos níveis sonoros do Ponto 5.

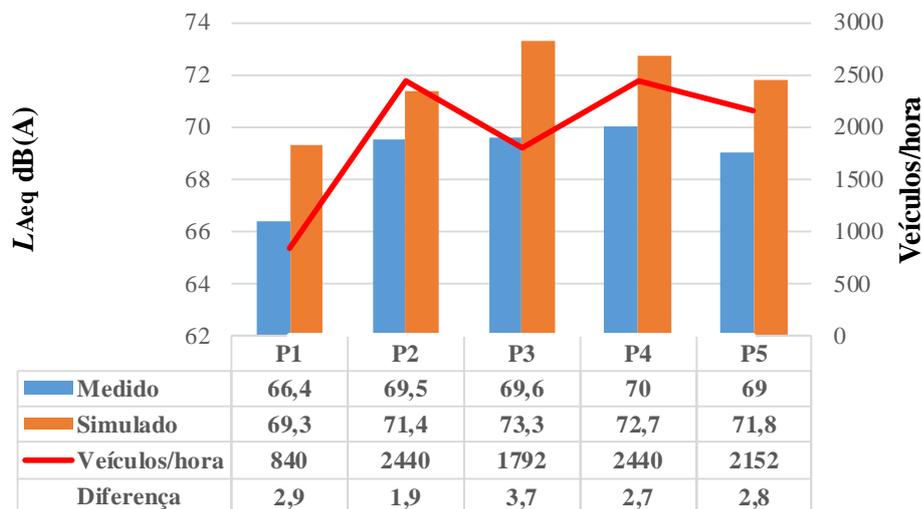


Fonte: Software BZ5503 – Measurement Partner Suite.

A Avenida Oswaldo Aranha, apesar de ser uma via arterial da cidade, apresentou um fluxo de veículos menor que a Rua Engenheiro Luiz Englert e, portanto, não foi a via com maior trânsito de automóveis na região durante o dia da medição. Além disso, durante aproximadamente 5 segundos no 1º minuto de medição do Ponto 5, um veículo pesado efetuou uma freada brusca. Esse pico intrusivo foi removido da medição, a fim de ter uma melhor representatividade do nível sonoro da avenida. Caso o ruído do freio fosse contabilizado, o L_{Aeq} resultante seria de 70,1 dB(A), representando um acréscimo de 1,1 dB(A) ao L_{Aeq} considerado.

7.2 Simulação Computacional

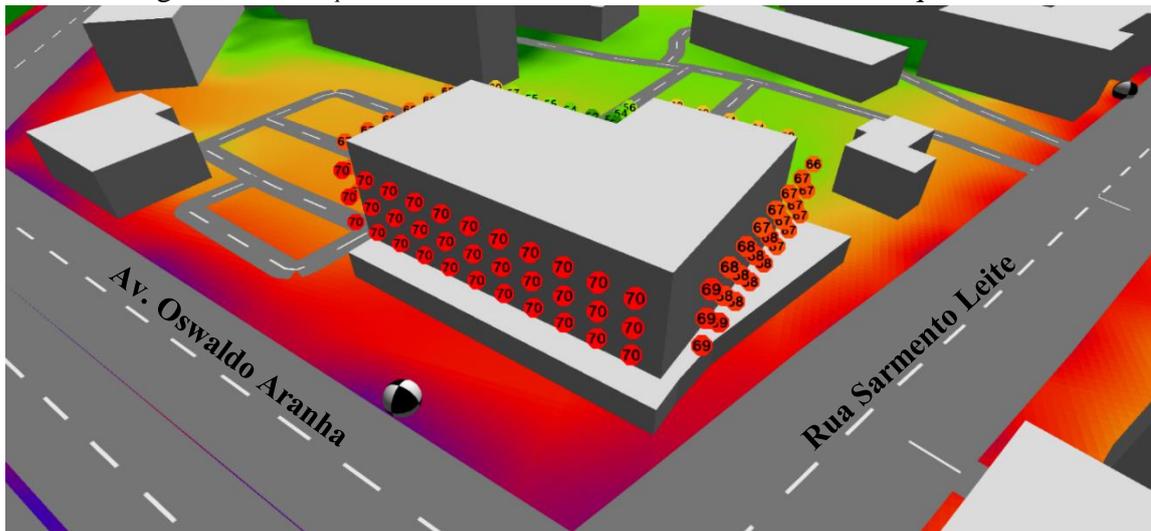
Para a simulação computacional, os valores de L_{Aeq} , juntamente com as diferenças entre os valores obtidos em campo e os simulados, são apresentados na Figura 12.

Figura 12 – L_{Aeq} medido e simulado.

Observa-se que o L_{Aeq} de cada via está atrelado ao seu fluxo de veículos. Destaca-se que todos os valores estão dentro das intolerâncias esperadas e estabelecidas nas referências WG3 (1999) e WG-AEN (2006), validando o modelo e a simulação. O Ponto 3 foi o que teve o maior desvio, apresentando um valor de 69,6 dB(A) medido e 73,3 dB(A) simulado, o que implica uma diferença de +3,7 dB(A).

A Figura 13 apresenta o resultado da avaliação das fachadas do prédio da Arquitetura da UFRGS.

Figura 13 – L_{Aeq} simulados nas fachadas da Faculdade de Arquitetura.



Após a calibração dos pontos, dos ajustes das vias e da volumetria das edificações, é possível analisar os níveis de pressão sonora equivalentes incidentes em todas as fachadas.

A Faculdade de Arquitetura possui 5 pavimentos e as salas de aula estão no 3º, 4º e 5º andar e através da Figura 13, constata-se que o L_{Aeq} da fachada em frente à Avenida Oswaldo Aranha é de 70 dB(A) em toda a extensão da fachada em questão e nos 3 andares onde existem as salas de aula.

8. CONCLUSÃO

O presente estudo realizou o mapeamento do ruído do entorno da Faculdade de Arquitetura da UFRGS através de medições e simulações computacionais. As reclamações dos diversos alunos e professores são justificadas pelos altos níveis de pressão sonora incidentes nas fachadas do prédio, oriundos do ruído de trânsito do entorno.

Com medições em 5 pontos nos arredores da quadra onde o prédio da Faculdade de Arquitetura está localizado, constatou-se que a via mais ruidosa é a R. Eng. Luís Englert e que a que mais contribui para os elevados níveis de pressão equivalentes na fachada do prédio da Arquitetura é a Av. Oswaldo Aranha, pelo elevado fluxo de veículos e pela avenida estar próxima da fachada. O valor de 70 dB(A) enquadraria a fachada na Classe III de ruído. A Classe de Ruído citada no estudo serve apenas para referência e uma eventual comparação, uma vez que ela só pode ser atribuída a fachadas onde existam dormitórios em edificações habitacionais.

Além disso, a simulação computacional apresentou valores dentro dos estipulados pela literatura, no qual o maior erro entre a simulação e a medição em campo foi de +3,7 dB(A). As diferenças atribuídas aos pontos medidos e simulados podem ser explicadas pelo baixo tempo de medição nos pontos. Com medições mais longas, o valor medido do L_{Aeq} poderia vir a ser mais compatível com os valores simulados.

Para futuros trabalhos, recomenda-se um novo mapeamento sonoro do local para comparar os níveis de ruído durante e após a pandemia. Sugerem-se medições dentro das salas de aula, a fim de verificar os valores obtidos com as normas e leis vigentes, além de realizar estudos de redução e de controle de ruído na região.

O presente estudo pode vir a ser de grande ajuda para a Engenharia de Tráfego do município, auxiliando a viabilizar estratégias no combate à poluição sonora do local. O mapa de ruído, disponível no Apêndice A, é um excelente aliado no combate à poluição sonora, uma vez que é possível identificar os pontos críticos e solucioná-los adequadamente quando possível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE (APA). **Diretrizes para Elaboração de Mapas de Ruído**. Versão 3. Amadora. Dezembro de 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.575: **Desempenho de edificações habitacionais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.151 Versão Corrigida:2020: **Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral**. Rio de Janeiro, 2020.

BASTIÁN-MONARCA, N.A, SUÁREZ E., ARENAS J.P. Assessment of methods for simplified traffic noise mapping of small cities: Casework of the city of Valdivia, Chile. **The Science of the total environment**, p. 439-448, abr. 2016. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26845180/>. Acesso em: 20 abr. 2021.

BIES, D. A., HANSEN, C. H. **Engineering Noise Control: Theory and Practice**. 4th ed. New York: Spon Press/Talor & Francis, 2003.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 1^o ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BRASILEIRO, T. da C. **Mapeamento sonoro: estudo do ruído urbano no bairro Castelo Branco, em João Pessoa-PB**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Departamento de Arquitetura. Natal, RN, p. 177, 2017

BRÜEL & KJAER. **Environmental Noise booklet**. Naerum: Brüel & Kjør Sound & Vibration Measurement A/S, 2000.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica**. 2^a ed. Brasília: Thesaurus, 2010.

DA COSTA, E. C. **Acústica Técnica**. 1^a ed. São Paulo: Blucher, 2003.

DECRETO MUNICIPAL Nº 8.185, de 7 de março de 1983. Porto Alegre, Rio Grande do Sul.

European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WGAEN): **Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure**. – version 2, 13 January 2006.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 2^a ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9613-2:1996: **Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation**. Suíça, 1996.

KRUMENAUER, M. **Mapeamento e análise de ruído ambiental estudo de caso: Campus Unisinos**. Dissertação (mestrado). Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. São Leopoldo, RS, p. 176, 2016.

MURGEL, E. **Fundamentos de Acústica Ambiental**. São Paulo: Senac, 2007.

MURILLO GOMÉZ D. M.; GIL CARVAJAL J. C.; ZAPATA RODRIGUÉZ V.; TÉLLEZ GARCIA J. J. Assessment of the RLS 90 calculation method for predicting road traffic noise in Colombian conditions. **Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia**, n. 75, p. 175-188, 19 May 2015.

PATRÍCIO, J. **Acústica nos Edifícios**. 6ª ed. Lisboa: Verlag Dashöfer, 2010.

PROACÚSTICA, Associação Brasileira de Qualidade Acústica. **Manual ProAcústica de Acústica Básica**. 2019. Disponível em: <http://www.proacustica.org.br/manuais-proacustica/manual-acustica-basica/>. Acessado em: 22 abr. de 2021.

PROACÚSTICA, Associação Brasileira de Qualidade Acústica. **Manual ProAcústica para Classe de Ruído nas Edificações Habitacionais**. 2017. Disponível em: <http://www.proacustica.org.br/manuais-proacustica/manual-proacustica-classe-de-ruído/>. Acessado em: 23 abr. de 2021.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 001, de 11 de fevereiro de 1993. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 31, de 15 de fevereiro de 1993, Seção 1, páginas 2037 - 2040. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/>. Acessado em: 14 de abr. 2021.

RESOLUÇÃO CONAMA Nº 002, de 11 de fevereiro de 1993. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Publicada no DOU nº 31, de 15 de fevereiro de 1993, Seção 1, páginas 2041 - 2044. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/>. Acessado em: 14 de abr. 2021.

RLS 90, Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (Guidelines for Noise Control at Roads, in German); Der Bundesminister für Verkehr, Anteilung Straßenbau, Ausgabe 1990, Verkehrsblatt 44 (1990).

SÃO PAULO (Município). **Lei nº 16.499, de 20 de julho de 2016**. Dispõe sobre a elaboração do Mapa do Ruído Urbano da Cidade de São Paulo e dá outras providências. Diário Oficial Cidade de São Paulo. Disponível em: <http://documentacao.camara.sp.gov.br/iah/fulltext/leis/L16499.pdf>. Acesso em: 20 abr. de 2021.

TACURI ORTEGA, C. F.; CALDERÓN PERALVO, F. S.; SELLERS WALDEN, C. A. Modelación del ruido por tráfico vehicular en la calle Mariscal Lamar en la ciudad de Cuenca. **ACI Avances en Ciencias e Ingenierías**, v. 8, n. 14, 13 dic. 2016.

WG3. **Working Group 3** (eds). Computational and Measurement. Progress Report. 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines to Community Noise**, Geneva, 1999.

APÊNDICE A – MAPEAMENTO DO RUÍDO NO SOFTWARE CADNA

