

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**MAPEAMENTO SONORO NO CENTRO DE
ARACAJU-SE: DIAGNÓSTICO DO CENÁRIO
ACÚSTICO E SEU DESDOBRAMENTO PARA A
POPULAÇÃO RESIDENTE**

Janaina Costa Lima

MACEIÓ

2023

Janaina Costa Lima

**MAPEAMENTO SONORO NO CENTRO DE
ARACAJU-SE: DIAGNÓSTICO DO CENÁRIO
ACÚSTICO E SEU DESDOBRAMENTO PARA A
POPULAÇÃO RESIDENTE**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Lúcia Gondim da Rosa Oiticica

Co-orientador: Prof. Dr. Italo César Montalvão Guedes
(Universidade Federal de Sergipe-DAU)

Maceió

2023

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

L732m Lima, Janaina Costa.

Mapeamento sonoro no Centro de Aracaju-SE: diagnóstico do cenário acústico e seu desdobramento para a população residente / Janaina Costa Lima. – 2023.

139 f. : il. color.

Orientadora: Maria Lúcia Gondim da Rosa Oiticica.

Coorientador: Italo César Montalvão Guedes.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 130-138.

Apêndices: f. 139.

1. Poluição sonora. 2. Ruído ambiental. 3. Mapeamento sonoro. 4. Ruído de tráfego rodoviário – Aracaju (SE). I. Título.

CDU: 628.517.2 (813.7)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Janaina Costa Lima

**MAPEAMENTO SONORO NO CENTRO DE
ARACAJU-SE: DIAGNÓSTICO DO CENÁRIO
ACÚSTICO E SEU DESDOBRAMENTO PARA A
POPULAÇÃO RESIDENTE**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Fau/Ufal, área de concentração em Dinâmicas do Espaço Habitado, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo

APROVADA em 25 / 04 /2023

Documento assinado digitalmente
 MARIA LUCIA GONDIM DA ROSA OITICICA
Data: 20/06/2023 12:42:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a MARIA LÚCIA GONDIM DA ROSA OITICICA (Orientadora)
Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo – PPGAU/UFAL

Documento assinado digitalmente
 ITALO CESAR MONTALVAO GUEDES
Data: 21/06/2023 06:47:52-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. ITALO CÉSAR MONTALVÃO GUEDES (Co-orientador)
Departamento de Arquitetura e Urbanismo – DAU/UFS

Documento assinado digitalmente
 JULIANA MAGNA DA SILVA COSTA MORAIS
Data: 20/06/2023 16:21:03-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr.^a JULIANA MAGNA DA SILVA COSTA MORAIS (Examinadora Externa)
Departamento de Arquitetura e Urbanismo –DAU/UFPB

Documento assinado digitalmente
 ALEXANDRE MARCIO TOLEDO
Data: 22/06/2023 12:23:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. ALEXANDRE MÁRCIO TOLEDO (Examinador Interno)
Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo – PPGAU/UFAL

Documento assinado digitalmente
 RICARDO VICTOR RODRIGUES BARBOSA
Data: 19/06/2023 16:19:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. RICARDO VICTOR RODRIGUES BARBOSA (
Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo – PPGAU/UFAL

AGRADECIMENTOS

Agradeço à professora Maria Lúcia Oiticica, minha orientadora, pelo seu apoio, orientação e sua confiança desde o início do meu trabalho.

Ao professor Italo César Guedes, meu co-orientador, minha eterna gratidão e admiração. Obrigada por todo o conhecimento transmitido, pela paciência, pelo incentivo e apoio nos momentos que mais precisei.

Aos meus amigos, colegas e professores da UFAL que sempre acreditaram em mim e no potencial desta pesquisa, em especial Jordana Lima que a UFAL me deu de presente e vou levar essa amizade para a vida inteira.

Aos membros do grupo de pesquisa Grupo de Estudos do Ambiente Sonoro (GEAS) da UFAL por estarem disponíveis a todo momento para me ajudar, especialmente à professora Elisabeth Gonçalves pelo carinho, espaço e paciência.

Às minhas recrutas Gabriela Oliveira, Maisa Carvalho e minha mãe pelo auxílio nas medições e por deixar esse momento mais leve.

À Mayara Marques pela ajuda na elaboração dos mapas no QGis.

À professora Tereza Raquel Sena do Departamento de Fonoaudiologia (DFO-UFS), *Campus São Cristóvão*, pelos instrumentos cedidos e pela confiança.

Às minhas amigas de verdade: Maisa Carvalho, Maisa Rocha, Taciana Souza, Gabriele Carvalho, Karla Lima, Gabriela Oliveira pelas conversas, risadas e desabafos que me descontraíram e deram força para prosseguir com o trabalho.

À minha psicóloga Luanna Silva por me ajudar a lidar com meus traumas e momentos mais difíceis durante a elaboração deste trabalho.

À minha família que tanto torceu por mim, principalmente, à minha mãe e minha irmã que me incentivaram a trilhar esse caminho e supriram todas as minhas necessidades;

Agradeço imensamente a Deus pela vida, pelo seu cuidado comigo, por guiar minhas escolhas, capacidade de fazê-las e por não me deixar desistir.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas - FAPEAL pelo apoio financeiro durante uma parte desta dissertação.

RESUMO

As últimas décadas presenciam uma expansão da malha urbana, aumento da densidade populacional e da frota de veículos em centros urbanos, elevando os índices de poluição sonora. Essa ocupa o segundo lugar no *ranking* como maior causadora de doenças, atrás apenas da poluição atmosférica, gerando problemas auditivos e extra-auditivos. Para avaliação e gerenciamento do ruído ambiental, surgem os mapas de ruído, ferramentas de apoio à tomada de decisão relacionadas ao planejamento e ordenamento territorial. Neste contexto, a presente dissertação objetivou mapear o ruído de tráfego rodoviário do bairro Centro, na cidade de Aracaju-SE para análise da população exposta ao ruído. O trabalho também apresenta uma metodologia alternativa para espacializar os dados demográficos. Foram realizadas medições de ruído em vias com diferentes morfologias, coletados dados de fluxo veicular e elaborados mapas de ruído por meio de simulações computacionais no *software* Cadna-A. Dados demográficos foram espacializados no *software* de geoprocessamento QGis para obtenção da porcentagem de pessoas expostas a altos níveis de ruído, conforme a NBR 10.151, e formulação de mapas de conflito. Os resultados evidenciaram que todos os pontos de medição continham níveis acima do limite estabelecido por norma, o menos ruidoso foi 61,2 dB (LAeq) no horário de pico (ao meio-dia) e o mais ruidoso foi 74,6 dB no período matutino. Sendo o ruído dos veículos leves, o principal contribuidor da poluição sonora. Além disso, 57% da população está numa região sem conflito com a norma, 26% está exposta a até 5 dB além do limite aceitável 60 dB (LAeq), 12% entre 5 e 10 dB além do permitido e 4% recebendo estão acima de 10 dB. Assim, juntamente com as intervenções futuras do Plano de Mobilidade municipal foram indicadas medidas de mitigação de ruído, as quais devem ser implementadas em conjunto para maior eficácia e garantia da qualidade de vida da população aracajuana.

Palavras-chave: ruído urbano, ruído de tráfego veicular, mapa de ruído, população exposta ao ruído, Aracaju.

ABSTRACT

The last decades have witnessed an expansion of the urban network, an increase in population density and in the vehicle fleet in urban centers, increasing the levels of noise pollution. This is ranked second in the ranking as the greatest cause of diseases, second only to atmospheric pollution, generating auditory and extra-auditory problems. To assess and manage environmental noise, noise maps are tools to support decision making related to planning and land-use planning. In this context, this dissertation aimed to map the road traffic noise of the neighborhood Center, in the city of Aracaju-SE for analysis of the population exposed to noise. The work also presents an alternative methodology to spatialize the demographic data. Noise measurements were taken on roads with different morphologies, vehicular flow data was collected and noise maps were prepared by means of computer simulations using Cadna-A software. Demographic data were spatialized in the geoprocessing software QGIS to obtain the percentage of people exposed to high noise levels, according to NBR 10.151, and formulation of conflict maps. The results showed that all measurement points contained levels above the limit established by the standard, the least noisy was 61.2 dB (LAeq) at peak time (at noon) and the noisiest was 74.6 dB in the morning period. The noise from light vehicles being the main contributor to noise pollution. In addition, 57% of the population is in a region without conflict with the standard, 26% are exposed to up to 5 dB beyond the acceptable limit 60 dB (LAeq), 12% between 5 and 10 dB beyond the allowed and 4% receiving are above 10 dB. Thus, along with the future interventions of the municipal Mobility Plan were indicated noise mitigation measures, which should be implemented together for greater effectiveness and guarantee the quality of life of the Aracaju population.

Keywords: urban noise, vehicular traffic noise, noise map, noise-exposed population, Aracaju.

SUMÁRIO

1.	Introdução.....	12
2.	Referencial teórico.....	18
2.1.	Acústica urbana.....	19
2.1.1.	Poluição sonora e seus efeitos no homem.....	19
2.1.2.	Fontes sonoras no espaço urbano.....	21
2.1.3.	Propagação sonora ao ar livre.....	23
2.3.4.	Influência da morfologia urbana.....	28
2.2.	Avaliação do ruído urbano.....	32
2.2.1.	Normas e legislações.....	32
2.2.2.	Grandezas de avaliação aplicadas ao controle do ruído.....	38
2.3.	Mapeamento de ruído.....	45
2.4.	Predição de ruído.....	47
2.5.	Cálculo da população exposta.....	49
2.6.	Revisão sistemática da literatura.....	52
3.	Procedimentos metodológicos.....	71
3.1.	Etapa I: Diagnóstico da caracterização morfológica da área de estudo.....	73
3.1.1.	Dados geográficos e legislação urbanística.....	73
3.1.2.	O Bairro Centro.....	76
3.1.3.	Caracterização morfológica do Bairro Centro.....	80
3.2.	Etapa II: Pesquisa de campo.....	88
3.2.1.	Definição dos locais de medição sonora.....	89
3.2.2.	Coleta de dados sonoros e de tráfego.....	94
3.3.	Etapa III: Simulação computacional.....	97
4.	Resultados e discussões.....	101

4.1.	Medições e fluxo de tráfego veicular	102
4.2.	Mapas de ruído do Bairro Centro.....	105
4.3.	Mapa de conflito entre ruído e Classes de Ruído.....	107
4.4.	Mapas de conflito entre ruído e população exposta	108
4.5.	Recortes de análise dentro do bairro Centro	115
4.6.	Correlação com o Plano de Mobilidade de Aracaju-SE.....	121
4.7.	Medidas de mitigação de ruído	123
5.	Considerações finais.....	126
REFERÊNCIAS		130
APÊNDICE A – Ficha para contagem de veículos		1

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais mecanismo de atenuação sonora ao ar livre.....	23
Figura 2 - Influência do ar quente e do ar frio na propagação sonora.....	24
Figura 3 - Influência do vento na propagação sonora	25
Figura 4 - Atenuação da barreira acústica por frequência	27
Figura 5 - Localização da barreira acústica para melhor eficácia	28
Figura 6 - Localização de edifícios e permeabilidade urbana desfavorável e favorável ao ruído (da esquerda para direita)	29
Figura 7 - Campo acústico livre, livre em "L" e campo fechado em "U" (da esquerda para direita).....	30
Figura 8 - Relação entre pressão sonora e nível de pressão sonora para diferentes sons	40
Figura 9 - Curvas isofônicas.....	42
Figura 10 - Filtros de ponderação (A), (B), (C) e (D)	43
Figura 11 - Descritores acústicos.....	44
Figura 12 - Mapa da espacialização dos mapas sonoros nacionais	47
Figura 13 - Coautoria entre os autores que mais publicaram	69
Figura 14 - Diagrama metodológico.....	73
Figura 15 - Mapa de localização.....	74
Figura 16 - Calçada da rua Laranjeiras.....	76
Figura 17 - Arruamento de Aracaju em 1865 no atual bairro Centro.....	77
Figura 18 - Pontos de Referência do Bairro Centro	78
Figura 19 - Imagem aérea do bairro Centro com vistas para a Praça Fausto Cardoso	79
Figura 20 - Imagem aérea do centro de Aracaju, em destaque os mercados municipais e o maior edifício da cidade.....	80
Figura 21 - Mapa topográfico.....	81
Figura 22 - Mapa de uso e ocupação do solo	82
Figura 23 - Porcentagem de uso e ocupação do solo no Bairro Centro.....	83
Figura 24 - Mapa de Gabarito.....	84
Figura 25 - Quantitativo de edificações por gabarito	84
Figura 26 - Mapa de pavimentação viária	85
Figura 27 - Mapa de hierarquia viária	86
Figura 28 - Mapa de trajeto dos ônibus	88

Figura 29 - Ponto 1	89
Figura 30 - Ponto 2	90
Figura 31 - Ponto 3	90
Figura 32 - Ponto 4	91
Figura 33 - Ponto 5	91
Figura 34 - Ponto 6	92
Figura 35 - Ponto 7	92
Figura 36 - Ponto 8	93
Figura 37 - Ponto 9	93
Figura 38 - Ponto 10	93
Figura 39 - Mapa de localização dos pontos de medição	94
Figura 40 - Imagem do sonômetro e calibrador Larson Davis Classe 1.....	97
Figura 41 - Localização dos recortes de análise	100
Figura 42 - Comparação entre os níveis medidos e a NBR 10.151.....	102
Figura 43 - Mapa de ruído matutino (esquerda) e de pico (direita) da situação real [LAeq] .	106
Figura 44 - Mapa de conflito (pico meio-dia) [LAeq].....	108
Figura 45 - Mapa da população exposta sem conflito	110
Figura 46 - Mapa da população exposta a até 5 dB acima do limite	111
Figura 47 - Mapa da população exposta entre 5 e 10 dB acima do limite.....	113
Figura 48 - Mapa da população exposta 10 dB acima do limite	114
Figura 49 - Quantidade de residentes em cada faixa de conflito.....	115
Figura 50 - Quantidade de domicílios em cada faixa de conflito	115
Figura 51 - Recorte 1	116
Figura 52 - Recorte 2.....	117
Figura 53 - Recorte 3.....	118
Figura 54 - Recorte 4.....	119
Figura 55 - Recorte 5.....	120
Figura 56 - Ampliação da área de pedestres.....	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficientes (α) de absorção de pavimentações.....	31
Tabela 2 - Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período.....	36
Tabela 3 - Autores que publicaram duas ou mais vezes.....	68
Tabela 4 - Comparação das medições em campo com as simulações.....	102
Tabela 5 - Contagem de Veículos Leves (V.L.), Veículos Pesados (V.P.) e Motos	103

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Artigos com mapeamento de ruído no Brasil..... 57

Quadro 2 - Artigos não avaliados por falta do corpo completo..... 67

Quadro 3 - Critérios de ocupação do solo 75

1. Introdução

A problemática da poluição sonora se intensificou com a Revolução Industrial e expansão dos centros urbanos, nos quais novas fontes de ruído foram geradas, trazendo o desequilíbrio ambiental. O aumento dos modais para transporte de pessoas, mercadorias, sejam eles rodoviário, ferroviário ou aéreo que atravessam as nossas cidades e campos, assim como a falta de planejamento urbano e aumento da densidade demográfica contribuem para o atual cenário perturbador do ruído ambiental (WHO, 1999; GUEDES, 2005).

Dentre as fontes sonoras existentes (obras de construção civil, fogos de artifício, buzinas, sirenes, atividades comerciais e de serviços, boates, indústrias, templos religiosos, dentre outras), o tráfego de veículos rodoviário é o maior gerador de ruído e o mais percebido nas grandes cidades (WHO, 2018). De acordo com dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD, 2016) com dados de 2015, a maior parte da população brasileira, 84,72%, vive em áreas urbanas. Segundo a *World Health Organization* (WHO), a poluição sonora ocupa o segundo lugar no *ranking* como maior causadora de doenças. Atrás apenas da poluição atmosférica e ultrapassando a da água (WHO, 2018). Ou seja, a poluição sonora é considerada um problema de saúde pública, pois atinge a maior parte da população em diversas cidades ao redor do mundo.

Diversas pesquisas evidenciam que o aumento dos níveis de ruído das vias está associado não apenas ao ruído emitido pelos veículos, mas também às características morfológicas do espaço urbano. A forma urbana influencia o ambiente sonoro mediante a densidade da malha urbana, disposição e geometria das edificações, perfil das ruas, pavimentações e existência de áreas verdes (GUEDES; BERTOLI; ZANNIN, 2011; HIRASHIMA, 2014). Portanto, o aumento do gabarito das edificações altera a propagação sonora contribuindo com uma maior reflexão dos raios sonoros nas fachadas dos edifícios e aumentando os níveis de ruído locais.

Todo som indesejável à atividade de interesse é considerado ruído, mesmo que seja uma música. Fisicamente, não há distinção entre som e ruído, ambos são definidos como qualquer variação de pressão perceptível pelo ouvido humano (MURGEL, 2007).

A exposição diária e contínua ao ruído, mesmo despercebida, pode prejudicar a saúde humana. Alguns dos efeitos prejudiciais do ruído na saúde envolvem: zumbido, perda auditiva, estresse, distúrbio do sono, aborrecimento, doenças cardiovasculares, derrame cerebral, depressão, além de prejudicar a leitura e compreensão oral em ambientes de trabalho e escolares. Estudos realizados nos países-membros da União Europeia indicam que pelo menos

um milhão de anos de vida saudáveis são perdidos todos os anos devido ao ruído do tráfego na Europa ocidental (WHO, 2011).

O ruído também impacta economicamente a vida das pessoas e de organizações. De acordo com Bistafa (2011) um estudo desenvolvido na Dinamarca mostrou que o preço das casas diminui à medida que o ruído de tráfego aumenta. Na escala de cidade é uma das principais causas de desvalorização de residências localizadas em zonas centrais, podendo modificar até mesmo a organização da cidade, interferindo na sua distribuição e no seu crescimento (MARCELO, 2006). O ruído gerado por atividades de entretenimento também é preocupante, uma vez que são mais comuns nos dias de descanso e no período noturno. Em 2001, na Europa, estima-se perdas na atividade econômica do turismo de € 13 a 38 milhões, em virtude do incômodo gerado pelo ruído (BRITO; BARBOSA, 2014).

A União Europeia com a criação da Diretiva Europeia de Ruído Ambiental (Diretiva 2002/49/CE) tem gerenciado e combatido a poluição sonora ambiental através da elaboração de mapas estratégicos de ruído e planos de ação de planejamento urbano em seus países-membros. Diversas pesquisas evidenciaram altos níveis de poluição sonora em diferentes áreas urbanas, como apresentado por Paschalidou, Kassomenos e Chonianaki (2019) na cidade de Pireu, na Grécia, com a criação de mapas estratégicos de ruído para indústria, tráfego e linha ferroviária, e, em Granada, na Espanha, por Vida Manzano *et al.*, (2019), os quais realizaram o mapeamento do incômodo do ruído, a fim de avaliar as prioridades e estimar as melhores práticas para gerenciamento e controle de ruído.

No âmbito internacional, a avaliação do ruído ambiental tem como principal referência a norma ISO N° 1996: *Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise* (ISO, 2016, 2017). No Brasil, a NBR 10.151: *Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral* (ABNT, 2019) consiste na norma correspondente a ISO N° 1996, a qual estabelece aspectos relacionados ao cálculo e ao procedimento de medição do nível de pressão sonora ao ar livre. Além de determinar limites máximos de níveis de pressão sonora em função do uso do solo e período do dia. Para áreas mistas predominantemente residenciais, por exemplo, determina-se 55 dB, no período diurno, e 50 dB, noturno.

Existe ainda a NBR 10.152: *Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações* (ABNT, 2017), que avalia, acusticamente, ambientes internos a partir de valores de referência. A WHO considera o nível máximo de ruído de 55 dB (LAeq) para áreas residenciais externas (WHO, 1999).

Uma das ferramentas disponíveis para auxiliar o planejamento urbano das cidades e combater a poluição sonora é o mapa sonoro. Também denominado de mapa acústico, mapa de ruído e carta acústica consiste em uma representação gráfica do ruído ambiental de certa área geográfica em determinado período do dia por meio de curvas de isolinhas. Estas possuem o mesmo nível de pressão sonora, podendo ser representadas por cores padronizadas a cada 5 dB de nível sonoro (ISO Nº 1996-2, 2017). A Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2011), defende o uso dessa ferramenta por contribuir na tomada de decisão sobre planejamento e ordenamento do território, permitindo a visualização de condicionantes espaciais voltados à qualidade acústica.

Os mapas de ruído podem ser desenvolvidos a partir de medições sistemáticas de níveis de pressão sonora ou com aplicação de *softwares* de simulação acústica. O uso das simulações acústicas possibilita a avaliação de cenários existentes ou hipotéticos, além de fornecer informações detalhadas das principais fontes sonoras, de analisar maior quantidade de pontos sem interrupção de condições meteorológicas adversas e interferências do ruído de fundo (GUEDES, 2005). Há alguns *softwares* presentes no mercado, como: Predictor Lima (Softnoise), Mithra (01 dB), SoundPLAN (Braunstein + Berndt GmbH), Cadna-A (DataKustik), IMMI (Wölfel, GMBH) e iNoise (DGMR Software).

No Brasil, essa ferramenta é ainda pouco utilizada, devido à inexistência de leis nacionais e normas técnicas que a tornem obrigatória. Porém, já há iniciativas de mapas sonoros realizados por alguns órgãos públicos e pesquisas acadêmicas, em dissertações e em teses. O primeiro mapa sonoro municipal foi realizado em Belém-PA, por iniciativa da prefeitura, entre os anos de 2002 e 2004. O segundo mapa foi elaborado, na cidade de Fortaleza-CE, e consolidado em 2012, já, em São Paulo-SP, desde 2016 está em implementação o mapa de ruído urbano da cidade com prazo de desenvolvimento até 2023 (BRASILEIRO *et al.*, 2019).

Outras cidades brasileiras foram mapeadas parcial ou totalmente sob iniciativa de pesquisas acadêmicas. Em 2018, Florêncio (2018) mapeou em sua tese o município de Natal-RN, por meio de pontos de medição sonora *in loco* e reunião de dados de outras pesquisas, totalizando 193 pontos e utilizou o *software* acústico SoundPLAN. Os resultados evidenciaram que o fluxo veicular segue um padrão de crescimento com base na largura e comprimento da via e existe forte correlação entre o fluxo veicular e os níveis de pressão sonora, os quais se apresentaram 75.4% acima dos 55dB recomendado pela NBR 10.151. Já Garavelli *et al.* (2018) elaboraram, na cidade de Águas Claras, no Distrito Federal, em 2018, pesquisas acadêmicas, a fim de criar o mapa sonoro de uma parte urbana. A metodologia baseou-se na coleta dos dados

de tráfego, na determinação dos percentuais de pessoas incomodadas e simulação no *software* SoundPLAN. Estes e outros trabalhos estão reunidos no artigo de Brasileiro *et al.* (2019).

Também foram analisados, em 2018, três bairros da cidade de Maceió-AL com diferentes usos do solo, a fim de levantar o nível de ruído residual externo de instituições escolares e diagnosticar as condições acústicas das escolas de acordo com a NBR 10151/2000. A pesquisa científica utilizou o *software* Cadna-A para as simulações acústicas e constatou que todas as medições ultrapassaram os limites estabelecidos por norma e 72% das escolas estavam situadas em vias principais de tráfego (OLIVEIRA; OITICICA, 2018).

No município de Aracaju-SE, o estudo sobre a acústica urbana iniciou em 2005 com a análise da influência da forma urbana na propagação do ruído de tráfego veicular em uma região residencial no bairro Jardins. Os cenários atual e hipotéticos criados no *software* SoundPLAN evidenciaram a interferência da morfologia urbana no ambiente sonoro local (GUEDES, 2005). Após esta investigação, não houve outras pesquisas sobre a acústica urbana da capital do estado de Sergipe na escala de bairro, mas sim em avenidas e praças, Aracaju possui uma população estimada de 672.614 pessoas, a maior do estado, e uma frota de veículos de 326.915 em 2021, segundo o IBGE (2022).

Além disso, Aracaju não apresenta um planejamento urbano adequado que considere o crescimento populacional, as mudanças e conflitos entre usos do solo, o transporte rodoviário e controle do ruído urbano. Visto que o número de denúncias de poluição sonora aumentou entre os anos de 2013 a 2018 e bares/restaurantes foram considerados a principal atividade ruidosa (NOBRE *et al.*, 2021). O bairro Centro tem um papel fundamental no desenvolvimento do município, pois sua origem está relacionada ao surgimento da nova capital do estado, além de abrigar diversos tipos de usos e ocupação do solo e possuir o principal terminal rodoviário intermunicipal da capital.

Diante da problemática da poluição sonora presente de diversos centros urbanos, inclusive capitais brasileiras onde já houve o mapeamento de ruído em diferentes escalas, surgem os seguintes questionamentos: a) como o ruído de tráfego interfere na acústica do bairro Centro na cidade de Aracaju/SE diante das variadas fontes de ruído existentes? b) quantos moradores da sua circunvizinhança estão expostos ao ruído de tráfego rodoviário? Assim, esta dissertação tem como objetivo geral mapear o ruído de tráfego rodoviário do bairro Centro, na cidade de Aracaju-SE para análise da população exposta.

Os objetivos específicos são:

- Identificar e caracterizar as principais fontes de ruído de tráfego na área analisada.
- Avaliar se os níveis de pressão sonora obtidos nas medições atendem aos limites sonoros estabelecidos pela NBR 10.151 (ABNT, 2019).
- Associar o mapa de ruído do bairro com o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Plano de Mobilidade de Aracaju-SE para sugerir medidas de mitigação do ruído em áreas sensíveis.

Em busca de sistematizar o seu desenvolvimento, a presente pesquisa foi estruturada em cinco capítulos. O **capítulo 1** introduz e antecipa, brevemente, a discussão que será realizada ao longo do trabalho e contém a problemática, a justificativa, as hipóteses e os objetivos. O **capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica, referente aos conceitos fundamentais do ruído urbano, às legislações, normativas e ferramentas de combate à poluição sonora, e a revisão sistemática da literatura buscou analisar a metodologia adotada em pesquisas brasileiras de mapeamento de ruído, a fim de contribuir com a definição da metodologia desta dissertação.

No **capítulo 3** são descritos os procedimentos metodológicos adotados na pesquisa. O **capítulo 4** apresenta a análise dos resultados encontrados na pesquisa, destacando os mapas de ruído, mapas de conflito e a espacialização da população residente exposta ao ruído de tráfego rodoviário, comparando com os parâmetros estabelecidos pelas normas vigentes. Além da análise das propostas previstas pelo Plano de Mobilidade de Aracaju-SE (PlanMob) que poderão influenciar na acústica urbana do bairro Centro e discussão sobre quais as medidas de mitigação de ruído são viáveis para implantação. Por fim, o **capítulo 5** apresenta as considerações finais da pesquisa e as indicações para estudos posteriores.

2. Referencial teórico

2.1. Acústica urbana

2.1.1. Poluição sonora e seus efeitos no homem

O aumento da densidade populacional e do fluxo de veículos nas grandes cidades fez surgir um novo componente na vida urbana: o ruído. Fisicamente não há distinção entre som e ruído, ambos são vibrações das partículas de ar de forma longitudinal detectáveis pelo sistema auditivo que se propagam em estruturas vibrantes. Porém, o ruído é considerado um som indesejável (BISTAFA, 2011). A *World Health Organization* (WHO) considera o ruído como um dos principais problemas ambientais, o classifica como o segundo tipo de contaminação que atinge o maior número de pessoas no mundo, ficando atrás somente da poluição atmosférica (WHO, 2018).

Em países em desenvolvimento como Brasil, China e Índia a poluição sonora pode ser mais grave, pois além da precariedade ou mesmo inexistência de medidas públicas para controle e gestão de emissões sonoras, a precária qualidade das edificações, a falta de planejamento urbano e a verticalização de edifícios também contribui para o aumento dos níveis de ruído nos centros urbanos. Tornando a poluição sonora um problema social, ambiental e de saúde pública (ZANNIN; SANT'ANA, 2011; WHO, 2018).

Vários estudos têm investigado a poluição sonora em ambientes urbanos. Titu *et al.* (2022) investigaram o aumento do ruído de tráfego em zonas residenciais da cidade de Pitesti na Romênia mesmo após a cartografia de ruído em 2012 e implementação de planos de ação. Por meio de novas medições e análise, foi constatado que as medidas propostas eram insuficientes para controlar o ruído rodoviário e a construção de rótulas nas vias trazem uma redução do ruído em comparação aos cruzamentos de semáforos apenas se a velocidade dos veículos for previsível. Lee *et al.* (2022) elaboraram o mapa de ruído de tráfego rodoviário e ferroviário no distrito de Panyu, na cidade de Guangzhou, na China, com medições dos níveis sonoros em 65 pontos e uso do *software* Cadna-A. Os resultados mostraram as áreas com ruído acima do limite regulamentado, sendo 157,5 km² (29,72%) e 146,2 km² (27,59%) de dia e de noite, respectivamente.

Elevados níveis de ruído mesmo despercebidos podem afetar a saúde e a qualidade de vida da população. Além da intensidade, a duração da exposição ao ruído pode interferir diretamente na saúde psicológica e fisiológica dos habitantes (BISTAFA, 2011; FERNANDES, 2013). Dentre os efeitos auditivos causados pelo ruído estão: o zumbido de pitch agudo, a mudança temporária do limiar (MTL) e a mudança permanente do limiar (MPL) (trauma

acústico agudo e crônico). Já os efeitos extra auditivos estão relacionados a distúrbios no cérebro e nos sistemas nervoso, circulatório, digestório, endócrino, imunológico, vestibular, muscular, nas funções sexuais e reprodutivas, no psiquismo, no sono, na comunicação e no desempenho de tarefas físicas e mentais (GANIME *et al.*, 2010).

Dentre os trabalhos que comprovam os efeitos prejudiciais do ruído na saúde humana, Vienneau *et al.* (2022) após 15 anos de estudos, entre 2001 e 2015, associa a morte por doenças cardiovasculares à exposição ao ruído de tráfego com moradores da cidade de Switzerland, na Suíça. As doenças cardíacas isquêmicas, relacionadas com a tensão arterial, e toda a mortalidade de AVC foram significativamente associadas ao ruído do tráfego rodoviário e ferroviário, enquanto que a mortalidade isquêmica de AVC estava associada ao ruído das aeronaves. As associações estavam maioritariamente lineares, muitas vezes começando abaixo dos 40 dB L_{den} para o ruído rodoviário e o ferroviário, níveis permissíveis pelas diretrizes da WHO.

Em 2011 o Gabinete Regional da WHO para a Europa e a Comissão Europeia de Investigação Conjunta publicaram um relatório sobre o peso da enfermidade devido ao ruído ambiental e quantificou os anos saudáveis de vida perdidos nos países da Europa Ocidental. O fardo da doença é calculado numa única medida em Anos de Vida Ajustados à Incapacidade (*Disability-Adjusted Life Years - DALYs*) são a soma dos anos potenciais de vida perdidos devido à mortalidade prematura e dos anos vividos com incapacidade para pessoas que vivem com a doença ou condição de saúde ou as suas consequências na população em geral (WHO, 2018). O relatório estimou que os DALYs perdidos devido ao ruído nos países da Europa Ocidental é equivalente a 61000 anos para a doença isquêmica do coração (IHD), 45000 anos por deficiência cognitiva em crianças, 903000 anos por perturbação do sono, 22000 anos para o zumbido e 654000 anos para o aborrecimento (WHO, 2011). A WHO estabelece que a partir de 55 dB ruídos constantes são prejudiciais à população durante o período diurno, já para o período noturno, 40 dB.

Uma forma de identificar quais regiões são atingidas por níveis de ruído elevados é por meio da espacialização das denúncias de poluição sonora registradas em órgãos/instituições de gestão e controle de ruído urbano. Nobre *et al.* (2021) elaborou o panorama da poluição sonora na cidade de Aracaju/SE entre os anos de 2013 e 2018. Foi constatado que o número de queixas de ruído tem aumentado ao longo dos anos, sendo bares e restaurantes a principal atividade ruidosa denunciada e o bairro Atalaia conteve o de maior índice de denúncias realizadas pela população. Em Natal/RN as denúncias dos anos de 2012 a 2013 foram comparadas com os

registros de 2014 e 2015. Foi constatado um número crescente de denúncias, onde os bairros comerciais apresentam mais denúncias de poluição sonora diurna causadas, em sua maioria, por caixas de som para propagandas (ALVES *et al.*, 2016).

2.1.2. Fontes sonoras no espaço urbano

A acústica urbana é composta por diversas fontes sonoras como ruído industrial, ruído de tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo, obras de construção civil, canto dos pássaros, água corrente, buzinas, fogos de artifício, entre outros. Porém, o ruído de tráfego veicular é considerado a principal fonte de poluição sonora nas cidades modernas e a mais percebida em pesquisas de percepção sonora (LACERDA *et al.*, 2005). O conceito e as classificações dessas fontes são essenciais para o estudo do ruído urbano e elaboração dos mapas acústicos.

Quanto à posição geográfica, as fontes sonoras podem ser fixas ou móveis. As fontes fixas possuem uma localização ou posição física determinada, podem ser representadas por construções civis, complexo industrial, comércios, serviços e equipamentos, como um compressor de ar condicionado. As móveis se locomovem no espaço, no qual se inserem os modais de transporte de passageiros e carga, como veículos e aeronaves (ANSAY, 2013).

Com relação às características geométricas e à distância entre a fonte e o receptor, as fontes sonoras podem ser classificadas em pontuais, lineares e superficiais. As fontes pontuais possuem dimensões insignificantes em relação à sua distância ao receptor e podem ser consideradas como uma esfera pulsante que irradia som uniformemente em todas as direções, como despertador, ventilador, discoteca, área de lazer, engrenagens, entre outras (GUEDES, 2005; KANG, 2007). A sua intensidade em qualquer ponto é inversamente proporcional ao quadrado da sua distância da fonte, ou seja, a cada dobro da distância até a fonte, há uma redução de 6 dB do nível sonoro (KANG, 2007).

As lineares são formadas por um conjunto de fontes pontuais dispostas linearmente com dimensão bem maior do que a distância ao receptor. O nível de potência sonora se dissipa de forma cilíndrica e igualmente para todos os pontos que apresentam a mesma distância à linha de eixo da fonte. A exemplo de movimento de fluido em tubulações e tráfego contínuo (GUEDES, 2005; SOUZA, 2010). A cada dobro da distância de uma fonte linear ideal o seu nível de pressão sonora decai 3 dB em campo livre (KANG, 2007). As superficiais possuem dimensões significativas comparáveis ao distanciamento entre a fonte e o receptor. Como exemplo, uma fachada ou telhado de uma construção, ou um playground de uma escola (GUEDES, 2005; KANG, 2007).

Por fim, as fontes sonoras se classificam de acordo com a radiação sonora emitida em omnidirecionais e direcionais. Quando uma fonte sonora irradia a pressão acústica com a mesma amplitude em todas as direções perpendiculares à direção de propagação, é considerada uma fonte omnidirecional. Já as direcionais apresentam mais vibrações acústicas em determinadas direções, o que gera uma heterogeneidade da intensidade sonora. Exemplos desse tipo de fonte são o alto-falante e a voz humana (BISTAFA, 2011; NIEMEYER, 2007).

O ruído gerado pelo tráfego rodoviário não depende apenas do veículo, é influenciado por vários fatores, como: o volume de tráfego, o tipo de rodovia e suas condições de manutenção, pois as depressões existentes na rodovia tendem a aumentar a percepção do ruído; a velocidade dos veículos, os ruídos são mais intensos quanto maior a velocidade; o tipo de veículo (leve, médio ou pesado), quanto mais pesado o veículo, mais intenso o ruído. Ou seja, condições gerais que caracterizam a pista e o veículo. Além disso, a hora do dia é um fator determinante do grau de importância dado ao ruído, uma vez que a ausência de sons mascarantes faz com que os horários da madrugada tendam a aumentar a percepção do ruído (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2012).

Segundo Murgel (2007), o ruído do motor não é diretamente proporcional à velocidade do veículo, mas sim à rotação do motor (rpm), podendo alcançar alta intensidade mesmo em baixas velocidades ou mesmo parado, ao iniciar uma aceleração. Quando o veículo está em movimento, surge o ruído provocado pelos pneumáticos. A sua origem é o constante golpear da superfície destes com a rugosidade da pista. Assim, ao circular em uma via de tráfego em baixa velocidade, os ruídos de motor e escapamento são predominantes, particularmente nos momentos de aceleração. Contudo, o ruído de pneus cresce rapidamente com o aumento da velocidade e passa a ser predominante, pois o ruído do motor e do escapamento não aumentam na mesma proporção.

Ou seja, continua valendo o conceito de que quanto maior a velocidade do veículo, maior a intensidade sonora. Entretanto, quando o veículo está em aceleração, com constantes trocas de marcha, o motor é ciclicamente acelerado, gerando altos níveis sonoros. Por isso, as constantes reacelerações dos veículos geram um nível de ruído mais intenso para o tráfego com velocidade média muito baixa do que aquele decorrente do tráfego com velocidade média mais alta, porém contínua. Dentre as medidas aplicáveis para redução do ruído rodoviário, pode-se citar: manutenção do veículo; uso de pneus menos ruidosos; conservação da via; uso de pavimentos porosos (que melhoram as condições de aderência e visibilidade na chuva); limitação da velocidade máxima; aumento do canteiro central e de áreas de escape laterais; e

construção de taludes e de paredes de túneis com revestimentos absorventes acústicos (MURGEL, 2007).

Também é importante analisar o espectro sonora das fontes sonoras existentes identificando as frequências, ou faixas de frequências de maior intensidade. Uma vez que o ouvido humano, por exemplo, tem uma sensibilidade diferente aos sons, dependendo das suas frequências. É mais sensível na faixa de 1000 Hz a 4000 Hz (frequências correspondentes à fala), com uma percepção mais fraca nas frequências mais baixas e mais altas (LICITRA, 2013). O ruído de tráfego tem, geralmente, grande composição em baixas frequências (sons graves), mas a frequência predominante varia conforme a composição do fluxo de veículos, nos quais os valores máximos do nível sonoro equivalente podem ocorrer na frequência de 1000 Hz (BAKOWSKI, 2019).

2.1.3. Propagação sonora ao ar livre

A propagação sonora ao ar livre envolve três componentes: a fonte sonora, a trajetória de transmissão e o receptor. Na qual, a fonte emite certa potência sonora, o nível sonoro é atenuado ao longo da trajetória à medida que se afasta da fonte e se aproxima do ouvinte (BISTAFA, 2011). Uma propagação sonora sem qualquer obstáculo ou fenómeno de absorção é definida como a condição de propagação em campo livre (LICITRA, 2013).

A atenuação sonora das fontes para os receptores depende:

- Absorção de ar;
- Absorção do solo ou da vegetação;
- Condições meteorológicas;
- Obstáculos ao longo do percurso de propagação (Ver Figura 1)

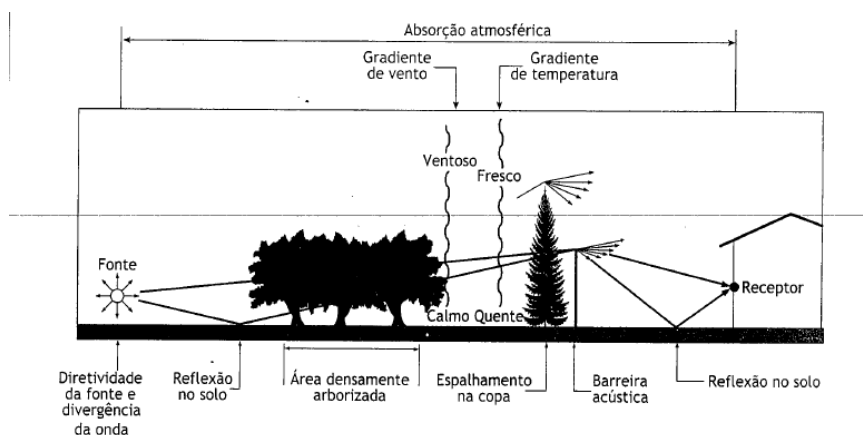


Figura 1 - Principais mecanismo de atenuação sonora ao ar livre
Fonte: Bistafa (2011).

Uma descrição detalhada da atenuação atmosférica e um procedimento de cálculo é mostrado na norma técnica ISO 9613. Na transmissão aérea do som há uma perda de energia, esta é de difícil estimativa, pois varia conforme a frequência sonora e as condições meteorológicas (temperatura, ventos e umidade relativa do ar). Quanto mais alta a frequência do som, maior será a atenuação do som no ar, por isso, em grandes distâncias da fonte emissora, praticamente só são audíveis os sons de baixa frequência (mais graves) (MURGEL, 2007).

Com relação à atenuação com a variação da temperatura, o efeito pode ser positivo (quando há aumento da temperatura com a altura), negativo (quando há redução da temperatura com a altura) ou nulo (sem variação). Num dia ensolarado, sem vento, a temperatura diminui com a altitude, dando um efeito de "sombra acústica" para o som. Em uma noite sem nuvens, a temperatura pode aumentar com a altitude (inversão de temperatura), "focalizando" o som na superfície do solo. Ou seja, as ondas sonoras sofrem desvio no sentido da zona mais fria (BRUEL & KJAER, 2000) (Figura 2).

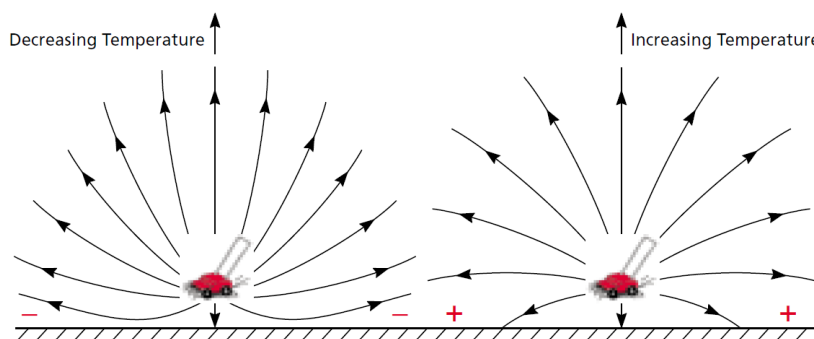


Figura 2 - Influência do ar quente e do ar frio na propagação sonora
Fonte: Bruel & Kjaer (2000).

Os gradientes de vento também influenciam na propagação sonora semelhante ao gradiente de temperatura, porém aqueles não são uniformes em todas as direções da fonte. A velocidade do vento aumenta com a altitude, o que irá alterar o caminho do som para "focalizá-lo" no lado a favor do vento para baixo e fazer uma "sombra acústica" no lado contra ele para cima da fonte (Figura 3). Em distâncias curtas, até 50 m, o vento tem pouca influência sobre a medida nível sonoro, se comparada a longas distâncias. A sota-vento, o nível pode aumentar em alguns dB, dependendo da velocidade do vento. A barlavento, o nível pode reduzir mais de 20 dB, dependendo da velocidade do vento e da distância. Logo, é recomendável realizar a medição a sota-vento, pois o desvio é menor e o resultado é também confiável (BRUEL & KJAER, 2000).

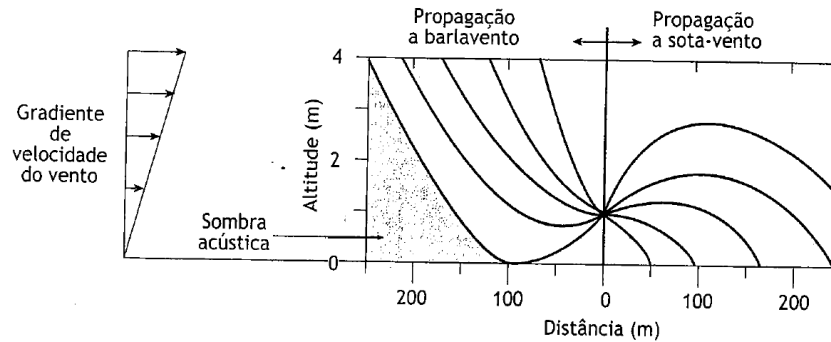


Figura 3 - Influência do vento na propagação sonora
Fonte: Bistafa (2011).

O som refletido pelo solo interfere diretamente no som propagado, podendo gerar atenuação ou amplificação do nível sonoro. A atenuação do solo é geralmente calculada em bandas de frequência, observando o espectro de frequência da fonte de ruído e do tipo de solo entre a fonte e o receptor (BRUEL & KJAER, 2000). Na presença de solos duros acusticamente, como asfalto, terra batida, água e solo inundado, há uma amplificação de aproximadamente 3 dB. Já em solos macios, como vegetação, terra arada ou aerada, neve ou outros solos, há uma significativa redução do nível sonoro, podendo chegar a 40 dB de atenuação (BISTAFA, 2011).

Assim, pode-se definir a equação básica da propagação sonora ao ar livre como:

$$L_p(r, \theta) = L_w - 20 \log r + DI_\theta - 10 \log \frac{\Omega}{4\pi} - A_{combinada} - 11 \text{ dB}$$

Onde:

L_p é o nível de pressão sonora, melhor definido no subitem 2.2.2.1. (dB)

L_w é o nível de potência sonora por banda de oitava produzido pela fonte (dB) em relação a uma potência sonora de referência de um picowatt, melhor definido no subitem 2.2.2.2;

r é a distância fonte-receptor;

DI_θ é a correção de diretividade, para fontes sonoras de tráfego rodoviário, costuma-se omitir;

Ω é o ângulo sólido disponibilizado para a fonte para livre propagação, se a fonte estiver próxima ao solo, a energia sonora estará concentrada no ângulo sólido 2π (igual +3 dB); já se a fonte estiver situada próxima ao solo e a uma fachada vertical de edificação, o ângulo é π (igual a +6 dB) (BISTAFA, 2011);

$A_{combinada}$ é a combinação de todos os mecanismos significativos de atenuação sonora entre a fonte e o receptor (dB) por banda de oitava definida por:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \text{ (dB)}$$

Onde:

A_{div} é a atenuação devido à divergência geométrica;

A_{atm} é a atenuação devido à absorção atmosférica;

A_{gr} é a atenuação devido ao efeito do solo;

A_{bar} é a atenuação devido a uma barreira;

A_{misc} é a atenuação devido a diversos outros efeitos (ISO 9613-2, 1996).

As barreiras acústicas são elementos construtivos, como muros, edificações, e/ou naturais, como o próprio solo, vegetação densa, que obstruem a visão da fonte pelo receptor e auxiliam na atenuação do ruído. A redução do ruído causada por uma barreira depende de dois fatores principais:

1. A diferença de percurso da onda sonora ao atravessar a barreira em relação à transmissão direta para o receptor, ou seja, a altura da barreira.
2. O espectro da frequência do ruído (BRUEL & KJAER, 2000).

O som atinge o topo da barreira e é curvado por difração para baixo até chegar ao receptor, formando uma zona de sombra acústica, onde os níveis de ruído são reduzidos por frequência. Ruídos mais agudos possuem altas frequências e pequenos comprimentos de onda, sendo facilmente bloqueados. Porém, ruídos graves com baixas frequências são difíceis de reduzir utilizando barreiras, devido ao seu grande comprimento de onda, atravessando-a (VALLE, 2009) (Ver Figura 4). A fim de melhorar a eficácia da barreira através da geometria, Ishizuka; Fujiwara (2004) estudaram diferentes formas para o topo de barreiras acústicas e uso de revestimentos rígidos e absorventes. Foi possível concluir que a barreira absorvente em forma de T de 3 metros de altura obteve o maior desempenho, equivalendo ao mesmo desempenho que uma barreira plana de 10 metros.

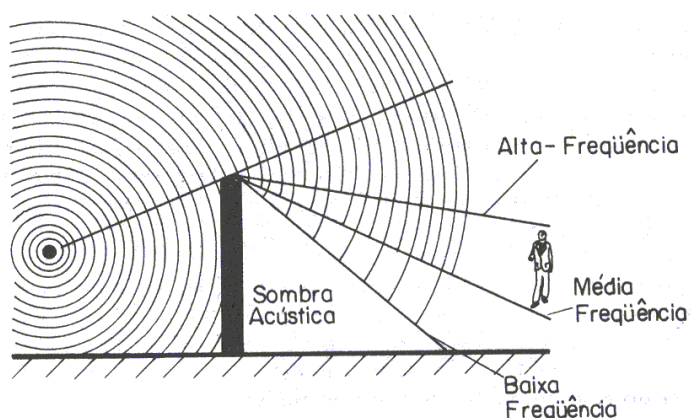


Figura 4 - Atenuação da barreira acústica por frequência

Fonte: Gerges (2000).

A difração também ocorre nas bordas laterais da barreira. Assim, o comprimento da barreira deve ser tal que a distância da fonte até às extremidades se situe pelo menos o dobro da distância normal da fonte até à barreira; ou uma barreira deve cobrir um ângulo de 160° subtendidos do receptor; ou o comprimento da barreira deve ser mais de 4 a 5 vezes a altura para atenuar fontes sonoras pontuais. Para atenuar fontes lineares, como tráfego rodoviário, é difícil obter valores acima de 10 dB de atenuação (KANG, 2007). Deve-se também evitar quaisquer frestas de aberturas na superfície da barreira.

Também há outros fatores que influenciam a eficácia de uma barreira acústica como a densidade superficial da barreira que depende dos materiais de composição que auxiliam no isolamento sonoro, devendo ser superior a 20 Kg/m^2 (BISTAFA, 2011). Com relação à implantação da barreira, é mais eficaz quando colocada perto da fonte ou do receptor, se não houver um desnível os separando. Caso a fonte esteja em um plano mais elevado que o receptor, recomenda-se que a barreira seja implantada mais próxima à fonte, em caso de depressão de relevo, a barreira é melhor locada no topo da encosta (KOTZEN; ENGLISH, 2009) (Ver Figura 5).

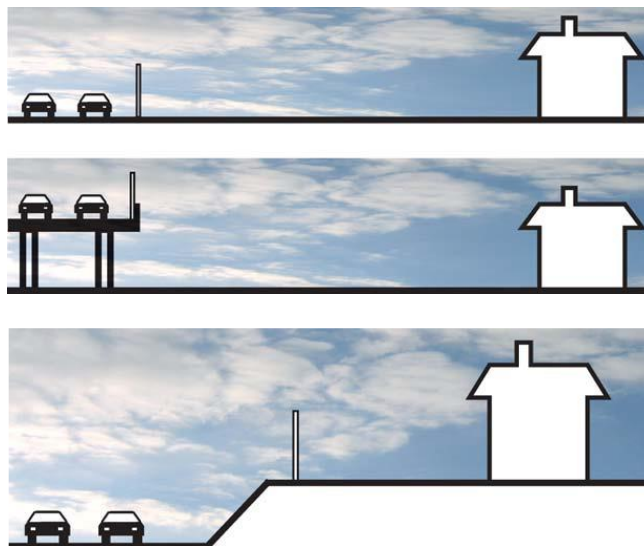


Figura 5 - Localização da barreira acústica para melhor eficácia
Fonte: Kotzen e English (2009).

Por fim, os aspectos visuais da barreira devem ser considerados, pois sua inserção interfere na paisagem local e na percepção da sua eficácia pelos moradores. Hong e Jeon (2014), analisaram as características espectrais da redução do ruído combinadas com impressões visuais de cinco barreiras com diferentes materiais: alumínio, madeira, acrílico translúcido, concreto e barreiras com vegetação. Os resultados apontaram uma preferência geral dos entrevistados por barreiras com maior atenuação sonora, do ponto de vista da eficácia acústica, porém, em relação ao apelo estético, houve preferência por barreiras com menor atenuação sonora.

As edificações também podem atuar como barreiras acústicas reduzindo o nível de ruído em locais mais distantes. Uma fileira de edificações pode atenuar até 10 dB, no entanto gera menor atenuação do que uma barreira contínua de mesma altura. O uso de vegetação como barreira acústica para ser eficaz necessita de uma largura mínima de 15 metros, uma vez que a atenuação ocorre com um espalhamento do raio sonoro para diversas direções. Além disso, é necessário considerar: a localização do cinturão (mais eficiente próximo à fonte), a altura (pelo menos 5 metros acima da linha de visão) e a configuração de plantio com vegetação densa (BISTAFA, 2011).

2.3.4. Influência da morfologia urbana

O meio onde a fonte sonora está inserida interfere no modo como as ondas sonoras se propagam, por isso a importância em estudar os elementos que compõem a morfologia urbana, a fim de reduzir a exposição aos níveis elevados de ruído pelos moradores. As edificações do entorno interferem no campo acústico do local, intensificando os níveis de pressão sonora ou

gerando sombras acústicas, não apenas pelo modo como uma edificação se relaciona espacialmente com outra, mas pela própria geometria construtiva.

O estudo de Guedes, Bertoli e Zannin (2011) avaliou como a inserção de muros entre as edificações residenciais e a fonte linear de tráfego rodoviário e o aumento da densidade construtiva no bairro Jardins interfere nos níveis sonoros, em Aracaju/SE. A inserção do muro de 2,5 metros atenuou o ruído principalmente para o primeiro e segundo pavimento, e a adição de novas edificações com altura similar às existentes contribuiu para redução uniforme dos níveis de ruído nas fachadas, também se comportando como uma barreira acústica.

A permeabilidade urbana, ou seja, o espaçamento entre os edifícios se relativamente pequeno quando comparado à dimensão da fachada, pode dificultar a entrada do ruído nesta região. Porém se a fonte sonora estiver entre as edificações, as superfícies das fachadas podem favorecer a reflexão do ruído e este perpetuar durante mais tempo no ambiente urbano aumentando o ruído, gerando o fenômeno da reverberação urbana. (NIEMEYER, 2007) (Figura 6).

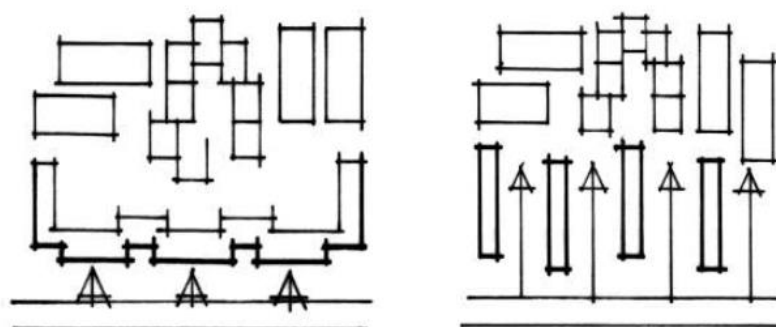


Figura 6 - Localização de edifícios e permeabilidade urbana desfavorável e favorável ao ruído (da esquerda para direita)

Fonte: Niemeyer (2007).

O espaço acústico aberto se assemelha à propagação em campo livre, no qual não há obstáculos que interfiram na propagação sonora entre a fonte e o receptor. O perfil de rua em “L”, onde a via de tráfego é margeada por edificações em apenas uma margem, há poucas reflexões geradas pelas fachadas. Alguns exemplos são praças, parques, vias marginais a orlas marítimas e rios. A configuração de perfil de rua em “U” é considerada como espaço acústico fechado, pois a onda sonora tarda a encontrar o campo livre, caracterizando-se como um espaço reverberante, quando há um número maior de reflexões, ou semi-reverberante se o nível sonoro decai mais rapidamente (NIEMEYER, 2007). Se a razão entre a altura (H) das edificações e a largura da via (L) for igual a 1, ou seja, $H=L$, tem-se a configuração de um *canyon* urbano. Suas características interferem também no clima urbano e suas variáveis, como: a exposição à

radiação solar, geração de sombras, efeitos do vento, conforto térmico e a dispersão dos poluentes dos veículos (OKE *et al.*, 2017) (Figura 7).

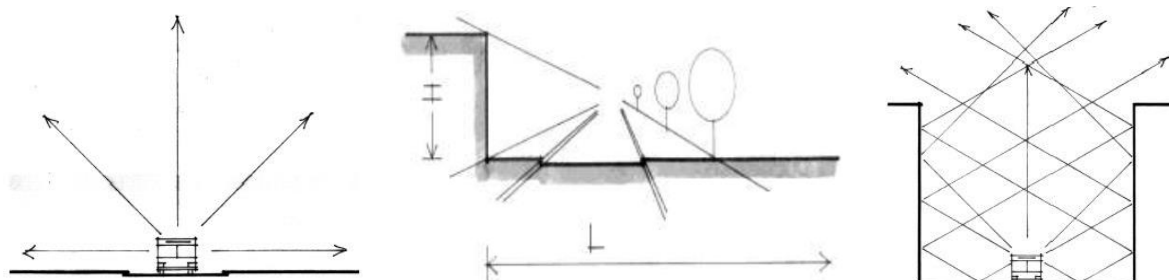


Figura 7 - Campo acústico livre, livre em "L" e campo fechado em "U" (da esquerda para direita)

Fonte: Niemeyer (2007).

É importante lembrar ainda que o solo age como uma superfície em que parte do som é absorvida e outra, refletida, resultando em atenuação ou amplificação, respectivamente. Assim, a parte refletida, adicionada ao raio direto, pode ser uma componente do som recebido, desde que a conformação topográfica do solo possibilite seu percurso até o receptor (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2012). Logo, a topografia do local deve ser considerada ao estudar o comportamento do ruído em determinada região. Assim como, auxilia na tomada de decisão para implantação de um edifício de forma a proteger suas aberturas do ruído ambiental e inserção de barreiras acústicas.

Nos centros urbanos a maioria das vias de tráfego apresentam materiais de revestimento refletores, como asfalto e paralelepípedo de pedra, este pode causar um aumento de 3 dB a 5 dB em relação ao pavimento asfáltico convencional, contribuindo para o aumento do ruído rodoviário. No caso de pavimentação com asfalto convencional, a área sujeita a maior intensidade de poluição sonora se estende por uma faixa de pouco mais de 250 m da rodovia. Com o envelhecimento e a deterioração do pavimento, estima-se que a zona prejudicada se estenda até 450 m da via. O uso de pavimento de concreto gera uma zona de maior impacto ambiental podendo atingir até 350 m da pista, dependendo das características do concreto aplicado (MURGEL, 2007).

O asfalto de baixa rugosidade possui uma zona máxima de interferência de até de 150 m de distância da rodovia com altos níveis de ruído, garantindo uma sensível melhora na qualidade ambiental. Por outro lado, o asfalto poroso apresenta o mesmo desempenho acústico do asfalto de baixa rugosidade, porém mantendo as condições de segurança viária, pois contém uma melhor aderência dos pneus e boa durabilidade (MURGEL, 2007). A Tabela 1 apresenta alguns materiais para pavimentação com seus respectivos coeficientes de absorção sonora por

frequência e o NRC, o qual é a média dos coeficientes de absorção sonora (α), para as frequências de 250, 500, 1.000 e 2.000 Hz.

Tabela 1 - Coeficientes (α) de absorção de pavimentações

Pavimentação	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1k Hz	2k Hz	4k Hz	NRC
Asfalto	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,05
Cascalho, solto	0,25	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,70
Concreto	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00
Espelho d'água	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00
Grama	0,11	0,25	0,60	0,69	0,92	0,99	0,60
Madeira	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	0,10
Mármore ou cerâmica	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00
Terreno natural	0,25	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,70

Fonte: EGAN (1984).

Assim, não apenas a microescala de rua e geometria das edificações interferem na propagação sonora urbana, mas também num contexto mais amplo como a quadra e em macroescala, os bairros com os traçados viários que compõem e organizam a cidade. Cortês (2013) analisou a influência da morfologia urbana na qualidade acústica no bairro Petrópolis, em Natal/RN. Após realizar medições em campo dos níveis sonoros e simulações computacionais no *software* SoundPLAN na escala de bairro, houve o estudo da verticalização de algumas edificações em quadras específicas e variação da morfologia da edificação. Os resultados demonstraram que havia altos níveis de ruído em todos os pontos; com o aumento do gabarito, os níveis sonoros demoram mais a decair com a altura e edificações em “L” geram um miolo de quadra mais protegido do ruído.

A função urbana também altera a acústica ambiental, uma vez que cada uso do solo impacta diretamente o entorno onde está inserido, e a poluição sonora é um dos aspectos ambientais a serem avaliados. Moraes *et al.* (2003) estudaram os níveis de ruído na zona comercial de Belém/PA pertencente à Zona Especial de Preservação do Patrimônio Histórico com as ruas pavimentadas com paralelepípedos de granito. Evidenciou-se elevados níveis de ruído em todos os pontos de medições do ruído rodoviário variando o nível de pressão sonora equivalente ponderado em A (L_{Aeq}) entre 66,6 e 75,4 dB. Silva, Bastos, Oiticica (2018) analisaram o impacto sonoro em áreas residências devido a ampliação de uso do solo comercial no bairro Farol, em Maceió/AL. Foram realizadas medições de campo, contagem de veículos no cruzamento da via arterial e vias adjacentes, onde 34% do fluxo se dirigiam a elas. Todos os níveis de ruído extrapolaram os limites estabelecidos pela NBR 10151 (ABNT, 2019), sendo o máximo medido 81,2 dB (L_{Aeq}) numa via adjacente com desvio dos veículos demonstrando a exposição das residências dessa região.

Lopez, Souza (2018) estudaram como a vegetação das praças da região central de São Carlos, São Paulo/SP contribuem para a redução do ruído urbano. A área de estudo foi subdividida em 25 subáreas com 1 ponto de medição cada. Os níveis de pressão sonora equivalente ponderado em A (L_{Aeq}) do ruído rodoviário variaram de 55,64 dB a 76,45 dB durante o dia e de 56,18 dB a 71,39 dB à noite. Utilizando o coeficiente de correção linear de Pearson (r) como parâmetro estatístico, constatou-se que existe uma relação proporcional inversa entre áreas verdes e poluição sonora.

2.2. Avaliação do ruído urbano

2.2.1. Normas e legislações

O reconhecimento da poluição sonora não somente como uma questão de desconforto, mas também como um problema de saúde pública tem despertado preocupação em diversos países. Neste tópico, serão evidenciadas as leis, regulamentações e normas, nos âmbitos internacional e nacional que explanam sobre o controle do ruído a fim de controlar níveis excessivos do meio ambiente e nas edificações habitacionais.

2.2.1.1. Âmbito internacional

A normatização internacional fornece uma base para as normas nacionais, e na falta destas, aquela deve ser considerada. Há duas principais organizações para normatização, a *International Organization for Standardization* (ISO), que trata, principalmente, sobre a metodologia e procedimentos de comparação dos resultados e a *International Electrotechnical Commission* (IEC) que regulamenta a instrumentação utilizada para avaliação de ruído ambiental (BRUEL & KJÆR, 2000)

A ISO (*International Organization for Standardization*), Organização Internacional de Normalização ou Organização Internacional para Padronização, é uma entidade internacional, criada em Genebra, na Suíça, em 1947, que estabelece padrões internacionais de procedimentos para avaliar o ruído ambiental. A norma nº 1996: *Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise* (ISO, 2016, 2017) é utilizada como referência para o mapeamento do ruído pelos países-membros da Diretiva Europeia de Ruído (WHO, 2018), esta norma descreve aspectos relacionados ao cálculo e ao procedimento de medição do nível de pressão sonora ao ar livre. É dividida em duas partes, a norma nº 1996-1: *Basic quantities and assessment procedures* (ISO, 2016), e a norma nº 1996-2: *Determination of sound pressure levels* (ISO, 2017).

A norma nº 9613: *Acoustics - Attenuation of Sound during Propagation Outdoors* (ISO, 1993, 1996) apresenta um método para cálculo de propagação sonora ao ar livre, considerando vários efeitos de propagação sobre o solo. Ela é composta por duas partes: a nº 9613-1: *Calculation of the absorption of sound by the atmosphere* (ISO, 1993) e a segunda nº 9613-2: *General method of calculation* (ISO, 1996). A parte 1 especifica um método analítico de cálculo da atenuação do som como resultado da absorção atmosférica para uma variedade de condições meteorológicas. A parte 2 descreve um método para calcular a atenuação do som durante a propagação ao ar livre, a fim de prever os níveis de ruído ambiental a uma distância de diversos tipos de fontes. Esta norma está presente em vários *softwares* de mapeamento de ruído ambiental com suas fórmulas incorporadas.

A normas IEC da Comissão Eletrotécnica Internacional são aceitas mundialmente e referenciadas pelas normas brasileiras NBR 10.151 (ABNT, 2019) e NBR 10.152 (ABNT, 2017). Uma das principais é a IEC 61672: *Electroacoustics - Sound Level Meters*, que substituiu a IEC 60651 (*Sound level meters*) e a IEC 60804 (*Integrating-averaging sound level meters*) com grandes alterações e especificações mais rigorosas, nas quais o sonômetro tipo 3 desaparece. O que significa um melhor teste e controle de qualidade de instrumentação e maior precisão. Está dividida em três partes: IEC 61672-1: *Specifications* (IEC, 2013), IEC 61672-2: *Pattern evaluation tests* (IEC, 2013) e IEC 61672-3: *Periodic tests* (IEC, 2013). A versão mais recente da NBR 10.151 com errata 2020 (ABNT, 2019) exige que o sonômetro atenda às três partes da IEC 61672, dentre outras normas. Algumas marcas de sonômetros internacionais que a satisfazem são: Rion, Bruel & Kjaer, Norsonic, 01 dB, Cesva, Larson Davis, Svantek, Nti, PCE, Mezzo, TES; algumas marcas brasileiras como Instrutherm e Criffer até o momento não apresentaram laudo de validação do modelo (CAM) pela IEC 61672-2, portanto, não se tem certeza a respeito da qualidade do equipamento.

2.2.1.2. Âmbito nacional

Nos últimos anos, as legislações ambientais brasileiras vêm enfatizando a necessidade da conservação do meio ambiente a fim de aumentar a qualidade de vida da população, ao estabelecerem normas, leis e regulamentações que buscam controlar as intervenções humanas nos espaços habitados. Os principais aspectos referentes à poluição sonora abordados nas legislações existentes serão apresentados nos três âmbitos federal, estadual e municipal.

A Constituição Federal de 1988 trata a questão ambiental no art. 225, que estabelece: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de

defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. [...]” (BRASIL, 1988). O art. 1, inciso III da Constituição afirma que a saúde é um direito fundamental do ser humano, passando a ser uma preocupação não só privada, mas pública, na qual os três poderes devem interferir no sentido propiciá-la aos cidadãos.

A prática de poluição sonora pode ser responsabilizada administrativa, cível e criminalmente, uma vez que está previsto no art. 3º da Lei 9.605/98 que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, dentre elas a poluição, prevista no art. 54. Na esfera administrativa o infrator está sujeito a sanção de multa e embargo, dentre outras penalidades; na esfera cível, ao pagamento de indenização por danos materiais e/ou morais; e, na esfera criminal, à pena de reclusão e multa.

A Lei nº 6.938/81 estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente tendo como objetivo (Art. 2) a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, qualidade esta que propicia a vida. Para cumprimento de seus objetivos, foi criado o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), com a finalidade de assessorar, estudar e propor ao Conselho do Governo, diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente e os recursos naturais. E também, o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) órgão consultivo e deliberativo, responsável por elaborar resoluções, conforme descrito no art. 6º, inciso II da lei.

As resoluções do CONAMA que tratam do ruído ambiental são a Resolução nº 001 de 08/03/1990, a Resolução nº 002 de 08/03/1990 e a Resolução nº 252 de 01/02/1999. A Resolução nº 001 dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. Assim, todas as atividades geradoras de ruído devem seguir diretrizes vinculadas à Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e ao Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), para os ruídos produzidos pelos veículos automotores (BRASIL, 1990).

A Resolução nº 002 institui o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora, conhecido como Programa Silêncio. Tem como objetivos: promover cursos técnicos para capacitar pessoal e controlar problemas de poluição sonora; divulgar matéria educativa e conscientizadora dos efeitos prejudiciais à saúde, introduzir o tema "poluição sonora" nos cursos secundários da rede oficial e privada de ensino; incentivar a fabricação e uso de máquinas e equipamentos com menor intensidade de ruído; incentivar a capacitação dentro da política civil e militar para receber denúncias e tomar providências de combate à poluição sonora e estabelecer convênios, contratos e atividades afins com órgãos e entidades que, direta ou indiretamente, possa contribuir para o desenvolvimento do Programa Silêncio.

A Resolução nº 252 estabelece, para os veículos rodoviários automotores, inclusive veículos encaroçados, complementados e modificados, nacionais ou importados, limites máximos de ruído nas proximidades do escapamento, para fins de inspeção obrigatória e fiscalização de veículos em uso. Também há a Resolução do CONAMA nº 20 de 07/12/1994 que institui o Selo Ruído, de uso obrigatório, para aparelhos eletrodomésticos que geram ruído no seu funcionamento. Visto que, estudos comprovam que o ruído excessivo e sem quaisquer controles, causa prejuízo à saúde física e mental.

O “Estatuto da Cidade”, Lei nº 10.257 de 10/07/2001, veio para regulamentar os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, que tratam da Política Urbana, a qual atribui função social à propriedade urbana e à cidade. O equilíbrio ambiental encontra-se como fim desta política, tendo a poluição sonora incluída nesse contexto. Dentre as diretrizes da política urbana se destaca a ordenação e controle do uso do solo, indispensável para proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído, onde se concentram as principais fontes de poluição sonora.

Introduziu, também, o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) junto com o Estudo Prévio de Impacto Ambiental (EIA), que traz maior relevância a questões relacionadas à poluição sonora. No qual empreendimentos de grande porte e interferência urbana deverão elaborar o EIV para obtenção de licenciamento urbanístico e o EIA para o, ambiental. O estudo deverá contemplar os aspectos positivos e negativos do empreendimento, e apontar as alternativas para mitigar ou eliminar os impactos indesejados. O plano diretor é responsável por efetivar os instrumentos urbanísticos trazidos pelo estatuto, através do planejamento municipal e disciplinando o parcelamento, uso e ocupação do solo e zoneamento ambiental. Este também é utilizado pela NBR 10.151 (ABNT, 2019).

Os níveis de ruído considerados aceitáveis são determinados pelas normas: NBR 10.151 (ABNT, 2019): Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral e NBR 10.152 (ABNT, 2017): Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Esta estabelece os procedimentos técnicos aplicáveis para medições dos níveis de pressão sonora, determinação do nível sonoro representativo, e a avaliação sonora dos ambientes internos a partir da comparação dos resultados obtidos com os valores de referência indicados pela Norma.

A NBR 10.151 (ABNT, 2019) estabelece procedimentos para medição e avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes externos e internos às edificações; procedimento para avaliação de som total, específico e residual; procedimento para avaliação de som tonal,

impulsivo, intermitente e contínuo e limites de níveis de pressão sonora para ambientes externos às edificações, em função do período do dia e da finalidade de uso e ocupação do solo. Os valores máximos adotados pela norma NBR 10.151 (ABNT, 2019) para os níveis de pressão sonora equivalente ponderado em 'A' (RL_{Aeq}) para ambientes externos em função dos período-horário, estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 - Limites de níveis de pressão sonora em função dos tipos de áreas habitadas e do período

Tipos de áreas habitadas	Limites de níveis de pressão sonora - RL_{Aeq} (dB)	
	Período Diurno	Período Noturno
Área de residências rurais	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10.151 (ABNT, 2019)

A NBR 10.151 (ABNT, 2019) estabelece dois períodos ao longo do dia para avaliação de ruído, o diurno das 7 h às 22 h e o noturno das 22 h às 7 h. Esta distinção é feita, pois à noite, no horário normalmente dedicado ao descanso, os níveis de ruído são mais percebidos e prejudiciais. Já há uma tradução brasileira da IEC 61672 realizada pela ABNT das suas duas partes a NBR IEC 61672-1 (ABNT, 2021), sobre a construção do sonômetro, e a NBR IEC 61672-3 (ABNT, 2018) que é o certificado de calibração, realizado, em geral, por laboratórios da Rede Brasileira de Calibração (RBC), no âmbito da metrologia científica.

Além das normas já mencionadas, tem-se a NBR 15.575 (ABNT, 2021): Edificações habitacionais — Desempenho que estabelece critérios relativos ao desempenho acústico dos sistemas construtivos aplicados às edificações habitacionais. A mensuração do desempenho dos sistemas é definida por meio de requisitos (qualitativos), critérios (quantitativos ou premissas) e métodos de avaliação. Havendo requisitos acústicos para sistemas de pisos, de coberturas, vedações internas e externas e hidrossanitários. Assim, o desempenho acústico se torna um direito amparado no Código de Defesa do Consumidor e o desrespeito às normas elaboradas pela ABNT corresponde a uma infração legal sujeita a sanções (ZAJARKIEWICCH, 2010).

2.2.1.3. Âmbito estadual e municipal

No âmbito estadual, a Constituição do Estado de Sergipe de 1989, trata sobre o meio ambiente e recursos hídricos. Segundo esta, compete ao Estado (art. 7) proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas (SERGIPE, 1989). Para assegurar a efetividade do direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, incumbe ao Poder Público, com o auxílio das entidades privadas, entre outras medidas (art. 232): “buscar a integração das universidades, centros de pesquisa e associações civis, em particular as organizações sindicais, nos esforços para garantir e aprimorar o controle da poluição, inclusive no ambiente de trabalho” (SERGIPE, 1989, p. 134).

A Lei nº 2.181 de 12/10/78 cria, em Sergipe, a Administração Estadual do Meio Ambiente (ADEMA) responsável pela realização de ações voltadas para gestão ambiental (SERGIPE, 1978), juntamente com a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA).

No município de Aracaju, o Código de Proteção Ambiental, Lei nº 1.789 de 17/01/92, trata na Seção II sobre a poluição sonora. Proibindo ruído excessivos, independente de medição de nível sonoro, produzidos por anúncios ou propaganda a viva voz na via pública ou estabelecimentos comerciais; residências, apartamentos ou vilas por instrumentos musicais ou aparelhos de rádio e televisão ou ainda de viva voz de modo a incomodar a vizinhança provocando o desassossego, intranquilidade ou desconforto. Além disso, em locais para exploração profissional e comercial, onde se utilize instrumentos musicais, produtores e amplificadores de som ou ruído, que causem incômodo à vizinhança, não podem atingir, no exterior do recinto em que têm origem, nível de som superior a 60 dB(A) - das 07 às 22 horas e 50 dB(A) das 22:00 às 07:00 horas.

A Lei municipal nº 2.410 de 17/06/96 estabelece níveis máximos de ruído na ponderação ‘A’ permitidos às máquinas, motores, compressores e geradores estacionários de 55 dB, no período diurno das 7:00 h às 18:00 h e de 50 dB, no período noturno das 18:00 h às 7:00 h do dia seguinte, em quaisquer pontos a partir dos limites do imóvel onde se encontre a fonte emissora ou no ponto de maior nível de intensidade no recinto receptor. A fim de combater a poluição sonora.

O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Aracaju (PDDU), regulamentado pela Lei Complementar nº 42 de 04/10/2000, o qual atualmente passa por processo de revisão, apresenta dentre seus objetivos gerais: preservar e proteger o meio ambiente natural dentro do

território do município, observando-se sempre o que dispuser a legislação federal, estadual e municipal, priorizando a implantação da Agenda 21 local, com ênfase, no desenvolvimento autossustentável. Além disso, estão inclusas como usos incômodos, atividades geradoras de ruído em desacordo com a legislação pertinente, prescrito o Art. 163. As quais são classificadas pelo nível de incomodidade e deverão, obrigatoriamente, adotar medidas que as tornem compatíveis com o uso estabelecido no entorno.

O Código de Obras e Edificações de Aracaju, Lei Complementar nº 03/2010, tem como objetivo básico garantir níveis mínimos de qualidade nas edificações, através de exigência de padrões de segurança, conforto ambiental, adequação ao uso e durabilidade. Inclusive, o Art. 193 regulamenta que os compartimentos e ambientes deverão proporcionar conforto acústico, avaliado pela capacidade do elemento construtivo de atenuar ou reduzir transmissão de ruídos, obtido pela sua adequada utilização e adequado dimensionamento e emprego de materiais utilizados nas paredes, cobertura, pisos e aberturas.

2.2.2. Grandezas de avaliação aplicadas ao controle do ruído

Por meio da medição do ruído ambiental é possível obter valores consistentes para qualificar este ruído bem como estabelecer valores máximos para cada tipo de fonte geradora de ruído. Entretanto, esta não é uma tarefa simples devido à natureza complexa do ruído gerado por diferentes eventos e o respectivo incômodo causado ou a consequência deste a saúde humana (ANSAY, 2013).

A medição do ruído ambiental deve atender aos requisitos da norma nº 1996 (ISO, 2016, 2017) partes 1 e 2, e a NBR 10.151 (ABNT, 2019), as quais regulamentam métodos de avaliação e determinação dos níveis de pressão sonora, inclusive aos equipamentos utilizados e calibração dos mesmos. São utilizados alguns parâmetros estatísticos para facilitar a interpretação dos valores medidos, os mais empregados serão abordados a seguir e ajudarão na compreensão dos dados e resultados apresentados nesta dissertação.

2.2.2.1. Pressão Sonora e Nível de Pressão Sonora (L_p)

Por definição, som é qualquer vibração do ar (variação de pressão) que possa ser detectada pelo ouvido humano. O ouvido humano é sensível a uma larga faixa de intensidade sonora, desde o limiar da audição – a mínima intensidade sonora perceptível – até o limiar da dor, que corresponde à máxima intensidade suportável pelo ouvido médio. O limiar da dor corresponde a 1014 vezes a intensidade acústica capaz de causar a sensação de audição. Ante

tamanha variação numérica, torna-se inviável a adoção de uma escala linear para a medição da intensidade sonora, tendo sido adotada uma escala logarítmica.

Para a medição do som, foi adotada uma divisão de escala log 10, à qual se deu o nome de bel (B). Desse modo, 1 bel seria log 10; 2 bel = log 100; e assim por diante até 14 bel, que representa o limiar da dor (log 10¹⁴). No entanto, como o bel é uma unidade de escala muito grande para a adequada mensuração de variações de intensidade sonora, em geral usa-se o decibel (dB), que é um décimo de bel. Já o limiar da audição seria expresso como 0 dB (log 1). Assim, comprime-se uma escala de milhões de unidade em apenas 140 dB (MURGEL, 2007).

A unidade usual para medição de frequência é o hertz (Hz), que indica uma oscilação por segundo. Porém, o ouvido humano não é igualmente sensível a todas as frequências sonoras, sendo que os sons de frequência muito alta ou muito baixa são escutados em menor intensidade que os de média frequência, embora a pressão sonora seja igual (MURGEL, 2007). Assim, o nível de pressão sonora (NPS, ou L_p) é a medida física preferencial para caracterizar a sensação subjetiva da intensidade dos sons, sendo sempre calculado com o valor eficaz da pressão sonora, dado por:

$$NPS = L_p = 10 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)^2, \text{ (dB)}$$

Onde:

p é a pressão sonora em Pa;

p_0 a pressão sonora de referência, 20 µPa (20 x 10⁻⁶ N/m²), que corresponde ao limiar da audição na frequência de 1 kHz (BISTAFA, 2011).

A Figura 8 apresenta pressões sonoras e níveis de pressão sonora para sons do cotidiano, e as correspondentes sensações subjetivas de intensidade dos sons associados.

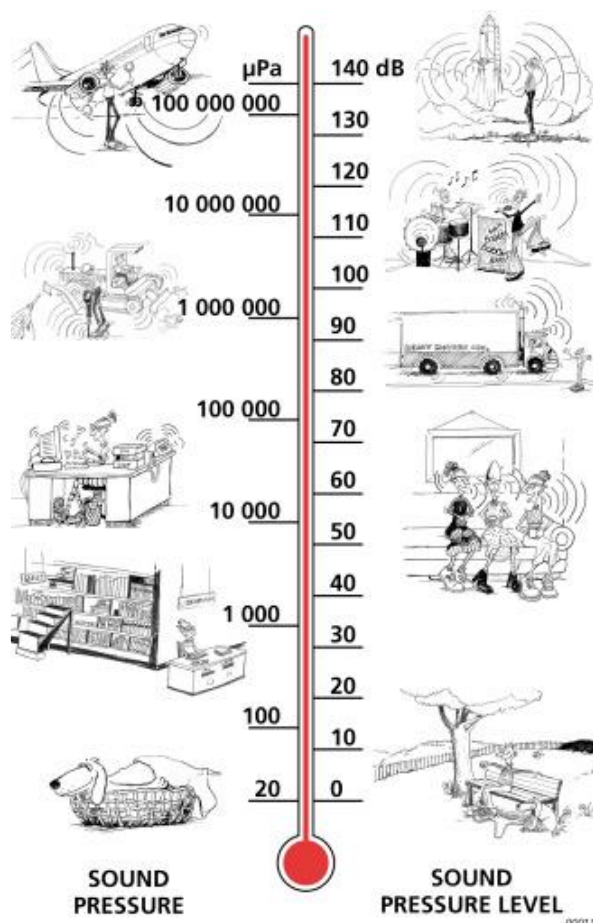


Figura 8 - Relação entre pressão sonora e nível de pressão sonora para diferentes sons
Fonte: Bruel & Kjaer (2000).

2.2.2.2. Potência Sonora e Nível de Potência Sonora (L_w)

O que caracteriza acusticamente uma fonte sonora é sua potência sonora e não a pressão sonora produzida pela fonte em determinado ponto do ambiente. A potência sonora, medida em Watts (W), indica a capacidade de uma fonte sonora em gerar som, sendo uma característica intrínseca da fonte sonora independente do meio de propagação (BISTAFA, 2011). O nível de potência sonora é dado por:

$$L_w = 10 \log \left(\frac{W}{W_0} \right), (\text{dB})$$

Onde:

w é a potência sonora real da fonte em Watts;

W_0 é a potência sonora de referência (10^{-12} Watts) (LICITRA, 2013).

2.2.2.3. Intensidade Sonora e Nível de Intensidade Sonora (L_i)

Intensidade sonora é um indicador da magnitude, direção e sentido de propagação da energia sonora. A intensidade sonora, sendo uma grandeza vetorial, fornece indicação do fluxo

de energia sonora ao longo do tempo que atravessa uma superfície, corresponde à média de energia que atravessa uma área unitária perpendicular à direção de propagação da onda sonora. O nível de intensidade sonora é dado por:

$$L_i = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right), \text{ (dB)}$$

Onde:

I é a intensidade sonora (W/m^2);

I_0 é a intensidade sonora de referência (10^{-12} W/m^2) (LICITRA, 2013).

2.2.2.4. Nível de Pressão Sonora Contínuo Equivalente (L_{eq})

Para registros de níveis sonoros é natural que se procure por um nível médio durante o período de registro. Uma forma de se calcular esse nível médio é através do denominado nível contínuo equivalente (L_{eq}). O qual constitui a integração do nível sonoro medido a cada fração de segundo, representando o ruído médio, ou seja, o nível sonoro que, se fosse contínuo, equivaleria ao ruído de fato medido, que sofre grandes oscilações. Calculado pela equação:

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_p(t)/10} dT \right] \text{ (dB)}$$

Onde:

T é o intervalo de tempo de registro.

Se ocorrer mais de uma medição no mesmo local para caracterizar a mesma fonte sonora, pode-se obter uma média logarítmica dos níveis de pressão sonora por meio da equação:

$$NPS_{média} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \left(10^{\frac{NPS_1}{10}} + 10^{\frac{NPS_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{NPS_n}{10}} \right) \right] \text{ (dB)}$$

Onde:

n = o número de medições do NPS em intervalos iguais de tempo.

2.2.2.5. Nível de Pressão Sonora Equivalente Ponderado em A (L_{Aeq})

O ouvido humano não é igualmente sensível a todas as frequências sonoras, sendo que os sons de frequência muito alta ou muito baixa são escutados em menor intensidade que os de média frequência, embora a pressão sonora seja igual. Por exemplo, um determinado nível sonoro de 40 dB a uma frequência de 100Hz não soa tão alto como 40 dB a 1.000 Hz. Então, a fim de mensurar subjetivamente a intensidade dos sons, foi criada uma grandeza psicoacústica,

chamada nível de audibilidade, relacionando o nível sonoro e a frequência do som. A unidade do nível de audibilidade é chamada de fone.

As curvas isofônicas possuem o mesmo nível de audibilidade para tons puros, ou seja, frequências isoladas. As curvas são rotuladas como 10, 20, 30, etc., sendo números que se referem aos correspondentes níveis sonoros em 1 kHz. Assim, a frequência de 1 kHz foi tomada como de referência (Figura 9). Ou seja, um tom puro com nível sonoro de 30 dB em 1.000 Hz gera um nível de audibilidade de 30 fones, que é o mesmo nível de audibilidade gerado por um tom puro com nível sonoro de aproximadamente 45 dB em 100. É importante notar a distinção entre fone e decibel: o decibel não é a unidade de medidas, como volt, ampère, metro, mas sim uma representação em escala logarítmica da razão entre dois números (nível de pressão sonora pela pressão sonora do nosso limiar auditivo), enquanto que o fone é a unidade de sensação auditiva (MEHTA; JOHNSON; ROCAFORT, 1999).

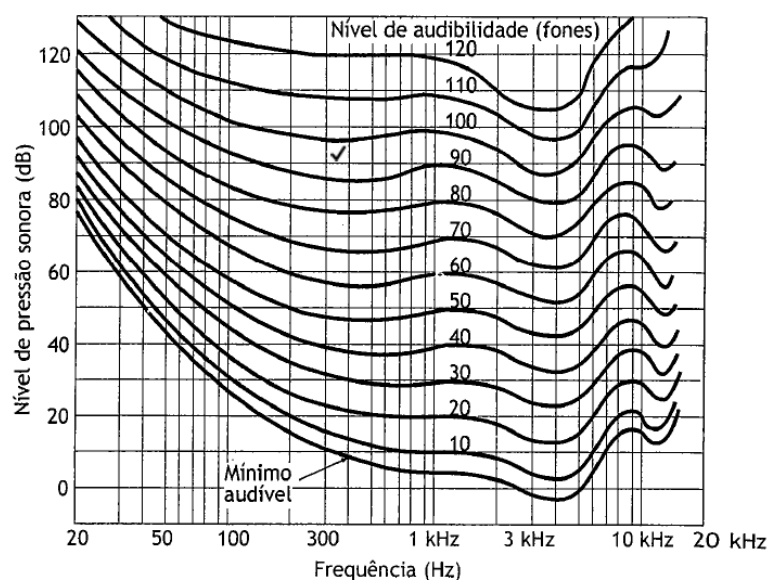


Figura 9 - Curvas isofônicas
Fonte: Bistafa (2011).

Diante da complexidade da percepção auditiva do ouvido humano, foram desenvolvidos filtros de ponderação para os medidores de NPS, utilizados para modificar o espectro sonoro de acordo com a resposta do sistema auditivo às diferentes frequências contidas no som (BISTAFA, 2011). Há quatro tipos: (A) - usada para ruído em comunidades; (B) - níveis médios (está em desuso); (C) - uso para altos NPS, como shows; e (D) - para ruído aeronáutico. Quando não há ponderação, considera-se o filtro (Z), o qual é a resposta linear do sonômetro utilizado.

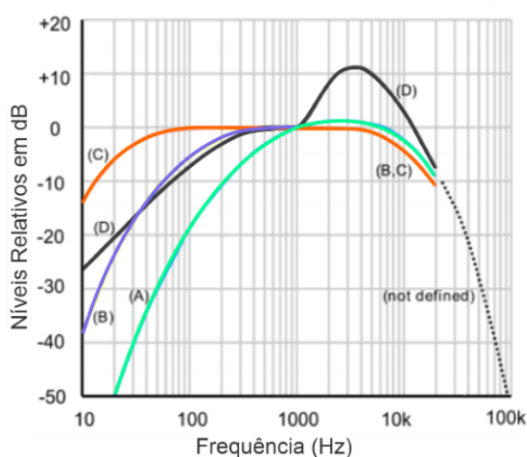


Figura 10 - Filtros de ponderação (A), (B), (C) e (D)

Fonte: Adaptada de Bistafa (2011).

Logo, para melhor caracterizar a audição humana, foi criada a curva de ponderação A, que reduz os sons em baixas e altas frequências, segundo a sensibilidade auditiva para sons com níveis sonoros “moderados”. Pode-se medir os descritores sem ponderação (Z), em bandas de frequência de oitava (1/1) ou em bandas de terço de oitava (1/3), e depois aplicar a ponderação desejada, utilizando uma soma aritmética da ponderação por banda (Figura 10). O nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderado em A e integrado em um intervalo de tempo T ($L_{Aeq,T}$) definido pela NBR 10.151 (ABNT, 2019) será utilizado para avaliação do ruído ambiental desta pesquisa.

2.2.2.6. Níveis Estatísticos

Pode-se também calcular ou obter por meio da medição a porcentagem do tempo que um determinado nível sonoro foi excedido durante o período de medição. Esses níveis sonoros são denominados níveis estatísticos ou de excedência. Os mais utilizados são:

- L_{10} : nível sonoro que foi excedido em 10% do tempo de medição;
- L_{50} : nível sonoro que foi excedido em 50% do tempo de medição;
- L_{90} : nível sonoro que foi excedido em 90% do tempo de medição.

2.2.2.7. Nível de Pressão Sonora Máximo ($L_{Amáx}$) e Nível de Pressão Sonora Mínimo ($L_{Amín}$)

O $L_{Amáx}$ é o nível máximo de ruído ponderado em A apurado durante a medição, levando em conta a constante de tempo de resposta selecionada no sonômetro (rápida, lenta ou impulsiva). Já o $L_{Amín}$ caracteriza o menor nível sonoro registrado ponderado em A, que ocorre

numa determinada posição, durante certo tempo. A Figura 11 exemplifica alguns descritores mencionados, esses parâmetros podem ser utilizados como estimativas do som residual e som total para ruídos com grande flutuação de nível. O som residual (ou ruído de fundo) é a média dos níveis de sons mínimos no local e hora considerados em uma medição, na ausência do ruído que está sendo avaliado (som específico).

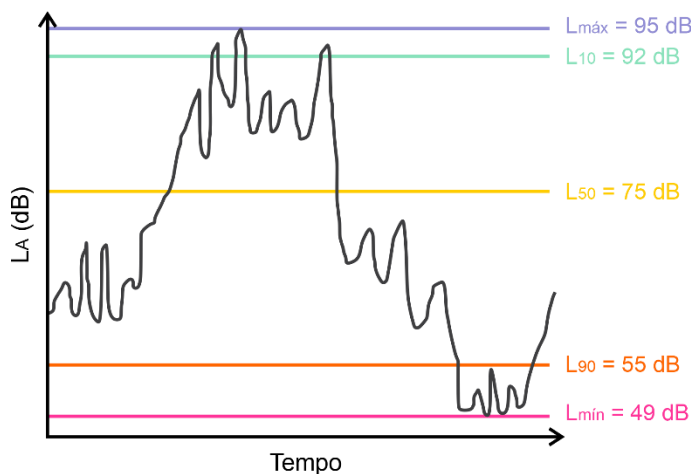


Figura 11 - Descritores acústicos
Fonte: Autora.

2.2.2.8. *Nível Sonoro Médio Dia-Noite (L_{dn})*

Muitos estudos destacam que o ruído em comunidade é mais incômodo durante o período noturno devido aos menores níveis de som residual nesses horários. De fato, a realização de poucas atividades domésticas durante a noite constitui um fator que reduz o ruído nesse período (WHO, 1999). O L_{dn} é uma grandeza para avaliação do ruído em comunidades, calculado como nível sonoro médio para o período de 24 horas ($L_{Aeq,24h}$) com acréscimo de 5dB ou 10 dB para o período noturno entre às 22:00 h e 7:00 h, levando em consideração o aumento do incômodo à noite. É determinado pela NBR 10.151 (ABNT, 2019), como:

$$L_{dn} = 10 \log_{10} \left(\frac{d}{24} \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + \frac{n}{24} \cdot 10^{\frac{L_n + \Delta}{10}} \right) \text{ (dB)}$$

Onde:

d é o número de horas do período diurno;

n é o número de horas do período noturno;

$d + n = 24$ h;

Δ é a diferença aritmética entre o RL_{Aeq} diurno e o RL_{Aeq} noturno, descritos na Tabela 2.

2.3. Mapeamento de ruído

Uma das ferramentas de identificação, controle e mitigação do ruído é o mapa sonoro, elaborado através de levantamentos e coletas de dados ou simulações de cenários acústicos que auxiliam no processo de entendimento e no planejamento de ações preventivas ou mitigadoras (GIUNTA; SOUZA; VIVIANI, 2013).

Também chamado de mapa de ruído ou carta acústica, o principal objetivo é a criação de uma representação visual do ruído ambiental de certa área geográfica, em determinado horário ou momento ao longo do dia. Representado por meio de curvas isofônicas com zonas que possuem o mesmo nível de pressão sonora, semelhantes às curvas de nível topográfico. Estas zonas podem ser separadas em trechos de decibels, no qual, em geral, os limites de cada curva são representados por cores padronizadas em trechos de 5dB de nível de pressão sonora (ISO nº 1996-2, 2017). A depender da escala de análise também pode ser adotada uma faixa de variação mínima de NPS a cada 3 dB, uma vez que também representa a incerteza de medição.

Os níveis de ruído podem ser obtidos por meio de medições pontuais em campo, estações de monitoramento contínuo (24 h) ou utilizando programas computacionais, podendo utilizar como dado de entrada os níveis de pressão sonora medidos. Durante o planejamento dos mapas acústicos, devem ser consideradas algumas questões, como: número, distribuição espacial e localização dos pontos de medição; dias, horários e duração das coletas dos dados acústicos, meteorológicos, geométricos e de fluxo de tráfego; além da configuração e posicionamento dos equipamentos (NAGEM, 2004).

A localização e o número de posições de medição dependerão das características do ambiente em consideração. Os locais das medições podem ter distâncias aproximadamente iguais entre si, sendo utilizadas as interseções de uma grade de linhas, por exemplo, e contornos de níveis de ruído iguais podem ser gerados pela interpolação entre estes pontos (ISO 1996-2, 2017).

O uso do mapa de ruído vem sendo discutido com mais ênfase pela Comunidade Europeia, através de uma política ambiental (DIRETIVA EUROPEIA 2002/49/EC, 2002), a qual implementou o mapeamento de ruído como uma ferramenta importante no planejamento urbano. A Diretiva Europeia 2002/49/EC possui três partes principais: o mapeamento de ruído (obrigatório para cidades acima de 250 mil habitantes); um programa de ações e metas para combate à poluição sonora e um sistema de informação ao público.

Além dos mapas sonoros, apresentam-se os mapas de conflito, que associam a classificação de zonas sensíveis e mistas aos níveis sonoros. Ambos os mapas podem ser utilizados para diversos fins, como: identificar as principais fontes de ruído urbano; demonstrar o ruído que atinge as fachadas das edificações no meio urbano; servir de base para a elaboração de políticas públicas de controle de ruído considerando o custo $\times$ benefício das ações; garantir a existência de áreas tranquilas próximas aos centros urbanos; monitorar o processo de redução de ruído durante a implantação de políticas públicas; monitorar as alterações no padrão acústico das cidades; e servir de base para estudos do efeito do ruído na população em geral (APA, 2011; BRASILEIRO-MENESES, 2021).

Dentre os mapas de ruído elaborados internacionalmente, destacam-se os desenvolvidos nas seguintes cidades: Paris, na França; Berlim, na Alemanha; Guimarães e Lisboa, em Portugal; Londres, na Inglaterra; Tianjin e Hong Kong, na China. Nos Estados Unidos, o Departamento de Transportes (*Bureau of Transportation Statistics* – BTS) iniciou uma cartografia nacional de ruído dos transportes multimodais para acompanhar as tendências dos níveis de ruído, uma vez que é crescente a demanda de transportes e a população dos EUA deverá crescer mais de 100 milhões até 2050. Já há mapas de ruído rodoviário, aéreo e ferroviário, cujas informações são georreferenciadas (USDT, 2017).

Na América do Sul, há algumas políticas de mapeamento sonoro municipais como em Santiago, no Chile; Bogotá, na Colômbia; Quito, no Equador e Buenos Aires, na Argentina. A primeira cidade mapeada no Brasil foi Belém, no Pará, em 2002 (MORAES *et al.*, 2007); a segunda foi Fortaleza, no Ceará, em 2009, e a terceira foi Natal, no Rio Grande do Norte, em 2018 (FLORÊNCIO, 2018). Em São Paulo, está em implementação o Mapa de Ruído Urbano da cidade com prazo de desenvolvimento até 2023, legitimado pela Lei nº 16.499 Mapa de Ruído Urbano, de 21/07/2016, que define a obrigatoriedade, com estabelecimento de prazos e metas, da elaboração do mapa sonoro de toda a cidade de São Paulo (SÃO PAULO, 2016). Recentemente, no Rio de Janeiro foi aprovada a Lei nº 7.479 de 27/07/2022, que obriga o Poder Executivo a elaborar o Mapa de Ruído Urbano da cidade do Rio de Janeiro em até cinco anos (RIO DE JANEIRO, 2022).

Ainda nesta temática de mapeamento acústico, no Brasil, existem algumas iniciativas de pesquisas acadêmicas em cidades como João Pessoa, na Paraíba (BRASILEIRO-MENESES, 2021), Natal (CORTÊS, 2013), Florianópolis (NARDI, 2008), Belém (MORAES *et al.*, 2003), Rio de Janeiro (PINTO; MARDONES, 2009), Sorocaba (COSTA; LOURENÇO, 2010), Bauru (SOUZA; GIUNTA, 2011), Curitiba (CANTIERI *et al.*, 2010), Maceió

(FIRMINO; ALMEIDA; OITICICA, 2016), Aracaju (GUEDES, 2005; GUEDES; BERTOLI, 2014), entre outras. Brasileiro, *et al.* (2019) realizaram um levantamento dos mapas elaborados no Brasil coletados nas bases de pesquisas nacionais (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações — BDTD e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — CAPES), nos anais de eventos de conforto ambiental e acústica, e nos sites das prefeituras e secretarias de estado. A Figura 12 é o mapa da espacialização dos mapas sonoros nacionais em diferentes escalas de análise.

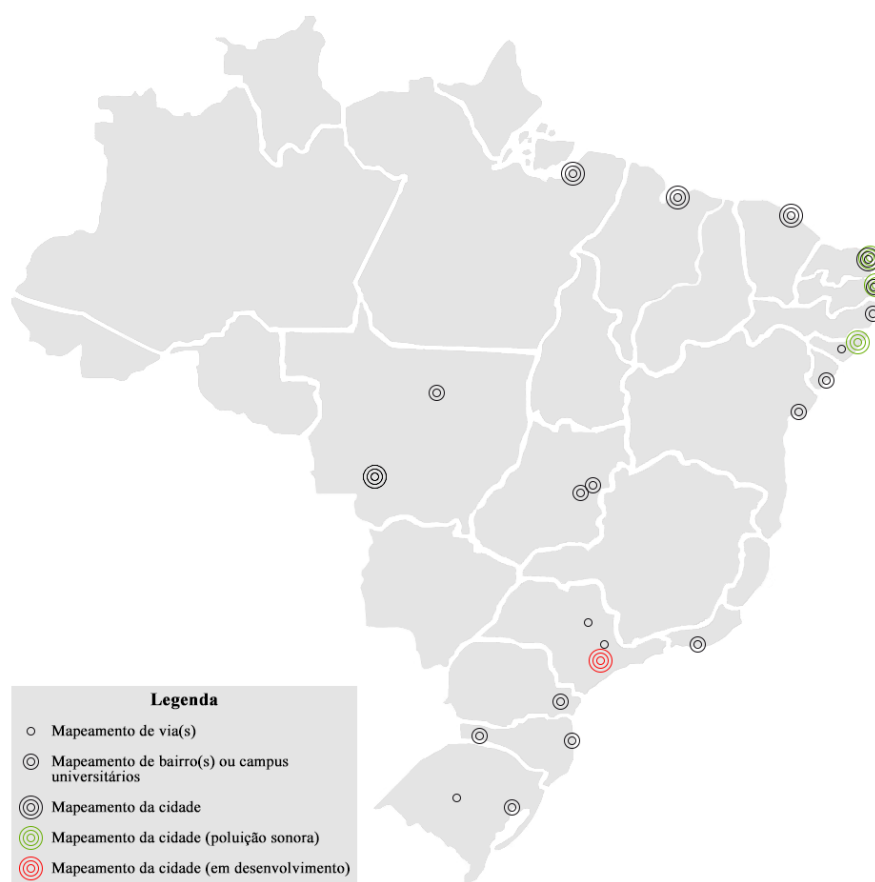


Figura 12 - Mapa da espacialização dos mapas sonoros nacionais
Fonte: Brasileiro *et al.* (2019).

2.4. Predição de ruído

A simulação ou predição de ruído é utilizada para avaliação de um cenário acústico atual ou, futuro, podendo ser realizada por meio de expressões matemáticas, nomogramas ou, em situações mais complexas com uso de programas computacionais. É necessário inserir dados importantes, como: fluxo de veículos, características geométricas das vias, correções devido à inclinação da pista, velocidade média real dos veículos, porcentagem de veículos pesados, dentre outros (GUEDES, 2005). Além disso, a análise pode ser feita considerando apenas uma

principal fonte de ruído que gera incômodos à vizinhança, como por exemplo ruído de tráfego veicular, indústria, etc.

As vantagens de utilizar a predição acústica como metodologia de avaliação acústica é a obtenção de informações detalhadas das principais fontes sonoras, possibilidades de análise em um número maior de pontos, sem interrupção de condições meteorológicas adversas, avaliação em situações hipotéticas e sem interferência do ruído de fundo (GUEDES, 2005).

Conforme Bruel & Kjaer (2000), o cálculo é preferível e pode ser o único método possível de realizar a predição acústica, não só, quando os níveis a serem medidos se encontrarem mascarados por ruído de fundo elevado – por exemplo, quando a determinação do ruído de uma instalação industrial em proximidades de uma estrada movimentada. Mas também, sempre que os níveis futuros precisam ser previstos; necessite de cenários comparativos de redução de ruído; no momento em que os mapas de ruído de contorno precisam ser produzidos e quando não há acesso à medição. Há alguns *softwares* presentes no mercado, como: Predictor Lima (Brüel & Kjær), Mithra (01 dB), SoundPLAN (Braunstein + Berndt GmbH), Cadna-A (DataKustik), IMMI (Wölfel, GMBH), iNoise (DGMR Software).

Estes *softwares* já possuem em seu diretório diversos métodos de cálculo de propagação de ruído ao ar livre específicos para cada tipo de fonte sonora, que classificam diferentes tipologias de veículos e pavimentação de vias. A Norma Alemã RLS-90, criada em 1990, (DER BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR, 1990) é utilizada para ruído de tráfego rodoviário e classifica os veículos em leves com peso inferior às 2,80 toneladas, a exemplo dos automóveis e das caminhonetas, e em veículos pesados que possuem peso acima de 2,80 toneladas, como os caminhões, ônibus e micro-ônibus. A velocidade considerada no cálculo é máxima permitida pela via e não considera as alterações na aceleração. Os revestimentos são diferenciados em 9 tipologias.

O *Common Noise Assessment Methods in Europe* (CNOSSOS-EU) é uma metodologia criada em 2012, para elaboração de mapas de ruído na Europa. Neste método, os veículos são divididos em 4 categorias: veículos leves, veículos médios, veículos pesados e veículos de duas rodas. A velocidade considerada no cálculo de emissão de ruído da via é a velocidade média. Além disso, os efeitos de aceleração e desaceleração são estimados quando há semáforos, por exemplo, e possui uma biblioteca com 15 tipos de pavimentações diferentes.

Já as normas NMPB-96 e NMPB-08 dividem os veículos em apenas duas categorias, leves e pesados, semelhante a RLS-90. A velocidade utilizada também é máxima, mas neste

caso, as acelerações e desacelerações devido à presença de cruzamentos são consideradas. Existem duas NMPBs, sendo uma delas de 1996 e a outra de 2008. A primeira buscava abranger a realidade Europeia, e a última fixou seus dados de entrada a realidade francesa. Mesmo com enfoques diferentes, a diferença ocorreu apenas na tipologia de pavimentos, sendo reduzido de 5 para 3 tipos diferentes.

Conforme estudo realizado por Pozzer; Pierrard; Holtz (2018) sobre qual metodologia melhor se enquadra às características brasileiras em relação à simulação do ruído de tráfego rodoviário em grandes cidades, observou-se que dentre os 4 métodos de cálculo citados acima, os resultados com o CNOSSOS foram os mais próximos à realidade. A RLS-90 e a NMPB-96 se distanciaram mais dos dados medidos. Além disso, a melhor representação do modelo ocorre sem o uso de semáforos e utilizando a velocidade média, ao invés da velocidade máxima da via. Apesar que a diferença de variação corresponde a 1 dB, não gerando grandes interferências.

Dentre os *softwares* acústicos disponíveis no mercado, qualquer programa que atenda aos requisitos da NBR ISO 17.534-1 (ABNT, 2022) e consequentemente da sua versão original em inglês é confiável para realização de predição acústica. O Cadna-A é um *software* acústico consolidado da empresa DataKustik e utilizado para avaliação, predição e representação do impacto sonoro no meio ambiente. Possui diversas tipologias de fonte de ruído (pontual, móvel, de área), visualização em 3D, e elementos que interferem na sua propagação, como edificações, barreiras, semáforos, vegetação densa, dentre outras opções. A versão utilizada foi Cadna-A Basic BMP 4.4.145, licenciado através da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFAL, a qual possui diversos os tipos de fonte de ruído (industrial, rodoviário e ferroviário) e uma norma de cálculo para cada tipologia de ruído.

2.5. Cálculo da população exposta

O mapa de ruído também pode auxiliar a estimar a exposição ao ruído da população no recorte de estudo. A União Europeia desenvolveu um método de cálculo para avaliar a exposição da população com base nos níveis de ruído mais elevados, aos quais as fachadas estão expostas de todos os edifícios residenciais. Com base na Diretiva da Comissão Europeia 96 L 168 (EU, 2015) foram estabelecidos métodos comuns de avaliação de ruído de acordo com a Diretiva 2002/49/CE que determinava a criação de mapas estratégicos de ruído, a estimativa de pessoas expostas ao ruído ambiental e elaboração de planos de ação contra o ruído. Assim, para avaliação da população exposta ao ruído há dois procedimentos de acordo com a disponibilidade de dados demográficos.

No Caso 1 utilizado quando o número de habitantes está disponível, há duas opções. No 1A o número de residentes é conhecido ou foi estimado com base nas unidades habitacionais. Neste caso, o número de residentes de uma edificação ($Nh_{edificação}$) é o somatório do número de habitantes de todas as unidades habitacionais do edifício. Dada pela equação:

$$Nh_{edificação} = \sum_{i=1}^n Nh_{residência_{unidade_i}}$$

No 1B o número de habitantes é conhecido apenas para entidades maiores do que um edifício, por exemplo, quadras, bairros, zonas da cidade, ou mesmo um município inteiro. Neste caso, o número de habitantes de um edifício é estimado com base no volume do edifício:

$$Nh_{edificação} = \frac{V_{edificação}}{V_{total}} \times Nh_{total}$$

O índice "total" se refere à respectiva entidade considerada:

Nh_{total} é a população total estimada da área de estudo;

V_{total} é volume de todas edificações residenciais da área de estudo. O volume do edifício ($V_{edificação}$) é o produto de sua área de base e de sua altura.

Se a altura do edifício não for conhecida, deve ser estimada com base no número de andares, assumindo uma altura média de 3 m por andar. Alguns trabalhos estimaram do número de residentes através deste método 1B, conforme a Diretiva 996 (EU, 2015) apresentada acima. O ruído de tráfego rodoviário e a população exposta da região metropolitana de Dublin, na Irlanda, foram analisados por Faulkner; Murphy (2022). Os quais utilizaram o método de cálculo CNOSSOS-EU e estimaram a população exposta por meio do volume das habitações. Também foi avaliado o método de cálculo foi da CRTN-TRL e cálculo dos habitantes por edifício foi estimado utilizando os critérios de população média por edifício, metodologias utilizadas pelas autoridades irlandesas com base em dados de recenseamento. Os modelos de cálculo do ruído foram realizados utilizando Predictor-LimA versão 2020.1.

Em Brasília-DF Garavelli *et al.* (2021) avaliaram o impacto acústico do tráfego rodoviário sobre a população do Plano Piloto de Brasília, primeira Região Administrativa do Distrito Federal. Com base na Diretiva Europeia 2002/49/EC também obtiverem as relações dose-resposta para estimativa de ruído associado ao incômodo (%PI e %PAI) associado ao parâmetro L_{den} e percentuais dos moradores que apresentam distúrbios no sono (%PDS) e com o sono altamente perturbado (%PSAP) com o L_n . Para determinar a população exposta por faixa

de NPS foram selecionados os dados do Censo Demográfico 2010; a população foi associada aos setores censitários através do *software* de geoprocessamento ArcGIS. Os moradores foram distribuídos pelos edifícios proporcionalmente ao número de andares e a área do edifício. A porção das fachadas atingidas por cada faixa de NPS determinou os percentuais da exposição da população ao ruído rodoviário.

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) estabeleceu uma metodologia de cálculo para obter as estimativas da população exposta, seguindo quatro passos. O primeiro é a obtenção do L_{den} e L_n para cada tipo de ruído investigado, o segundo subtrair 3 dB(A) para obter o nível sonoro incidente no edifício habitacional; o terceiro considerar o nível mais elevado intersectado pela fachada para todo o edifício e quarto distribuir os dados da população residente por subseção estatística proporcionalmente ao volume de cada edifício (APA, 2011).

Garavelli *et al.* (2018) também adotaram a metodologia indicada pela APA utilizando o volume dos domicílios para o cálculo da quantidade de pessoas expostas ao ruído na região administrativa de Águas Claras no Distrito Federal. Considerando o maior nível sonoro ao que a edificação está exposta, ou seja, o nível sonoro mais elevado a qual a fachada foi atingida. O ArcGIS foi utilizado para esta avaliação. Suriano, de Souza, da Silva (2015) analisaram a população exposta ao ruído numa região da cidade de São Carlos – SP margeada por vias de fluxo intenso de veículos com uso do solo misto. A fim de identificar quadras prioritárias para ações de mitigação ao ruído. A população foi determinada por quadra, tendo como base de cálculo os setores censitários estabelecidos pelo IBGE. Assim, o número de pessoas potencialmente expostas ao ruído por quadra foi definido pela razão entre área construída da quadra específica pela área total construída de cada setor censitário, multiplicada pelo o número de pessoas existente em cada setor censitário.

No centro da cidade de Guimarães em Portugal, Freitas, Silva, Vuye (2019) avaliaram a influência da degradação da pavimentação na população exposta ao ruído veicular. A medição e simulação do ruído seguiram as orientações das diretivas europeias e da APA. O mapa de ruído foi gerado no Cadna-A V. 2018, método de cálculo de ruído rodoviário NMPB-96. Os dados populacionais foram obtidos do Censo 2011 e foram georreferenciados à menor unidade geográfica espacial disponível – a zona de recenseamento. Os dados populacionais foram distribuídos uniformemente nos blocos residenciais em uma plataforma SIG (Sistema de Informações Geográficas). Para o cálculo dos níveis de ruído relevantes, aos quais a população está exposta, foram consideradas três hipóteses relativas à degradação da estrada: 0%, 50%, e 100%.

Brasileiro-Menezes (2021) baseou-se nas diretrizes propostas pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2011), adaptando-as ao contexto brasileiro. No qual, após obter o quantitativo de moradores por domicílio através do Censo Demográfico (IBGE) das áreas de análise; identificou as edificações residenciais multifamiliares para definir o número de moradores destas edificações; calculou a área do pavimento de cada edificação multifamiliar para encontrar o número de domicílios por andar e definiu o padrão de 75 m² por unidade habitacional; multiplicou o número de domicílio por pavimento pela quantidade total de pavimentos da edificação para obter o número total de domicílios para o uso multifamiliar. Logo em seguida, multiplicou o quantitativo de residentes pelo número total de apartamentos por edifício multifamiliar e, por fim, distribuiu a população pelas edificações habitacionais proporcionalmente ao volume de cada edifício. Esses dados foram inseridos no *software* de georreferenciamento QGIS.

2.6. Revisão sistemática da literatura

Nesta sessão será apresentada uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), acerca da metodologia adotada em pesquisas brasileiras de mapeamento de ruído, a fim de contribuir com a definição da metodologia desta dissertação. A RSL é uma modalidade de pesquisa pautada em um rigor metodológico, aliado a um fluxo de etapas, as quais pretendem produzir uma avaliação crítica sobre determinado tema. Este produto é viabilizado por meio de critérios objetivos e reproduzíveis de seleção e qualificação da amostra da pesquisa. A RSL se caracteriza por ser uma investigação focada em uma questão bem definida, em busca de identificar, selecionar, avaliar e sintetizar as evidências relevantes sobre um dado tema. Esta pesquisa foi classificada como RSL com meta-análise, pois analisa os estudos que seguem o mesmo desenho de pesquisa quantitativa, ou seja, o mapeamento de ruído (GALVÃO; RICARTE, 2019).

Foi utilizada a estratégia PICO para estabelecer a questão motivadora da busca bibliográfica de evidências, o qual representa um acrônimo para Paciente/Problema, Intervenção, Comparação e “*Outcomes*” (desfecho), bastante utilizada pela Prática Baseada em Evidências (PBE) na área da saúde (SANTOS; PIMENTA; NOBRE, 2007). Procurou-se responder à seguinte questão: Qual a metodologia adotada para caracterizar o ruído de tráfego em mapas de ruído urbano por pesquisas desenvolvidas no Brasil? Tendo em vista que não há uma legislação nacional que regulamente o desenvolvimento de mapas de ruído urbano, nem um método de cálculo de ruído rodoviário que considere os veículos comumente utilizados no Brasil. Além disso, a definição do método é essencial para simulação em *software* acústico.

De posse da questão motivadora, foram realizados alguns testes para definição dos termos de busca, formulando a *string* (“*noise map**” OR “*acoustic map**” OR “*sound map**” OR “*urban noise*”) AND *Brazil*, limitando as buscas a títulos, resumos e palavras-chave. Não foi inserido o termo “*traffic noise*”, pois acabou restringindo a busca aos artigos que tinham como objetivo avaliar o ruído de tráfego de veículos, eliminando os artigos que analisaram outras fontes, mas inseriram o ruído de tráfego rodoviário na simulação como som residual integrante da paisagem sonora do entorno. Foi adicionado o termo “*urban noise*”, pois era comum seu uso em alguns trabalhos mais antigos que elaboraram mapa de ruído. Além disso, devido à variação de uso de termos para designar o mapa sonoro, podendo ser chamado de: mapa de ruído, mapa sonoro, mapa acústico e carta sonora; optou por inserir os termos mais utilizados.

O referencial utilizado neste estudo foi baseado em pesquisas realizadas em duas bases de dados, indexadas no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/MEC, cujo acesso é disponibilizado aos acadêmicos através da parceria entre a CAPES e a Universidade Federal de Alagoas – UFAL. As bases científicas de busca selecionadas foram *Scopus (Elsevier)* e *Web of Science* por serem relevantes para as ciências sociais aplicadas, nos resultados obtidos foram analisados apenas os “artigos” e “artigos de revisão”. As buscas foram realizadas no mês de dezembro de 2022, e não houve recorte temporal, computando desde os primeiros artigos que utilizaram além da medição, também a simulação do ruído de tráfego rodoviário através de *software* acústico.

Na base *Scopus* foram obtidos 84 documentos indexados, destes, 5 capítulos de livro foram excluídos (6%) mantendo 79 artigos (50 artigos de revista e 29 artigos de congresso). Já a base *Web of Science* identificou 92 publicações, das quais apenas um resumo de reunião foi desconsiderado, houve o predomínio de artigos de revista com 76 documentos (83%) e 16 artigos de congresso. Estes 171 arquivos foram importados para o gerenciador de referências *Mendeley* para exclusão dos documentos repetidos, avaliação e organização dos dados.

Após a eliminação de 39 artigos duplicados, chegou-se a 132 publicações, desta seleção foram analisados o título e o resumo, mantendo apenas os que estivessem relacionados ao mapeamento acústico urbano com simulação do ruído rodoviário em *software* acústico, dos quais 94 fugiram do tema. Logo, apenas em 38 publicações estavam alinhadas ao objetivo da RLS e foi analisada a sua metodologia, porém devido à falta de acesso ao documento completo, 9 artigos foram analisados apenas pelo texto do resumo. Também foi adicionado 1 artigo que não estava nas bases de busca, mas continha um dos termos da *string*.

No Quadro 1 foram reunidos alguns dados metodológicos de elaboração do mapa de ruído, uma vez que a definição de alguns parâmetros pode variar a depender do objetivo da medição e do tipo de fonte. Aspectos relacionados à etapa anterior à criação da simulação acústica em *software* foram evidenciados, como o tempo de medição e a localização dos pontos e o horário dos registros. Uma vez que se deve priorizar a medição durante 24 h e não há tempo fixo mínimo para avaliação do ruído de tráfego rodoviário, conforme NBR 10151 (ABNT, 2019), e a localização dos pontos interfere na existência de incertezas de medição que podem interferir e descaracterizar a fonte sonora, como a existência de buzinas que, em geral, são mais acionadas em cruzamentos entre vias do que ao longo da quadra. Além disso, os métodos de cálculo de predição acústica se baseiam em condições de fluxo veicular contínuo, evitando a frenagem e reaceleração dos mesmos.

Referência	Periódico ou evento	Local e Escala de análise	Dados de Medição (tempo, local e horário)	Dados de Simulação e Validação	Análise qualitativa ou pop. exposta
Pinto; Mardones (2009)	Environmental Monitoring and Assessment Journal	Rio de Janeiro (RJ) Bairro e Quadras	5 min Nos cruzamentos das vias Manhã, tarde e noite	Cadna-A RLS-90 H = 4 e 1,5 m +2,4 dB	Não
Brito; Coelho (2010)	20th International Congress on Acoustics (ICA 2010)	Fortaleza (CE) Quadras (entorno do evento)	Monitoramento contínuo Ao longo da quadra Às 19h (tráfego)	Cadna-A Inserção de dados	Não
Guedes; Bertoli; Zannin (2011)	Science of the Total Environment Journal	Aracaju (SE) Rua	30 s Ao longo da rua e 1 perto de semáforo Às 12-13h e 18-19h	SoundPLAN RLS-90 H = 1,5 m Grids = 10x10 e 5x5 m +3,1 dB	Não
Zannin; Sant'Ana (2011)	Applied Acoustics Journal	Curitiba (PR) Rua	3 min Ao longo da via Entre picos	Predictor ISO 9613-1/2 Road -4,7 dB	Não
Zannin; Engel; Fiedler; Bunn (2013)	Cities Journal	Curitiba (PR) Campus	3 min Ao longo da via e próximo a fachadas Às 13:30-17h	Predictor ISO 9613-1/2 Road H = 4 m Grid = 5x5 m -4,2 dB	Questionário (389 usuários)
Guedes; Bertoli (2014)	PARC - Pesquisa em Arquitetura e Construção	Aracaju (SE) Rua	Tempo variável Ao longo da via	Predictor ISO 9613-1/2 Road H = 1,2 m Grids = 10x10	Não

Continua...

Continuação...

			Às 9:20-12:10 h e 15:10-16 h	e 5x5 m +4,7 dB	
Szeremeta; Zannin (2015)	Revista RA'EGA - O Espaço Geográfico em Análise	Curitiba (PR) Parque	15 min Ao longo da via Às 17-19h	Predictor	Questionário (328 usuários)
De Souza Filho; Steffen; Andreasi; Zannin (2015)	Canadian Acoustics Journal	Campo Grande (MS) Quadras	10 min Ao longo das quadras Às 06-18h	Predictor ISO 9613-1/2 Road +4,8 dB	Não
Suriano; de Souza; da Silva (2015)	Revista Ciência e Saúde Coletiva	São Carlos (SP) Quadras	Ao longo das quadras Às 07-08h e 17:30-18:30h	Cadna-A NMPB-08	População exposta
Bunn; Zannin (2015)	Noise Control Engineering Journal	Curitiba (PR) Rua	10 min Ao longo da via Entre picos	Predictor ISO 9613-1/2 Road H = 4 m Grid = 10x10 m +/- 3 dB	Não
Fiedler; Zannin (2015a)	Environmental Impact Assessment Review	Curitiba (PR) Quadras	10 min Ao longo da via Diurno (7-19 h)	Predictor H = 4 m Grids = 10x10 e 2x2 m -4,5 dB	Não
Fiedler; Zannin (2015b)	Journal of Scientific and Industrial Research	Curitiba (PR) Rua	10 min Ao longo da via	Predictor H = 4 m Grid = 15x15 m	Não
Belderrain; Giunta; Vaidotas; Montemurro (2015)	44th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2015)	São Paulo (SP) Rua	10 a 15 min Ao longo da via Manhã, tarde e noite	Cadna-A RLS-90 H = 1,5 m Refl. = 2 R Máx. = 100 m	Não
Bunn; Filho; Zannin (2016)	Revista RA'EGA - O Espaço Geográfico em Análise	Curitiba (PR) Rua	15 min Ao longo da via Diurno (07-19 h)	Predictor RLS-90 H = 4 m Grid = 20x20 m +/- 4,6 dB	Não
Brito (2017)	Revista Engenharia Sanitária e Ambiental	Campos do Jordão (SP) Quadras	15 min Em cruzamentos e ao longo da quadra Manhã e tarde	SoundPL AN	Não

Continua...

Continuação...

Prange; Torres (2017)	International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development	Niterói (RJ) Bairro	20 min Ao longo da quadra Diurno (10-17h)	Cadna-A RLS-90 +3 dB	Não
Junior; Filho; Mota; Peixoto; Brito (2018)	Canadian Acoustics Journal	Fortaleza (CE) Quadras	15 min Ao longo da quadra e fachadas da escola Às 09-10:30 h e 14-16h	Cadna-A RLS-90 +3,2 dB	Questionário e entrevista (7 professores)
Zannin; do Nascimento; da Paz; do Valle (2018)	Environments Journal	Curitiba (PR) Rua	Ao longo da via Diurno (07-19 h)	SoundPLAN + 3,3 dB	Não (análise com Redes Neurais Artificiais)
Magioli; Torres (2018)	Revista Brasileira De Gestão Urbana (URBE)	Rio de Janeiro (RJ) Campus	20 min Ao longo da via e próximo a fachadas Picos (Diurno)	Cadna-A NMPB-96 + 4 dB	Não
Paiva; Cardoso; Zannin (2019)	Science of the Total Environment Journal	São Paulo (SP) Bairro	15 min Ao longo da quadra Diurno	Predictor ISO 9613 1/2 Road H = 4 m Grid = 5x5 m + 3,5 dB	Questionário (225 usuários) amostra probabilística
Xavier Rego; Caruso; Holtz; Carniel (2019)	Proceedings of the International Congress on Acoustics	Osasco (SP) Rua	10 a 15 min Ao longo da via e em cruzamentos Às 10-12h e 00-02h	Cadna-A NMPB-08 H = 4 m Grid = 10x10 m Refl. = 2 PWL	Soundwalk e questionário (5 usuários)
Vieira; Barbosa; Araujo; Brasileiro; Alves (2019)	48th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2019)	Natal (RN) Rua	10 min Ao longo da quadra Às 17-18 h	SoundPLAN RLS-90	Questionário (56 usuários)
Alves; Meneses; Florêncio; de Araújo;	International Congress on Noise Control Engineering	Natal (RN), Macaíba (RN) e	10 min Ao longo da via Diurno (7-22 h)	SoundPLAN RLS-90 H = 4 m Grids = 20x20 e 5x5 m Refl. = 1	Não

Continua...

Continuação...

de Araújo (2020)	(INTER-NOISE 2020)	Santa Rita (PB) Rua			
Wunderlich; Holtz; Pierrard (2020)	International Congress on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2020)	São Paulo (SP) Bairro	15 min Ao longo da quadra Diurno e noturno	Cadna-A CNOSSOS Refl. = 1	Não
Oitica; Oliveira; da Silva; Martins; Gonçalves; Costa (2020)	International Congress on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2020)	Maceió (AL) Bairros	Diurno	Cadna-A	Percepção sonora
Brasileiro-Meneses; Araújo; Araújo; Pinto; Moraes; de Araújo (2020)	International Congress on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2020)	João Pessoa (PB) Bairros e quadras	10 min Em cruzamentos Às 7-8 h	SoundPLAN +/- 2 dB	Não
do Nascimento; de Oliveira; de Oliveira; Zannin (2021)	Applied Acoustics Journal	Goiânia (GO) Quadras	15 min Ao longo da quadra Diurno (7-19 h)	Predictor RMV-SRM2 (holandês) H = 4 m Grid = 5x5 m 4,5 dB	Não
Gevú; Carvalho; Fagerlande; Niemeyer; Cortês; Torres (2021)	Noise Mapping Journal	Rio de Janeiro (RJ) Quadras	5 min Ao longo da quadra Diurno	Predictor ISO 9613 1/2 Road Grid = 20x20 m +1,9 dB	Não
Wosniacki; Zannin (2021)	Science of the Total Environment Journal	Ponta Grossa (PR) Bairro	15 min Ao longo da quadra e em cruzamentos Manhã, tarde e noite	Cadna-A CNOSSOS H = 4 m Grid = 10x10 m +/-2 dB	Não
de Oliveira; Oitica; Miranda (2021)	Revista Brasileira De Gestão Urbana (URBE)	Maceió (AL) Quadras	5 min Em cruzamentos e em fachadas das igrejas Às 10-15 e 18-22 h	Cadna-A H = 1,20m Grid = 1x2 m Refl. = 1 RLS-90	Questionário (50 moradores)

Quadro 1 - Artigos com mapeamento de ruído no Brasil

Fonte: A autora

Alguns dos trabalhos reunidos no Quadro 1 com escala semelhante à adotada nesta dissertação serão descritos abaixo.

Pinto, Mardones (2009) elaboraram o mapa de ruído do bairro Copacabana no Rio de Janeiro-RJ com o *software* Cadna-A, tendo como objetivo avaliar os níveis de ruído e quantificar a influência dos aspectos arquitetônicos. O método de cálculo utilizado foi baseado em normas alemãs, portanto, se supõe que foi utilizado o RLS-90. A principal fonte de ruído urbana foi o tráfego rodoviário, o fluxo de veículos e o tipo foram inseridos no *software* acústico. Os dados foram obtidos através de 112 pontos de medição, localizados nos cruzamentos de vias. Para validar o modelo, foi analisado um setor do bairro que possuía intenso fluxo de veículos, a diferença máxima foi de +2,4 dB(A), numa via com volume de tráfego reduzido, sendo mais sensível às flutuações individuais do número de veículos que passam durante as medições reais, quando comparado com o nível de ruído estatístico obtido a partir da simulação.

Em Aracaju no bairro Jardins, prioritariamente residencial, foi elaborado o mapa de ruído, a fim de avaliar a influência da forma urbana no ruído ambiental (GUEDES; BERTOLI; ZANNIN, 2011). Além do cenário atual, foram simulados no SoundPLAN cenários hipotéticos com a inserção de novos edifícios. Foram escolhidos 19 pontos de medição (11 ao longo das principais vias e 8 no dentro dos condomínios), as medições ocorreram de segunda a sexta-feira em horários de pico (entre 12:00 – 13:00 h e 18:00 – 19:00 h) e tempo de medição foi de 30 s para registrar o fluxo contínuo de veículos com abertura dos semáforos. O método de cálculo para contagem e classificação de veículos foi o RLS-90. A diferença entre os dados medidos e simulados foi de +3,1 dB (LAeq), considerados válidos já que o limite máximo era de +/-4,6 dB(A). Os valores mais altos de níveis de ruído foram registrados nos 2º, 3º e 4º andares das fachadas dos edifícios residenciais e a inserção de novos prédios mais próximos às vias de tráfego, gerou redução do ruído de fachada nas edificações existentes.

Zannin, Sant'ana (2011) apresentaram os resultados de uma avaliação acústica realizada em áreas adjacentes à rodovia BR-116, em Curitiba - PR. As medições ocorreram antes, durante e após a ampliação da BR e um cenário futuro foi criado de 20 anos depois. O tempo de medição foi de 3 min, fora dos horários de pico para evitar congestionamentos. O *software* Predictor gerou os mapas, tendo como validada a simulação com +/-4,6 dB(A) de variação, apenas um ponto ultrapassou esse limite. O método de cálculo para ruído de tráfego adotado foi da ISO 9613-1/2 Road, sabe-se que o fluxo de veículos foi composto por: veículos pesados, leves e

motocicletas. Os mapas revelaram a existência de poluição sonora no trecho urbano da rodovia federal em todos os cenários [$L_{Aeq} > 65 \text{ dB(A)}$].

A caracterização do ruído ambiental no Campus do Politécnico Centro da Universidade Federal do Paraná (UFPR) foi realizada por Zannin *et al.* (2013), em Curitiba - PR. Investigou-se qual o tempo de medição mais adequado (3 min, 15 min ou 1 h), concluiu-se que 3 min de registro era suficiente para caracterizar o tráfego rodoviário. Registrou-se 58 pontos de medição dentro do campus, ocorreram fora do horário de pico (dentre 13:30 – 17:00 h), não foi esclarecido o método de cálculo e os veículos foram classificados em pesados e leves. O mapa de ruído foi feito no Predictor variando até -4,2 dB (L_{Aeq}) entre a simulação e medição, valor considerado aceitável e método de cálculo ISO 9613-1/2 Road. Os resultados indicaram que 89,65% dos 58 pontos avaliados excederam o limite de 55 dB (L_{Aeq}).

Em Aracaju – SE Guedes, Bertoli (2014) avaliaram o ruído de tráfego ao longo de uma via arterial com fluxo intenso de veículos por meio de medições entre picos (dentre 09:20 às 12:10 h e das 15:10 às 16:00 h), longe de cruzamentos de vias e com tempo de registro variável. A simulação foi realizada no Predictor 9.0 com o método de cálculo ISO 9613-1/2 Road, a calibração do modelo se deu com a variação máxima de $\pm 4,7 \text{ dB}$. Conclui-se que há poluição na região, pois edificações próximas à via estão expostas entre 70 e 80 dB. Além da situação atual, foram criados três cenários hipotéticos, no quais a redução de 50% do tráfego reduziu, em geral, 3 dB de ruído rodoviário; após 10 anos com o aumento de 57% do fluxo obteve maiores níveis sonoros e a alteração da composição de fluxo de veículos não trouxe mudanças significativas.

De Souza Filho *et al.* (2015) utilizaram o *software* Predictor 7810 e avaliaram três áreas com diferentes usos e ocupação do solo em Campo Grande – MS (uma comercial, uma residencial e outra mista). Foram registrados 174 pontos de medição nas três áreas durante o período diurno (das 6:00 às 18:00 h) com 10 min de registro em cada ponto em meio de quadra, ou seja, evitando cruzamentos de vias. O método de cálculo de ruído rodoviário da ISO 9613, a classificação de veículos foi dividida em motos, veículos leves e pesados (distinguindo ônibus de caminhões). O limite da diferença entre os níveis sonoros medidos e simulados foi de $\pm 4,6 \text{ dB}$, apenas dois pontos o excederam. Entre as três áreas analisadas, o setor residencial apresentou os níveis de ruído mais baixos, principalmente devido ao menor tráfego de veículos e velocidade média.

Em São Carlos – SP, Suriano, De Souza, Da Silva (2015) buscaram contribuir com uma metodologia de quantificação da população exposta ao ruído, por meio de uma classificação da

poluição sonora urbana. A coleta de dados sonoros foi realizada ao longo da quadra, em horários de pico (das 7:00 – 8:00 h e dentre 17:30 – 18:30 h). O programa computacional utilizado foi o Cadna-A com o método de cálculo francês NMPB-08. Como resultado, foi possível desenvolver um mapa da área de estudo que permite rápida identificação de quadras prioritárias para ações de mitigação ao ruído.

Em Curitiba – PR, também foi avaliada outra grande via chamada Linha Verde, com dez faixas para veículos, a qual passou por uma reconstrução. Bunn, Zannin (2015) avaliaram os impactos do ruído ambiental da avenida antes e depois da reconstrução de sua seção sul, com base no mapeamento estratégico de ruído, simulado no *software* Predictor. A medição ocorreu em 8 pontos ao longo da via, evitando horários de pico, com 10 min de registro. Os veículos foram classificados em leves, pesados e motocicletas e foi escolhido o método de cálculo rodoviário da ISO 9613-1/2 Road. A diferença entre a medição e a simulação foi de +/- 3 dB (LAeq), indicando que o modelo está calibrado. Além do cenário atual, foram simulados 4 cenários hipotéticos: 1) Redução da velocidade, 2) Substituição do pavimento, 3) Diminuição do fluxo de veículos pesados, e 4) Todas as medidas em conjunto. Os resultados apontaram que as três medidas mitigadoras combinadas foram eficazes na redução do ruído.

O ruído ambiental de quatro trechos do Sistema Estrutural de Tráfego Rodoviário de Curitiba – PR foram avaliados por Fiedler e Zannin (2015a). As medições foram feitas ao longo da via com o total de 232 registros com a duração de 10 min ao longo da via e nas adjacentes. O mapa de ruído foi simulado no Predictor, o método de cálculo não foi mencionado. O desvio máximo entre a medição e simulação foi de -4,5 dB (LAeq) dentre os pontos destacados considerado aceitável. Foram criados três cenários hipotéticos e analisada a redução de ruído de fachada em dois hospitais. Evidenciou-se que a redução de 50% do fluxo de veículos, reduziria os níveis de ruído em cerca de 3 dB.

Fiedler, Zannin (2015b) também analisaram a poluição sonora do trecho norte da BR-116, chamada Linha Verde, que atravessa Curitiba – PR, através de 16 pontos de medição com 10 min de registro cada. Utilizou-se o Predictor para criar o cenário atual, evidenciando altos níveis de ruído em frente a um hospital; já nos cenários hipotéticos: substituiu-se o asfalto comum pelo poroso (1); mostrou a restrição de 90% do número de veículos pesados (2); e evidenciou a redução da velocidade média dos veículos de 80km/h para 60 km/h (3). Os cenários 1 e 2 mostraram uma maior redução do ruído, porém nenhuma das medidas foi suficiente para cumprir o limite máximo de ruído exigido pela lei municipal.

Belderrain *et al.* (2015) analisaram o impacto sonoro causado pela futura construção de uma nova via expressa em São Paulo – SP. Foram realizadas cinco medições no entorno da futura via com duração mínima de 10 min e máxima de 15 min, caso o nível de pressão sonora equivalente (LAeq) variasse +/-0,5 dB a cada 5 min, necessitaria adicionar mais 5 min para estabilizar a média do nível sonoro. O cenário atual ocorreu sem a via expressa com o ruído de tráfego das vias do entorno, e nos cenários futuros, dois avaliaram a inserção de tráfego da futura via com variação da pavimentação, e outros dois inseriram uma barreira acústica no entorno da via e variaram sua altura o pavimento asfáltico no *software* Cadna-A com método de cálculo RLS-90.

Novamente a poluição sonora gerada pela Linha Verde, localizada na cidade de Curitiba – PR, foi investigada ao longo dos seus 14 km de extensão do trecho sul, onde o tráfego de caminhões pesados é proibido no período noturno (BUNN; FILHO; ZANNIN, 2016). Ocorreram 24 medições de ruído (15 min de duração cada) ao longo da via distanciadas 500 m, a simulação foi realizada no *software* Predictor com o método RLS-90 e classificação de veículos (leves, pesados e motos). Além do cenário atual, criou-se 3 cenários hipotéticos variando: 1) tipos de pavimento (ruim/rugoso e bom/liso), 2) velocidade média (de 100 km/h para 70 km/h) e a 3) composição do fluxo (1% de veículos pesados). A redução do fluxo de veículos pesados foi a simulação que apresentou a diminuição mais acentuada nos níveis sonoros gerados entorno da via.

De Brito (2017) analisou o ambiente sonoro de uma porção do Bairro Capivari, da cidade Campos do Jordão – SP, avaliando não apenas o ruído de tráfego, mas também o de entretenimento, uma vez que é uma região turística. As medições foram realizadas por Brito e Barbosa (2014) em 15 locais selecionados, tanto em cruzamento de vias, quanto ao longo da quadra, com 15 min de duração em dias de semana e feriados. Os níveis medidos foram inseridos no *software* SoundPLAN, o tráfego de veículos como fonte linear e as fontes de ruído de entretenimento como pontuais. Os mapas acústicos mostraram que a proximidade das áreas de entretenimento e residências eleva o nível de ruído, prejudicando a qualidade de vida naquela região.

Em Niterói – RJ foi analisado o cenário acústico atual e comparado com um futuro após a construção do túnel, de acordo com o plano de mobilidade. Houve 11 pontos de medição ao longo da quadra com duração de 20 min de registro, o maior desvio entre o NPS medido e simulado foi de 3 dB (LAeq), outros dois pontos tiveram interferência do ruído de construção civil. Para a simulação se utilizou o Cadna-A, com o método de cálculo rodoviário RLS-90. Os

mapas de ruído do cenário atual já evidenciam que as principais vias extrapolam os limites de ruído aceitáveis, e a construção do túnel no cenário futuro irá reduzir ainda mais o conforto acústico da vizinhança. Portanto, deve-se pensar em alternativas de mitigação de ruído de tráfego (PRANGE; TORRES, 2017).

Em Fortaleza – CE foi avaliado o ruído ambiental de 3 escolas públicas com ênfase no ruído gerado pelo tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo (JUNIOR *et al.*, 2018). As medições ocorreram em dias de semana no horário de aula, durante 15 min e a classificação de veículos distinguiu motos, de leves (carros, pick-ups, minivans) e pesados (ônibus e caminhões) e foi utilizado o método de cálculo da RLS-90. Os locais de medição foram ao longo da quadra e em frente às fachadas das escolas. A simulação ocorreu no *software* Cadna-A, e a validação do modelo aceitou a variação de 3,2 dB (LAeq) para ruído rodoviário. Todas as escolas estavam expostas a níveis de ruído acima do regulamentado em normas nacionais e internacionais.

Zannin *et al.* (2018) realizaram um estudo de impacto ambiental do ruído gerado pela reconstrução de um trecho urbano da rodovia BR-476. Também foram adicionadas barreiras acústicas em cenários hipotéticos, sua eficácia foi avaliada usando Redes Neurais Artificiais (ANNs) combinadas com Projeto de Experimentos (DoE). A composição do ruído de tráfego foi estratificada em carros, motos e pesados, sem mencionar o método de cálculo utilizado no *software* SoundPLAN e a contagem foi separada por cada sentido da BR. Também não foi esclarecido o tempo de medição. A máxima variação entre o nível sonoro medido e simulado foi de 3,3 dB (LAeq). Os resultados obtidos com as ANNs e DoE foram consistentes em demonstrar que o coeficiente de absorção influencia fortemente a atenuação sonora proporcionada pelas barreiras sonoras, enquanto a altura da barreira está correlacionada com a formação de áreas maiores de sombra acústica.

O ruído de tráfego rodoviário, no bairro Pinheiros, São Paulo – SP, e o incômodo resultante foram analisados, com base no mapeamento e na percepção e sensibilidade relatadas. Os níveis de ruído foram medidos em 75 pontos ao longo das quadras com o registro de 15 min cada. No *software* Predictor foi utilizado o método da ISO 9613 1/2 Road, tendo uma precisão da simulação com + 3,5 dB (LAeq) de variação. Após as correlações entre os dados, observou-se que há associações entre viver em zonas expostas ao ruído do tráfego e a consciência do ruído ($p < 0.001$) (PAIVA; CARDOSO; ZANNIN, 2019).

Xavier Rego *et al.* (2019) objetivaram incorporar a malha de ruas comerciais de pedestres, o Calçadão de Osasco – SP, em simulações acústicas. Foram medidos os níveis sonoros em quatro pontos ao longo do calçadão, de 10 a 15 min cada, e mais algumas medições

extras próximas às fachadas dos estabelecimentos para verificar a precisão do mapa. O mesmo foi elaborado no Cadna-A. Dentre os métodos de cálculo disponíveis, o que melhor representou o tráfego do entorno foi o NMPB-08, e o nível sonoro do calçadão foi inserido no *software* como fonte em área (PLW). Os resultados indicam que as ruas comerciais pedonais de São Paulo apresentam valores elevados de L_{day} .

Vieira *et al.* (2019) buscaram entender a influência da configuração viária na qualidade sonora ambiental em uma seção do Bairro Lagoa Nova (Natal-RN), ao longo de 1,1 Km da BR-101, a fim de apontar elementos para planos de mobilidade. As medições de ruído ocorreram ao longo das quadras, com o tempo de medição de 10 min, de terça à quinta-feira, no horário de pico das 17:00 h às 18:00 h. Os veículos foram classificados em leves (carros) e pesados (os demais). Também foram aplicados questionários em locais próximos às paradas de ônibus, obtendo 56 respostas. A simulação ocorreu no *software* SoundPLAN (V. 7), o método de calibração conforme ISO 1996-2, que regulamenta a incerteza de medição. Além do cenário atual, com as faixas de ônibus semiexclusivas próximas às calçadas, também foi gerado um hipotético com as faixas de ônibus junto ao eixo central da via para ambas direções. Os mapas evidenciaram que no cenário 1 há menor geração de ruído rodoviário do que no cenário 2, no qual as fontes tendem a se somar, passando de 81 dB para 84 dB (L_{Aeq}).

Alves *et al.* (2020) caracterizaram o campo sonoro na área de influência de trechos de três rodovias federais (BR 101, BR 304 e BR 230), no estado do Rio Grande do Norte na cidade de Natal e Macaíba e no estado da Paraíba na cidade de Santa Rita. Foi registrado 10 min de nível de ruído em cada ponto de medição ao longo da via para o período diurno. O mapa foi elaborado no SoundPLAN (V 7.1), a 4,0 m do solo, 1 reflexão, e malha de cálculo de 20x20 m e 5x5 m com o método de cálculo RLS-90. Concluiu-se que o ruído em áreas afetadas por rodovias apresenta níveis similares de L_{Aeq} , independentemente da caracterização do uso do solo da área afetada, cuja variação de ruído.

Em São Paulo-SP, os pesquisadores Wunderlich, Holtz, Pierrard (2020) descreveram as metodologias e resultados desenvolvidos pela Associação Brasileira de Acústica (ProAcústica), a fim de estimular a elaboração do mapa de ruído de São Paulo-SP. O centro da cidade foi mapeado com 62 pontos de medição sonora, com duração de 15 min ao longo das quadras no período diurno e noturno. A simulação ocorreu no Cadna-A com 1 reflexão de raio sonoro, método de cálculo CNOSSOS. O mapa noturno apresentou regiões mais silenciosas devido ao menor fluxo de veículos. A partir deste estudo piloto será elaborado o mapa oficial de ruído do município como previsto por lei com conclusão em 2023.

Já em Maceió-AL, Oiticica *et al.* (2020) compararam as mudanças na paisagem sonora de três bairros, por meio das medições dos níveis sonoros e da percepção dos pesquisadores, antes (em 2016) e após o esvaziamento devido ao desastre geológico (em 2020). Os mapas dos bairros Mutange, Bebedouro e Pinheiro foram feitos no Cadna-A, os quais possuíam oito, cinco e sete pontos de registro. Não há maiores detalhes sobre a localização dos pontos e método de cálculo. A diminuição nos valores medidos após o esvaziamento da área, confirma a hipótese de que a falta de vitalidade urbana interfere diretamente no ambiente sonoro.

Brasileiro-Meneses *et al.* (2020) compararam o ruído gerado pelo tráfego em três bairros de João Pessoa (Castelo Branco, Bessa e Bancários) num raio de 125 m com o mesmo uso do solo conforme classificação da NBR 10151. As medições ocorreram em dias típicos de semana (de terça a quinta-feira) e em horário de pico, dentre as 07:00 e 08:00 h, com 10 min de duração, em locais de cruzamentos de vias. Obteve-se o mapa de ruído através do SoundPLAN, no qual a validação da predição foi de ± 2 dB (LAeq). Os resultados mostram que a maioria das porções urbanas selecionadas não se encaixam nos requisitos padrão, o que indica que os parâmetros estabelecidos pelas normas consideram apenas o tipo de uso, desconsiderando as características da rua e do fluxo do veículo.

Em uma região de Goiânia-GO se buscou avaliar o efeito do aumento dos níveis de ruído e seu impacto sobre a população em função das taxas de crescimento do tráfego rodoviário. Foram feitas medições de 15 min em 67 pontos das 07:00 às 19:00 h ao longo das quadras. O *software* de predição foi o Predictor (V. 8.11), método de cálculo RMV-SRM2 (holandês), classificou-se os veículos em leves, pesados e motos. O modelo foi validado com a diferença máxima de $\pm 4,5$ dB (LAeq). Foram simulados três cenários futuros extrapolados com uso da regressão linear para os anos de 2021, 2026 e 2036, uma vez que as medições datam de 2016. Os mapas de ruído para os anos 2021, 2026 e 2036 mostraram um aumento médio nos níveis de ruído de 0,28 dB/ano entre 2016 e 2036. Além disso, após 2036, espera-se que o LAeq em 100% dos pontos avaliados exceda 60 dB, o máximo permitido pelas regulamentações de ruído atuais (DO NASCIMENTO *et al.*, 2021).

Numa seção da região central do Rio de Janeiro-RJ foram comparados os níveis de ruído antes e durante a pandemia da COVID-19 (GEVÚ *et al.*, 2021). Foram registrados 12 pontos de medição ao longo das quadras com 5 min de duração. Com o uso do Predictor (V. 9.10) foram gerados os mapas de ruído com o método de cálculo da ISO 9613 1/2 Road e a malha de pontos de cálculo foi de 20x20 m, a maior diferença entre a medição e simulação foi de 1,9 dB. Para as áreas próximas às principais avenidas do centro da cidade não houve diminuição

substancial do ruído. Uma vez que, o tráfego redziu 50% durante a pandemia, o que significou uma redução de ruído entre 3 e 5 dB. Já nas áreas onde o ruído do trânsito não era intenso e onde as atividades humanas eram predominantes reduziu entre 10 e 15 dB.

Wosniacki, Zannin (2021) focaram em avaliar o ruído ferroviário numa área no município de Ponta Grossa-PR e para compor o som residual adicionaram o ruído de tráfego rodoviário do entorno. Nove pontos de medição ao longo das quadras e nos cruzamentos de vias caracterizaram o ruído de tráfego durante 15 min, nos turnos da manhã, tarde e noite. A classificação de veículos seguiu o método de cálculo adotado, CNOSSOS, presente no *software* Cadna-A, com a variação de +/- 2 dB entre a medição e simulação. A malha de cálculo definida foi de 10x10 m. O conjunto dos métodos CNOSSOS-EU (estradas), SRMII/RMR (ferrovia) e ISO 9613-2 (ruído industrial) foi testado e atingiu a precisão desejada de ± 2 dB.

Em Maceió – AL também foi analisada a paisagem sonora em um loteamento, onde há 17 templos religiosos, por meio de mapeamento de ruído e aplicação de questionários. As medições foram realizadas em cruzamentos de vias e em frente aos templos, com duração de 5 min e o mapa foi criado no Cadna-A com o método de cálculo RLS-90. A malha de pontos de cálculo foi de 1x2 m. Observou-se que os sons dos templos impactam na paisagem sonora local, pois os níveis de pressão sonora ultrapassam em média 20 dB dos valores determinados pela NBR 10151. No entanto, os dados qualitativos apontaram que a percepção dos sons religiosos como agradável foi quatro vezes maior do que como desagradável (DE OLIVEIRA; OITICICA; MIRANDA, 2021).

Os nove trabalhos que se adequaram ao *string* de busca, mas não foi obtido o artigo na íntegra, não foram adicionados ao Quadro 1, pois não foi possível obter os dados necessários. Os mesmos foram reunidos abaixo (Quadro 2) evidenciando o seu objetivo, metodologia utilizada e resultados presentes no resumo.

Referência	Periódico ou evento	Objetivo	Metodologia	Resultados
Nardi; Avalone Neto; Viveiros (2007)	Proceedings of 10th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM 2007)	Relacionar o ruído urbano e planejamento urbano, através do mapeamento de ruído associado ao sistema de informação geográfica em uma área central em Florianópolis (SC).	Medição sonora, mapa de ruído e de conflito e quantidade de pessoas expostas	Produção de um mapa de ruído e a quantidade de pessoas expostas ao ruído e o incômodo esperado devido a níveis de ruído elevados foram discutidos.
Nardi; Viveiros (2007)	36th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2007)	Elaborar o mapa de ruído como um meio eficiente para mostrar o problema real da poluição sonora no Brasil.	Medição sonora e mapa de ruído	Foram apresentados mapa de ruído e algumas recomendações para melhorar o programa de ruído com a utilização da cartografia do ruído.
Da Paz; Zannin (2009)	8th European Conference on Noise Control (EURONOISE 2009)	Simular o ruído causado pela reforma da BR-476 em Curitiba (PR)	Medição sonora e mapa de ruído	O projeto de reforma da BR-476 sujeitará as pessoas que vivem ou trabalham nas proximidades a condições insalubres, a menos que sejam incluídas medidas de controle e mitigação na fase de concepção do projeto.
Luiza; Wanderley; Gilberto (2010)	39th International Congress on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2010)	Apresentar os níveis de ruído esperados na área próxima à futura instalação de uma Subestação de Transformação e Distribuição (ETD) denominada Satélite, em Guarulhos (SP).	Medição sonora e mapa de ruído (SoundPLAN)	Metodologia aplicada a mapas de ruído, considerando o ruído de transformadores e do ruído de fundo com predomínio do tráfego rodoviário.
Lisot; Bertoli; Soares (2010)	39th International Congress on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2010)	Determinar se as mudanças de direção de tráfego foram benéficas para o estabelecimento de um maior conforto acústico.	Medição sonora e mapa de ruído	Além do mapa, foram determinados os pontos que necessitam de estudos para a implementação de soluções para mitigar o ruído.

Continua...

Barry; Vittorino; Neto (2010)	39th International Congress on Noise Control Engineering (INTER-NOISE 2010)	Apresentar a avaliação de ruído real e potencial em trechos de uma via de grande fluxo em São Paulo (SP), uso de técnicas de cartografia do ruído e possibilidades de atenuação.	Medição sonora e mapa de ruído	Com a geração do mapa, foram apresentadas algumas soluções e combinações de soluções e reforçada a importância de se dispor de técnicas de predição de ruído.
De Andrade; Sopchaki; Padilha; Silveira; Catai; Nagalli (2014)	Electronic Journal of Geotechnical Engineering	Produzir um mapa acústico com níveis sonoros equivalentes da região central de Curitiba (PR).	Medição sonora e mapa de ruído (Cadna-A)	O mapeamento acústico é uma ferramenta visual para fins de gestão, e necessitará de ações corretivas para melhorar das condições de conforto acústico.
Engel; Zannin (2017)	Noise Control Engineering Journal	Avaliar o ruído gerado por uma grande via expressa urbana (Linha Verde em Curitiba, PR) e determinar a influência da sua propagação na área circundante.	Medição sonora, mapa de ruído (Predictor) e 397 entrevistas	A poluição sonora gerada pela via também eleva dos níveis de ruído das vias secundárias, no entanto, 56% dos entrevistados não se incomodam com o ruído na região.
Zannin; Quadros; de Oliveira; Nascimento (2018)	Journal of Environmental Assessment Policy and Management	Avaliar o ruído gerado por caminhões que recolhem lixo em 2 regiões de Curitiba (PR).	Medição sonora e mapa de ruído	É recomendável alterar o horário do recolhimento de lixo em áreas residenciais para o período diurno, dado o impacto do ruído gerado.

Quadro 2 - Artigos não avaliados por falta do corpo completo
Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nos 30 documentos completos analisados e alinhados aos termos de busca foi obtida uma lista dos 72 autores que publicaram em periódicos e/ou anais de eventos sobre a temática. Destes apenas 14 pesquisadores realizaram duas ou mais publicações, os que mais publicaram foram evidenciados respectivamente na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Autores que publicaram duas ou mais vezes

Autor	Documentos
Zannin, P.H.T.	13
Torres, J.C.B.	4
Bunn, F.	3
De Araújo, B.C.D.	3
Fiedler, P.E.K.	3
Alves, L.R.	2
Bertoli, S.R.	2
Brasileiro, T.	2
Brito, F.A.C.	2
De Oliveira, P.L.	2
Do Nascimento, E.O.	2
Guedes, I.C.M.	2
Holtz, M.	2
Oiticica, M.L.G.R.	2

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 13, elaborada no programa de análise bibliométrica VOSviewer V. 1.6.18, o método de força de associação foi usado para normalizar a força das ligações entre os itens, a qual será maior, quanto maior for a frequência de documentos produzido por um conjunto de autores. O tamanho dos círculos indica a quantidade de artigos de cada autor na amostra, com maior destaque para o autor Paulo Henrique Trombetta Zannin que possui 13 publicações.

Abaixo foram destacados os 20 autores, 27,8% do total de 72 pesquisadores, que possuem conexão entre as publicações que atenderam à busca. A análise de coautoria revela os autores que mais publicam em parceria com a formação de redes de pesquisadores, sendo destacado ao centro o autor Paulo Henrique Trombetta Zannin que mais publicou em 2015. Cada *cluster* representa as principais redes de coautoria mapeadas, quanto mais nós, mais há autores colaborando entre si e a variação de cor corresponde ao período de publicação, havendo predominância da cor verde-água, ou seja, entre 2015 e 2018 (Figura 13).

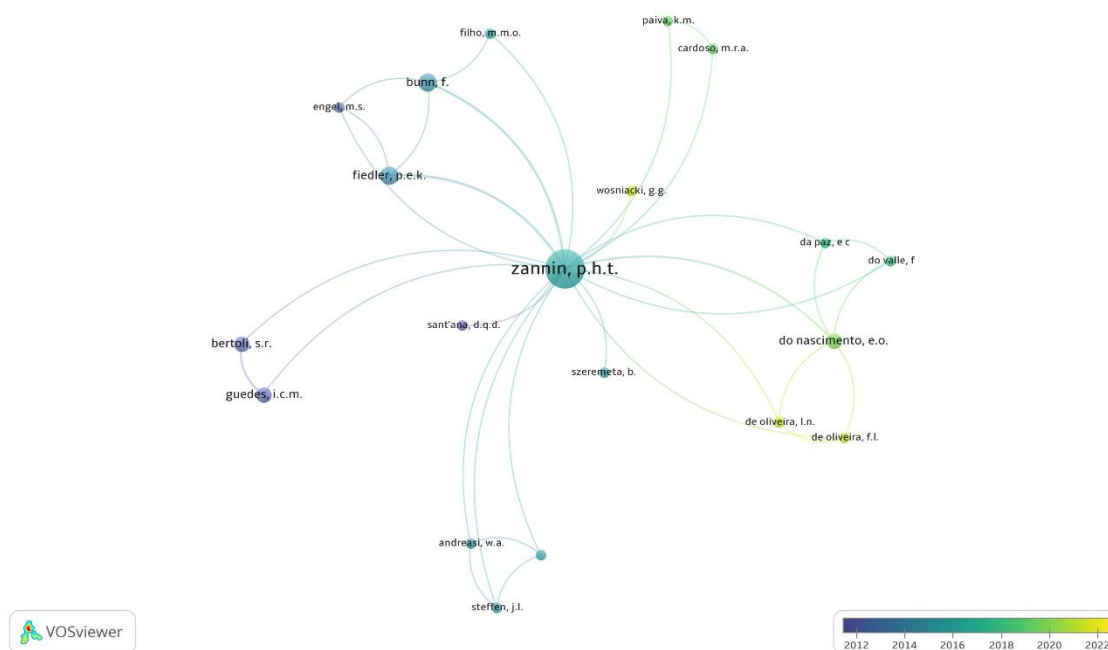


Figura 13 - Coautoria entre os autores que mais publicaram

Fonte: Elaborado pela autora no VOSviewer.

Após reunir os dados metodológicos de elaboração do mapa de ruído no Quadro 1, observou-se que a maioria dos artigos foi publicada em periódicos (73%) com 22 documentos, sendo 15 em revistas internacionais (68%) e 7 em revistas brasileiras (32%). Os demais artigos foram publicados em congressos internacionais, 8 no total (27%). Além disso, poucos trabalhos adotaram a metodologia mista com análise de dados quantitativos de medição dos níveis de ruído associada a análise qualitativa com a percepção dos usuários da região de estudo. Apenas 27% dos artigos adotaram ferramentas qualitativas, como aplicação de questionários, entrevistas, *soundwalk*, entre outras; e uma pesquisa brasileira (3%) avaliou a população exposta conforme recomendações internacionais. A análise quantitativa foi a mais utilizada em 21 trabalhos (70%), nos quais houve a medição do ruído e confecção do mapa em *software* acústico.

A escala de análise urbana como área de estudo mais adotada foi no âmbito de vias de circulação de fluxo intenso de veículos com 37% (11 artigos) das pesquisas avaliando vias específicas. Em seguida, as quadras ou sessões de bairros também foram bastante consideradas com 33% (10 artigos), onde inseriu-se o estudo em parques urbanos. 23% dos trabalhos fizeram avaliações na escala de bairros urbanos (7 documentos) e dois (2) trabalhos avaliaram *campi* universitários e suas vias limítrofes (7%). Conforme a escala de análise, também foi determinada a malha de pontos de cálculo no *software*, a qual variou de 1x2m a 20x20m em sessões de bairros. Assim, as malhas de 5x5m, 10x10m e 15x15m também foram utilizadas.

A respeito do tempo de medição necessário para caracterização da fonte linear de ruído de tráfego, apenas um trabalho registrou níveis durante 24 h, conforme recomendado pela NBR 10.151 (ABNT, 2019) e 3 artigos não esclareceram o tempo de registro. O tempo de medição de 15 min foi o mais utilizado (27%) por 8 artigos, assim como, 10 min (23%) determinado em 7 documentos. Dentre os métodos de cálculo disponíveis nos *softwares* acústicos nos trabalhos destacados, o RLS-90 alemão foi o mais adotado em 27% dos artigos em diferentes programas; logo após o da ISO 9613 (27%), onde a grande parte dos pesquisados simularam no Predictor Lima. O método CNOSSOS desenvolvido mais recentemente, em 2010, foi adotado por apenas 2 (7%) artigos.

3. Procedimientos metodológicos

Esta pesquisa é de natureza aplicada, pois objetiva avaliar o ruído de tráfego rodoviário para evidenciar possíveis problemas de poluição sonora no bairro Centro. Foi utilizada a abordagem de avaliação quantitativa. Uma vez que, foram coletados os níveis de pressão sonora por meio das medições *in loco* para geração de mapas de ruído e gerada a espacialização da população do bairro para verificar o nível de exposição. Os procedimentos de pesquisa são caracterizados como levantamento e de simulação, pois por meio da coleta de dados da morfologia urbana, de tráfego e de ruído, alimentou-se o modelo de simulação em *software* acústico para geração do mapa de ruído (GROAT; WANG, 2013).

Para compreender o ambiente e suas condições sonoras existentes, realizou-se inicialmente uma pesquisa de campo de forma exploratória. Primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica acerca das variáveis envolvidas e uma revisão sistemática de publicações sobre mapeamento de ruído no Brasil até o ano de 2022, discutidas no Capítulo 2 deste trabalho. Assim, a fim de alcançar o objetivo geral desta pesquisa, isto é, mapear o ruído de tráfego rodoviário do bairro Centro, na cidade de Aracaju-SE para análise da população exposta, foram estabelecidas três etapas metodológicas, as quais serão descritas a seguir:

- **Etapa I:** Diagnóstico da caracterização morfológica da área de estudo após a definição do recorte de estudo, bairro Centro, considerando a sua história e importância para o município de Aracaju e o estado de Sergipe e seus condicionantes físico-ambientais. O *software* AutoCAD foi utilizado nesta etapa para confecção dos mapas físicoambientais;
- **Etapa II:** Pesquisa de campo, em que ocorreram visitas exploratórias ao local para definição dos pontos de coleta de dados. Por meio das visitas pôde-se compreender o espaço físico e identificar as demais fontes sonoras (possíveis ruídos intrusivos) que poderiam interferir na medição sonora, prejudicando a caracterização do ruído de tráfego rodoviário. A visita exploratória faz parte do conceito de Observação Incorporada (RHEINGANTZ *et al.*, 2009) que se baseia na essência entre a interação observador/ambiente e sua respectiva resultante. Também foram obtidos os dados sonoros com as medições de ruído e a contagem do fluxo de veículos;
- **Etapa III:** Simulação computacional no *software* acústico Cadna-A BMP Versão 4.4.145, da Empresa alemã DataKustik GmbH, licenciado pela FAU-UFAL, com a inserção dos dados sonoros obtidos e a validação do mapa de ruído para caracterizar a situação atual da poluição sonora do bairro. A fim de obter as

áreas críticas, as quais serão analisadas mais detalhadamente. A análise da população exposta foi espacializada no *software* de georreferenciamento Qgis, o qual possui código-fonte aberto, multiplataforma de Sistema de Informação Geográfica (SIG) que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados.

A Figura 14 representa o diagrama do procedimento metodológico adotado nesta pesquisa.

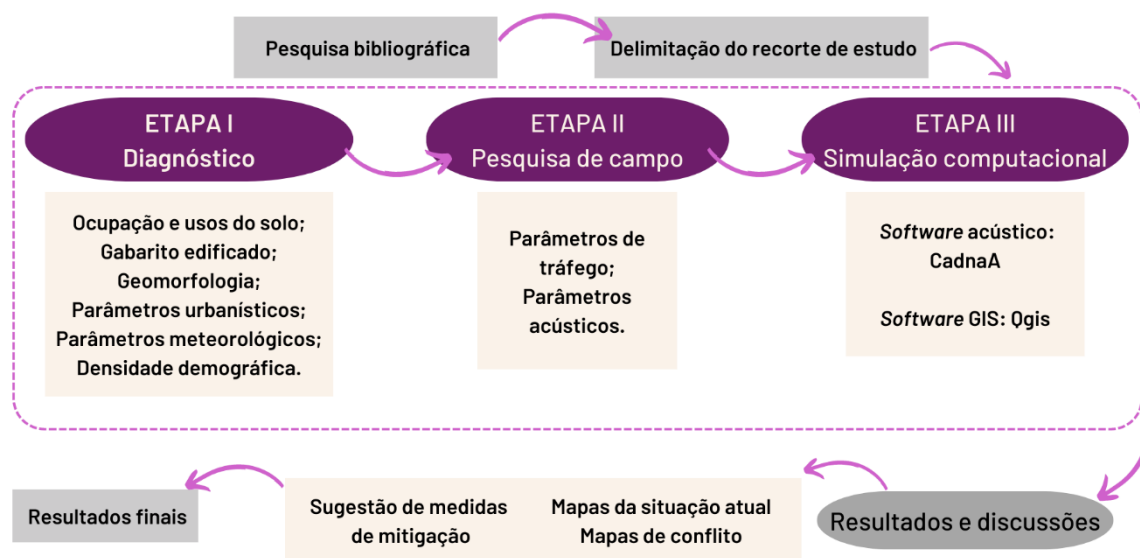


Figura 14 - Diagrama metodológico
Fonte: Elaborado pela autora.

3.1. Etapa I: Diagnóstico da caracterização morfológica da área de estudo

Esta etapa tratou do levantamento de dados físico-ambientais, como: topografia do bairro, tipo de pavimentação das vias, gabarito das edificações, e uso e ocupação do solo. Mas antes, contextualizando a escolha do recorte de estudo e a origem e importância do bairro Centro para o município de Aracaju-SE.

3.1.1. Dados geográficos e legislação urbanística

O município de Aracaju, situado no nordeste do Brasil, capital do estado de Sergipe, possui área territorial de 182 km², que ocupa 0,79% do território sergipano, abriga 672.614 habitantes e possui densidade demográfica de 3.140,65 hab/km² (IGBE, 2022). É margeado ao norte pelo rio do Sal, o separando do município de Nossa Senhora do Socorro, ao leste pelo rio Sergipe, separando-o das cidades Santo Amaro das Brotas e Barra dos Coqueiros e oceano Atlântico, ao sul, o rio Vaza-Barris o separa do município Itaporanga d'Ajuda e a oeste limita-

se com São Cristóvão, ligando-se com as demais localidades através da BR-235 que dá acesso a BR-101 (ARACAJU, 2014) (Figura 15).



Figura 15 - Mapa de localização

Fonte: Elaborado pela autora.

O município está assentado sobre terrenos inconsolidados de sedimentos quaternários, da planície litorânea possibilitando a presença de lagoas, riachos, restingas, dunas e manguezais que, ao longo da ocupação urbana, foram sendo pressionados, por meio de aterros, desmonte de dunas, canalização de riachos, entre outras ações, com altitudes médias de 4 metros acima do mar. Na parte oeste do município aparecem terrenos do terciário, com destaque para a formação barreiras, sendo mais elevados (ARACAJU, 2014). O clima da cidade é quente e úmido, do tipo intertropical, com temperaturas médias anuais de 26 °C, sendo os meses mais quentes janeiro, fevereiro e março, e os meses mais frios julho e agosto. A pluviosidade média anual de 1590 mm, sendo os meses mais chuvosos entre março e agosto e os meses mais secos entre setembro e fevereiro. A média anual de umidade relativa do ar é de 78%. O regime diário de ventos corresponde aos ventos alísios de sudeste com velocidade média de 5,14 m/s (10 nós).

O bairro Centro possui 2,15 km² de extensão, localizado na Zona Centro, sendo limitado ao norte pelos bairros Industrial e Santo Antônio, a leste pelo rio Sergipe, ao sul, pelo bairro São José e ao oeste pelos bairros Getúlio Vargas e Cirurgia (Figura 15). Segundo o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Aracaju (ARACAJU, 2000) o bairro Centro abriga o centro histórico da cidade com alguns edifícios tombados pelo IPHAN (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional) como a Catedral Metropolitana, a Ponte do Imperador, o Museu da Gente Sergipana e os Palácios Fausto Cardoso e Olímpio Campos, e constitui a Zona de Adensamento Preferencial (ZAP-1). Nesta zona há possibilidade de maior adensamento construtivo, devido à disponibilidade de infraestrutura básica, equipamentos urbanos e boa

acessibilidade, o coeficiente de aproveitamento mínimo é de 0,5. Para o uso residencial é concedida outorga gratuita de até 50% do potencial construtivo que exceder ao coeficiente único de aproveitamento, já para o residencial multifamiliar há uma redução de 50% do valor da outorga onerosa. Sobre a permeabilidade do solo, é obrigatória a taxa mínima de 5% para toda a cidade, exceto na ZAP-1 onde é isenta.

Abaixo estão elencados alguns parâmetros urbanísticos específicos para o bairro Centro, o único na ZAP-1, com base no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Aracaju (PDDU) - Lei complementar nº 42, vigente desde 04 de outubro de 2000 (Quadro 3). Possui coeficiente máximo de aproveitamento igual a 6, o maior permitido para Aracaju.

Zona	Pav.	Recuo mín. frontal	Recuo mín. de fundo	Recuo mín. lateral	Altura máxima	Taxa de ocupação máx.
ZAP 1	1º (térreo)	Fachadas - Norte e Oeste - 3m Fachadas - Sul e Leste - Isento	ISENTO	ISENTO	Para a Soma dos Pavimentos: 7.5m c/ uso de galeria de lojas 6m sem o uso de galeria de lojas	90% Desde que resguardados os recuos mínimos
	2º	ISENTO	1,50m			
	3º	3,00m		1,50m	A que o lote permitir, atendidas as exigências de potencial construtivo e recuos	60% Desde que resguardados os recuos mínimos
	4º	3,00m para vias Coletoras II e Locais; 5,00m para vias Coletoras I, Expressas e Principais	RF = 1.5 + 0,2 (NP-5) Desde que resguardados os os recuos mínimos acima	RL = 1.5 + 0,2 (NP-5) Desde que resguardados os os recuos mínimos acima		

Quadro 3 - Critérios de ocupação do solo

Fonte: PDDU (ARACAJU, 2000).

Além das vias regulamentadas pelo PDDU (ARACAJU, 2000), no bairro Centro há vias que foram transformadas parcialmente em calçadas, onde os transeuntes podem circular e observar os estabelecimentos comerciais e de serviço no seu entorno sem a presença de veículos automotores. Alguns trechos da rua São Cristóvão, rua Laranjeiras e rua José do Prado Franco são calçadas, os quais constituem espaços públicos coletivos que visam intensificar a relação cliente-comércio, são pavimentadas com pedras portuguesas e ao longo do seu percurso há bancos e lixeiras (Figura 16).

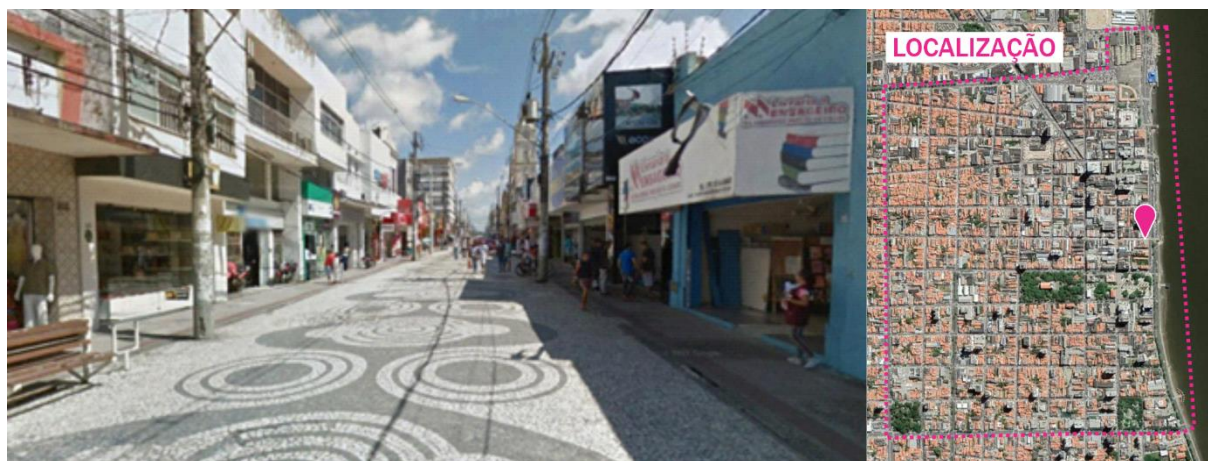
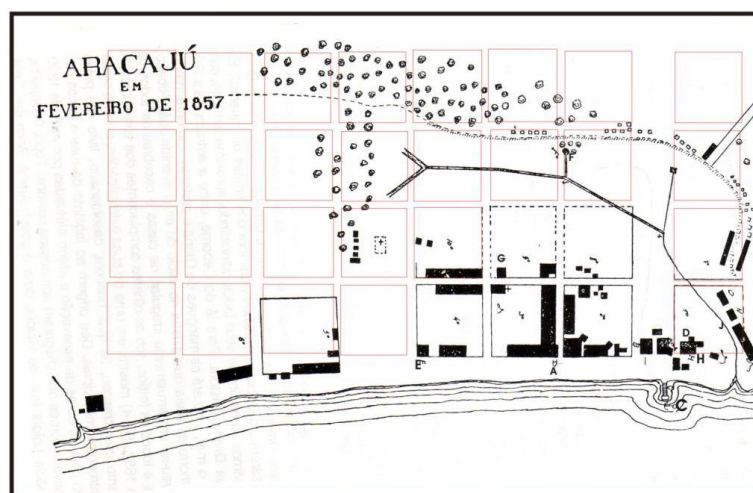


Figura 16 - Calçadão da rua Laranjeiras
Fonte: Google Earth (2022), adaptado pela autora.

No Anuário Estatístico 2021 (ARACAJU, 2021), ano base 2020, do município de Aracaju, pode-se obter alguns dados demográficos do bairro Centro com base no Censo Demográfico 2010 (IBGE) e PNAD contínua. A população residente em 2010 no bairro Centro consiste o total de 7.572 habitantes, onde 3.285 (43,38%) são do sexo masculino e 4.287 (56,62%) do sexo feminino, este perfil se mantém em toda Aracaju, onde num total de 571.149 pessoas, 54% da população eram do sexo feminino (IBGE, 2010). A população estimada para 2019 era de 8.751 moradores, dos quais 3.796 (43,38%) eram do sexo masculino e 4.955 (56,62%), do sexo feminino. Com relação aos domicílios particulares permanentes, o bairro Centro possui 2.618 unidades habitacionais e 7.663 moradores, gerando uma média de 2,89 moradores por domicílio particular permanente em 2010. Esta média se mantém um pouco abaixo da média geral para Aracaju de 3,29 moradores num total de 169.503 domicílios particulares permanentes.

3.1.2. O Bairro Centro

Aracaju, tem origem tupi e significa "cajueiro dos papagaios", fundada em 17 de março de 1855, é uma cidade que foi criada pelo governo provincial, para ser a capital em substituição a São Cristóvão que atravessava um período de decadência (ARACAJU, 2014 apud FRANÇA, 1997). Uma vez que, a antiga capital não dispunha de um porto para melhor escoar os produtos. Aracaju é considerada a terceira cidade planejada mais antiga do Brasil, após Salvador (1549) e Teresina (1852), o projeto do seu centro administrativo foi elaborado pelo engenheiro Sebastião José Basílio Pirro, o qual consiste em uma retícula quadriculada, com quadras de aproximadamente 100 por 100 metros. Essa configuração facilitava a demarcação das quadras e eram adequadas à topografia quase plana do local (ARAÚJO, 2011) (Ver Figura 17).



Legenda: A. Aduana; B. Mesa de rentas; C. Peer del puerto; D. Cárcel;
E. Palacete presidencial; F. Fuente; G. Casas de Barones; H. Tesorería;
I. Edificio de la Tropa del ejercito; J. Enfermería.

Figura 17 - Arruamento de Aracaju em 1865 no atual bairro Centro

Fonte: Santos *et al.* (2011) apud Porto (1945).

O Plano Pirro estava situado em áreas planas e com pouca movimentação de relevo, abrangendo a atual praça General Valadão, no sentido norte, a avenida Barão de Maruim, ao sul, até a margem do rio Sergipe com a atual avenida Ivo do Prado e ao leste até proximidades da rua Dom Bosco (PORTO, 1945 apud ARACAJU, 2014) (Figura 17). Dentro deste plano, havia as edificações da administração pública e foram surgindo lentamente as primeiras residências, devido à dificuldade de recursos dos moradores, pois o Código de Posturas proibia a construção de casas de palha. Gerando desde o início a segregação socioespacial na cidade que se mantém até os dias atuais (ARACAJU, 2014). Próximo ao porto, o bairro Centro também abrigava um terminal ferroviário, no entanto atualmente aqueles não fazem mais parte da paisagem do bairro, o terminal foi demolido no meio da década de 1970 (ARAÚJO, 2011).

O processo de verticalização na região do centro iniciou nas décadas de 1960 e 1970, composta na maioria por edificações com menos de 10 pavimentos. Tendo como exceção os edifícios do antigo INSS até hoje desocupado (1960 - 15 pavimentos) e o do estado de Sergipe (1970 – 28 pavimentos), este ainda é o ‘arranha-céu’ da cidade (Figura 20). Além destes, alguns edifícios multifamiliares foram construídos posteriormente (ARAÚJO, 2011). Um dos terminais do sistema integrado de transporte público está inserido no bairro desde a década de 1990, o Terminal Rodoviário Luiz Garcia, conhecido como Rodoviária Velha, o qual passou por um processo de revitalização e ampliação iniciado em 2020 juntamente com a praça João XXIII incorporada ao mesmo, sendo entregue no fim de 2022. Este equipamento de mobilidade urbana além de abrigar o sistema de transporte público intermunicipal, também inclui micro-ônibus com diversas linhas para as cidades do interior. Na Figura 18 estão destacados alguns

dos principais pontos de referência e equipamentos urbanos localizados no Bairro Centro em Aracaju-SE, cada cor corresponde ao uso e ocupação do solo.



Legenda:

- 1- Mercado Municipal Albano Franco
- 2- Mercado de Artesanato
- 3- Mercado Municipal Antônio Franco
- 4- Terminal Pesqueiro de Aracaju
- 5- Antigo prédio do INSS (Ruína)
- 6- Campus UNIT
- 7- Terminal Rodoviário do Centro
- 8- Edifício do Estado de Sergipe
- 9- Praça General Valadão
- 10- SENAI-CETCC
- 11- Praça Olímpio Campos

- 12- Praça Almirante Barroso
- 13- Praça Fausto Cardoso
- 14- Colégio Pio Décimo e Ensino Técnico
- 15- Colégio e Faculdade Amadeus
- 16- Praça da Bandeira
- 17- Conservatório de Música de Sergipe
- 18- Praça Camerino
- 19- Museu da Gente Sergipana
- 20- Largo da Gente Sergipana

Figura 18 - Pontos de Referência do Bairro Centro
 Fonte: Google Maps, adaptado pela autora.



Figura 19 - Imagem aérea do bairro Centro com vistas para a Praça Fausto Cardoso

Fonte: Fotógrafo Pedro Leite (2020), adaptado pela autora.

O bairro Centro também abriga ao norte dois mercados públicos, o Mercado de Artesanato Thales Ferraz e o Mercado Municipal Antônio Franco, este com diversos produtos alimentícios e também artesanato (Figura 20). Nos últimos anos, a partir de 1997, houve um projeto de revitalização do centro com a restauração de prédios antigos (Patrimônio Histórico e Artístico) e revitalização dos mercados, a fim de resgatar signos identitários do cidadão aracajuano e fomentar o turismo (SANTOS *et al.*, 2011). Um dos últimos pontos turísticos realizados pela prefeitura no bairro foi a criação do Largo da Gente Sergipana nas margens do rio Sergipe e em frente ao Museu da Gente Sergipana, com oito estátuas, que representam diversas manifestações folclóricas típicas, inaugurado em 2018.



Figura 20 - Imagem aérea do centro de Aracaju, em destaque os mercados municipais e o maior edifício da cidade
Fonte: Fotógrafo Marcílio Nocrato/TV Sergipe (2021), adaptado pela autora.

Assim, o bairro Centro se firma no cenário econômico e político municipal e estadual, como uma força motriz de desenvolvimento e expansão do município de Aracaju/SE, abrigando diversos usos e ocupação do solo (residencial unifamiliar e multifamiliar, institucionais, culturais e de lazer, entre outros), principalmente de comércio e serviços. O setor de serviços corresponde a maior parte da estrutura do Valor Adicionado Bruto (VAB)¹ sergipano, 71,8%, o qual também é formado pelos setores de indústria, contribuindo com 21,9%, e agropecuária com 6,3% em 2020 (SEGG, 2022). Portanto, é necessário constantemente um planejamento de novas ações para acompanhar a dinâmica a que está submetida a sua população, inclusive um mapa de ruído como ferramenta de gestão e controle da poluição sonora.

3.1.3. Caracterização morfológica do Bairro Centro

Juntamente com a Secretaria Municipal do Planejamento, Orçamento e Gestão (SEPLOG) de Aracaju, foi obtida a base georreferenciada de 2020 da capital sergipana com as curvas de nível da topografia, delimitação dos lotes em cada bairro e largura das vias e calçadas no *software* AutoCAD. A caracterização física do bairro Centro e delimitação das edificações do mesmo e dos bairros adjacentes como gabarito e usos do solo foram adquiridas através do *Google Maps Street View*, assim como o tipo de pavimentação das vias. Os semáforos e pontos

¹ O Valor Adicionado Bruto (VAB) é a soma monetária de todos os bens e serviços produzidos em determinado território econômico, num dado período de tempo, subtraindo-se os impostos que incidem sobre os produtos.

de parada de ônibus foram conferidos utilizando, respectivamente, o aplicativo Moovit e o site MapaRadar.

O bairro Centro possui uma topografia majoritariamente planificada variando mais de 50% da altitude entre 0,0 a 5,0 metros, possui altitude máxima de 25,0 metros com uma pequena elevação na sua porção noroeste (Figura 21). Esta topografia facilitou a ocupação do solo e criação do bairro centro desde o Plano de Pirro, quando também algumas áreas alagadiças e mangues foram aterrados a fim de permitir a expansão urbana (ARAÚJO, 2011). Porém, esta região ainda sofre com alagamentos nos períodos mais chuvosos do ano, no inverno principalmente.

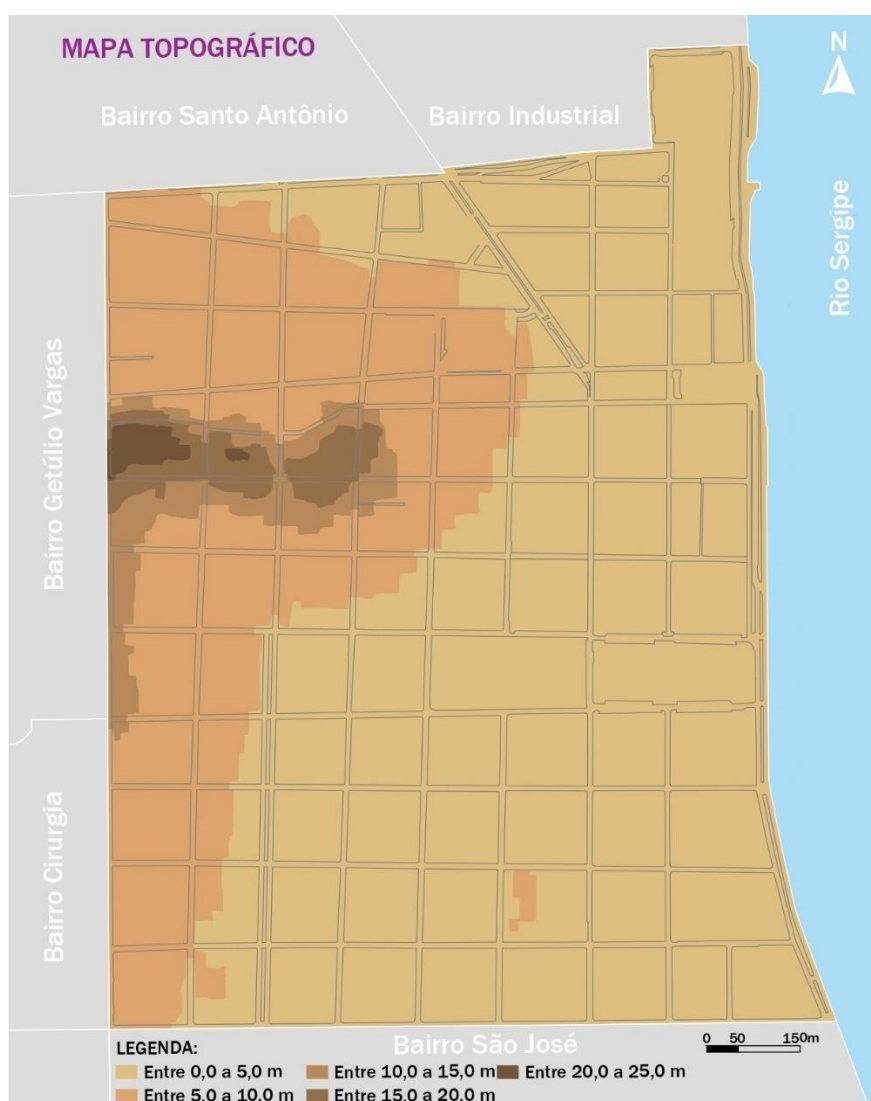


Figura 21 - Mapa topográfico

Fonte: Elaborado pela autora no software AutoCAD com dados da SEPLOG (2021).

O bairro Centro apresenta diversos tipos de uso e ocupação do solo, conforme a Figura 22 e Figura 23 com o predomínio do uso comercial (33%) o qual se distribui ao longo de todo o bairro com predomínio na porção nordeste, na qual se encontram o Terminal Rodoviário

Intermunicipal e os mercados municipais. As residências (26%) estão concentradas na região noroeste e ao longo da parte sul dentre os estabelecimentos de serviço (17%) como consultórios médicos, dentistas, clínicas, entre outros. O uso institucional (12%) também se destaca, pois, muitos órgãos administrativos se encontram neste bairro, como a Câmara Municipal de Aracaju, Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe, Edifício do Estado de Sergipe, além de agências bancárias, correios, museus e igrejas. As áreas verdes correspondem às praças: General Valadão, Fausto Cardoso, Almirante Barroso, da Catedral Metropolitana de Aracaju, Camerino e da bandeira. Apesar de ser um bairro bastante consolidado, ainda há alguns terrenos baldios e com ruínas de edificações.

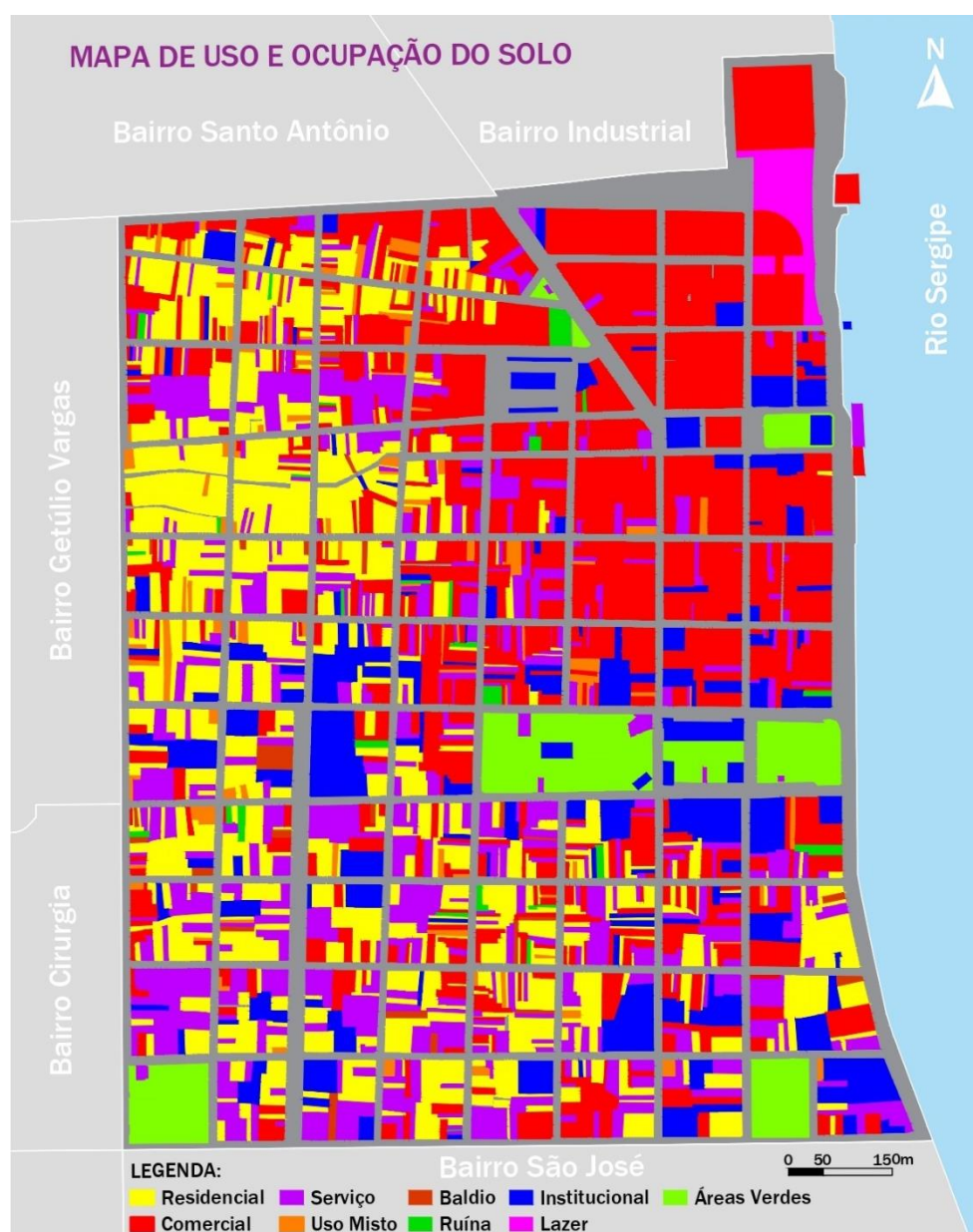


Figura 22 - Mapa de uso e ocupação do solo
Fonte: Elaborado pela autora no software AutoCAD.

A partir do somatório das áreas dos lotes por tipo de uso do solo, elaborou-se o gráfico da Figura 23. Ratificando que o bairro Centro, em geral, apresenta-se como área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativas, conforme a classificação da NBR 10.151 (ABNT, 2019). A qual possui como limite de níveis de pressão sonora para o período diurno, 60 dB, e durante o período noturno 55 dB, já evidenciados na Tabela 2.

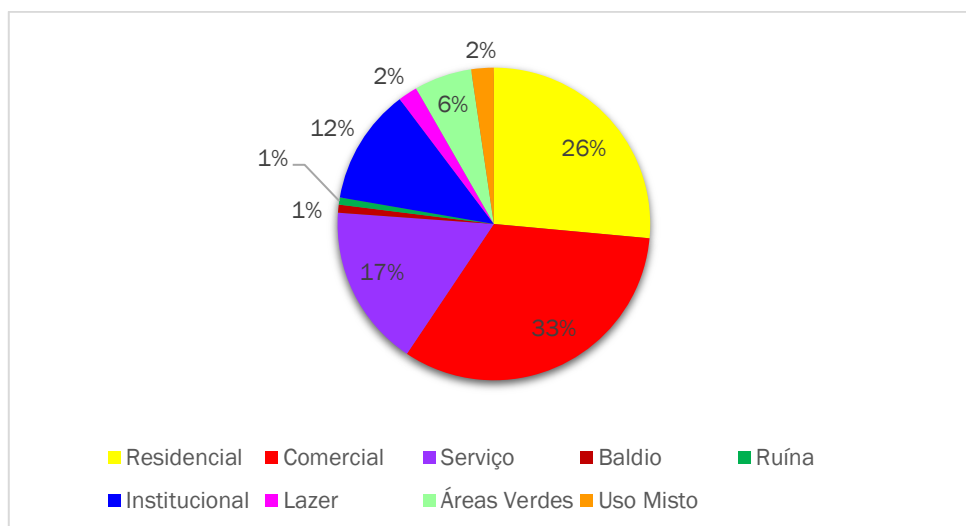


Figura 23 - Porcentagem de uso e ocupação do solo no Bairro Centro

Fonte: Elaborado pela autora no Excel.

O bairro possui grande diversidade de altura, apresentando desde edificações térreas (1 pavimento) até edifícios com 28 pavimentos (Figura 24). Porém grande parte das edificações possuem um ou dois pavimentos em todas as quadras, caracterizando-se como um bairro pouco verticalizado. As edificações verticalizadas em sua maioria compostas por estabelecimentos comerciais no térreo e pavimentos tipo de salas para prestação de serviços. Há poucos edifícios multifamiliares e alguns de uso misto, comercial no térreo e nos demais pavimentos, residencial. O Edifício do estado de Sergipe ainda se destaca na paisagem, sendo o mais alto da região com 28 pavimentos, os demais contêm até 16 pavimentos. Os lotes sem muros e edificações estão representados como sem pavimento na Figura 24.

Na Figura 25 estão reunidas todas as edificações identificadas no bairro Centro, do total de 3687 construções, 59% possuem apenas o pavimento térreo, 32% possuem dois pavimentos, 7% contém 3 pavimentos e 1% para edifícios de 4 pavimentos, de 5 a 9 e de 10 a 28.

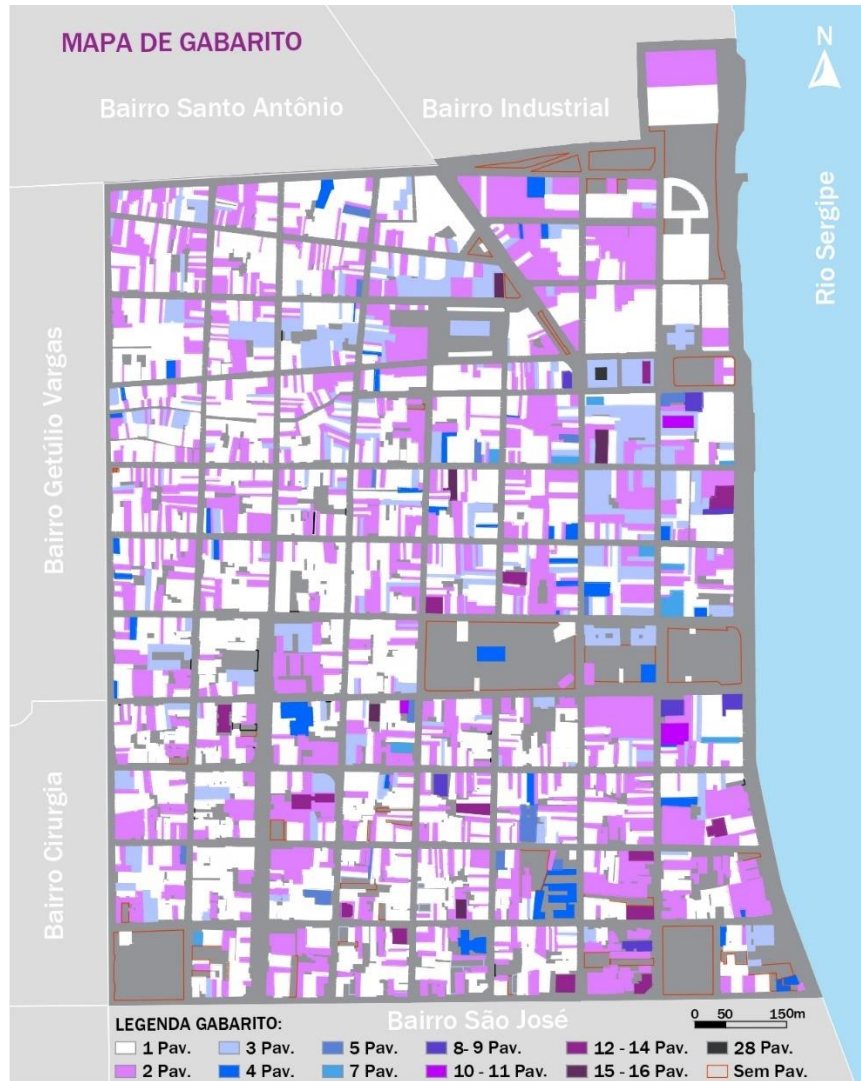


Figura 24 - Mapa de Gabarito
 Fonte: Elaborado pela autora no software AutoCAD.

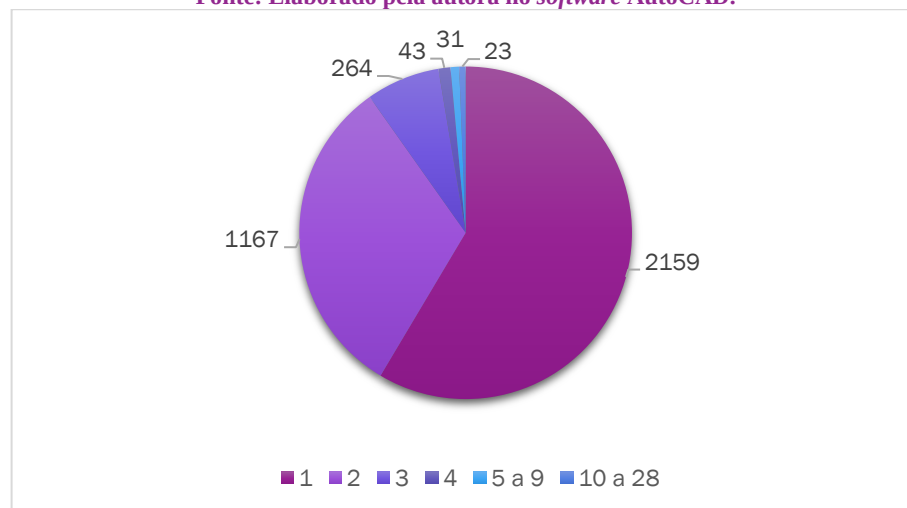


Figura 25 - Quantitativo de edificações por gabarito
 Fonte: Elaborado pela autora no Excel.

Todas as vias do bairro são pavimentadas e revestidas com asfalto, exceto pelos calçadões para pedestres, os quais são pavimentados com pedras portuguesas (Figura 26). O

asfalto é um grande emissor de calor e impermeável às águas pluviais. Problemas de alagamento em alguns trechos do bairro são encontrados nas épocas de chuva, principalmente no inverno, causados principalmente pela impermeabilização excessiva do solo, aliados a questões topográficas, engenharia e manutenção das galerias de água. Impermeabilidade permitida e incentivada pelo Plano Diretor (ARACAJU, 2000), uma vez que é facultativa a existência de área permeável no lote na ZAP-1. Mesmo havendo seis praças neste bairro, a metade possui a maior parte impermeável com calçamento em concreto, como a praça Fausto Cardoso, praça Almirante Barroso e praça General Valadão.

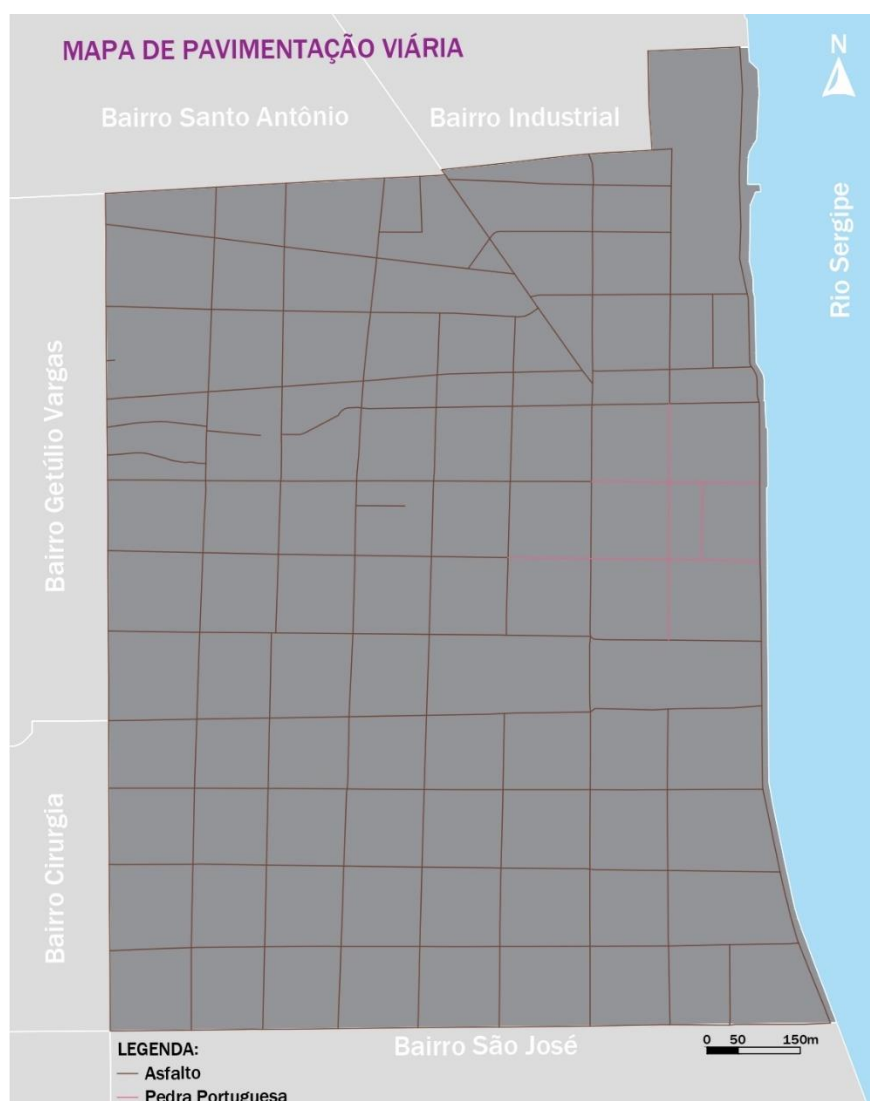


Figura 26 - Mapa de pavimentação viária
Fonte: Elaborado pela autora no software AutoCAD.

A hierarquia das vias seguiu a definição do PDDU municipal em vigência (ARACAJU, 2000), houve apenas o acréscimo da diferenciação entre as vias locais e os calçadões. O bairro Centro possui duas vias arteriais, a av. Ivo do Prado, a qual margeia o rio Sergipe ao leste e a av. Coelho e Campos, a qual limita o bairro Centro com o Santo Antônio e Industrial ao norte

e não possui vias coletoras. Há algumas vias principais, as quais contêm a maioria dos semáforos e grande parte das vias são classificadas como locais. Alguns trechos das vias arteriais e principais possuem canteiro central, os quais também foram inseridos na Figura 27, pois a inserção dos dados de tráfego no *software* Cadna-A pode ser diferente das demais, inserindo uma fonte linear para cada sentido de circulação. Em uma das vias locais, a av. Gonçalo Prado Rolemberg, há um canal de drenagem pluvial central, também representado na Figura 27.

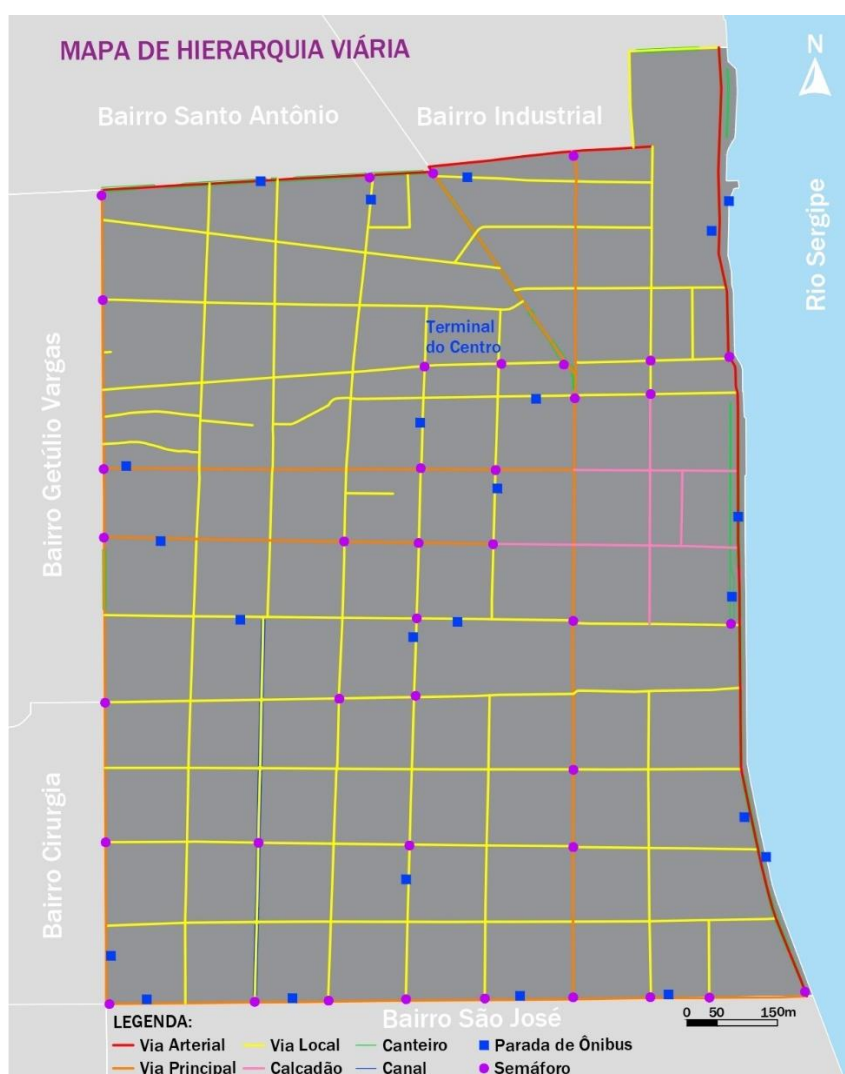


Figura 27 - Mapa de hierarquia viária

Fonte: Elaborado pela autora no *software* AutoCAD.

Também foram localizadas as paradas de ônibus pelo aplicativo de mobilidade urbana *moovit*, no qual pode-se visualizar a parada mais próxima de ônibus, quais linhas circulam na parada escolhida, os horários dos ônibus e a rota detalhada no mapa. Os dados estão associados a SMTT/SIT Aracaju (*Southern Maine Transit Tracker*), o operador de serviço de transporte público responsável pelas rotas de ônibus de Aracaju. A SMTT/SIT Aracaju contém 74 rotas

de ônibus em Aracaju e 1128 paradas de ônibus, sendo 23 paradas no bairro Centro (MOOVIT, 2022). Os semáforos foram localizados conforme o site MapaRadar, o qual possui a localização dos radares de velocidade e semáforos de todo o Brasil, foram localizados 39 pontos com cruzamentos de semáforos no bairro (MAPARADAR, 2022).

Além disso, foram mapeados os trajetos das linhas de ônibus que atravessam o bairro Centro na capital sergipana, conforme dados disponibilizados pelo site da SMTT (2022) (Figura 28). Circulam cerca de 52 linhas de ônibus ao longo das vias deste bairro, sendo elas: 001, 002, 003, 004, 005, 007, 008, 021, 032.1, 032.2, 051, 601, 701, 702, 705, 710, 712, 713, 704, 703, 714, 715, 716, 718, 719, 717, 722, 051, 031, 702, 035, 200.1, 200.2, 061, 615, 032.1, 034, 606, 033, 1001, 1001.C, 1002, 1002.A, 1002.B, 1003.A, 1003.C, 032.2, 709, 708, 720, 711, 615. Os trechos em que circulam apenas as linhas que estão ativas somente durante a madrugada, entre 01:30 hora a 03:30 horas da manhã, como as linhas 1001, 1001.C, 1002, 1002.A, foram destacados no mapa, pois percorrem trechos diferentes das linhas que circulam no período diurno, sendo este o período caracterizado pelo mapa de ruído do bairro proposto. A espacialização da circulação do transporte público auxiliaram na caracterização da via ao inserir os dados do fluxo de veículos pesados, assim como na escolha dos pontos de medição.

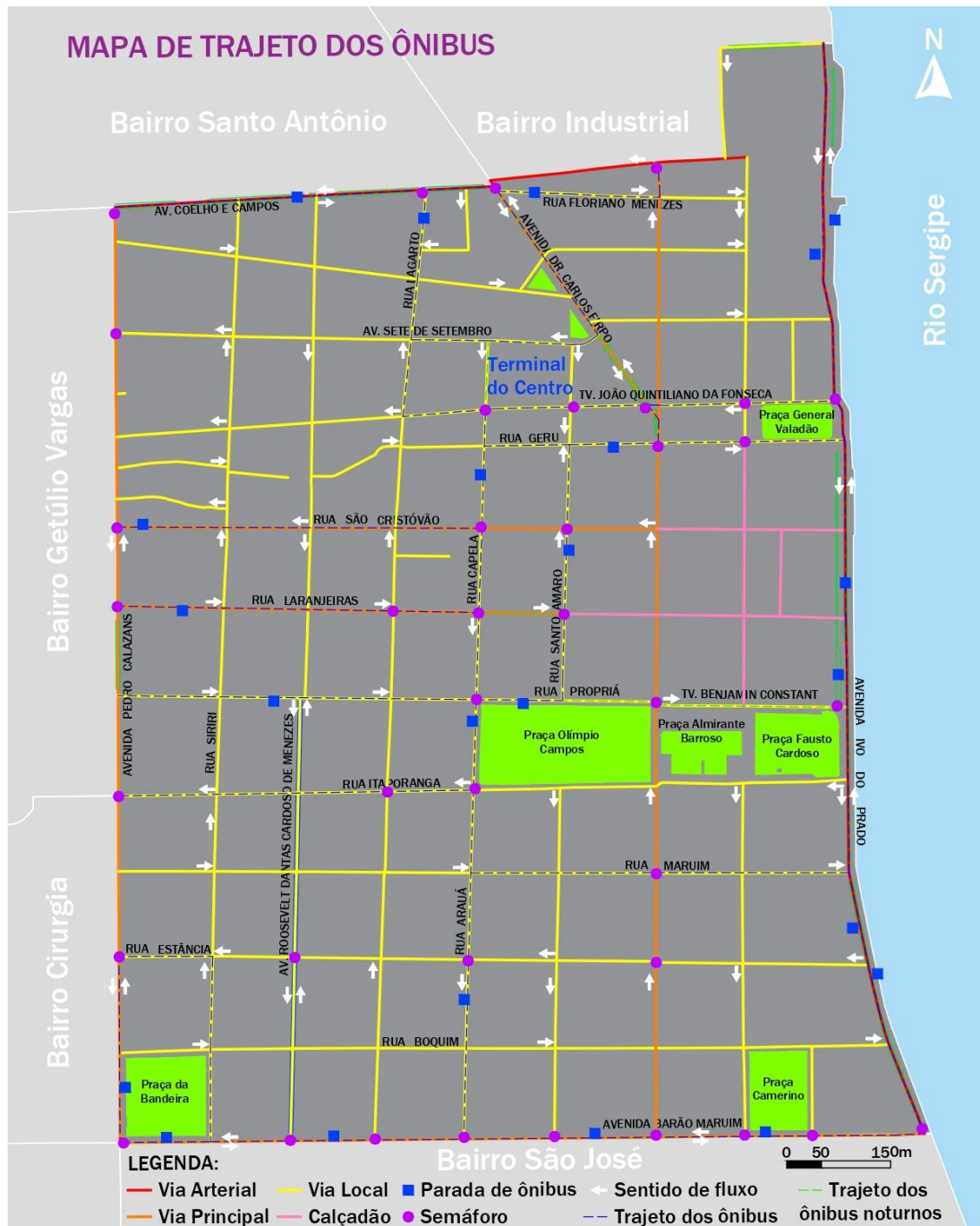


Figura 28 - Mapa de trajeto dos ônibus
Fonte: Elaborado pela autora no software AutoCAD.

3.2. Etapa II: Pesquisa de campo

Nesta etapa evidenciou-se o levantamento de dados sonoros por meio de medições de níveis de pressão sonora em locais de meio de quadra na calçada e em um cruzamento entre vias com a presença de semáforos. Assim como, simultaneamente a contagem de veículos divididos em três categorias: motocicletas, veículos leves (ex.: carro, kombi, towner, pick-up,

van...), e veículos pesados (ex.: micro-ônibus, ônibus e caminhão). Apesar do método de cálculo adotado (RLS-90) no *software* acústico considerar apenas veículos leves com peso inferior a 2,8 t e pesados acima, preferiu-se separar as motocicletas de veículos leves, pois possuem um espectro sonoro diferente dos demais. O modelo da ficha utilizada para contagem de veículos está no Apêndice A.

3.2.1. Definição dos locais de medição sonora

Observando os condicionantes físico-ambientais e urbanos do bairro Centro do município de Aracaju/SE evidenciados, pode-se determinar a localização de alguns pontos de medição do nível de pressão sonora local. Inicialmente foram determinados dez pontos de medição (Figura 39), sendo caracterizados a seguir:

Ponto 1: Está localizado na via local, tv. João Quintiliano da Fonseca, a qual possui vários semáforos em sua extensão e ela canaliza todos os ônibus que chegam ao Terminal Rodoviário do Centro. Assim, supõe-se que apesar de ser considerada como via local, ela contém um fluxo maior de veículos pesados, e conseqüentemente, maiores níveis de ruído do que outras vias locais (Figura 29).

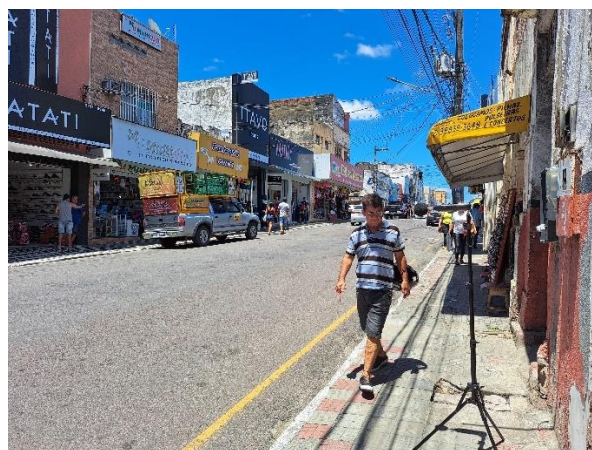


Figura 29 - Ponto 1
Fonte: A autora.



Figura 30 - Ponto 2

Fonte: A autora.

Ponto 3: Situa-se na rua São Cristóvão, via principal em trecho onde circulam os micro-ônibus de transporte intermunicipal, os quais contribuíram com maiores níveis de ruído rodoviário (Figura 31).



Figura 31 - Ponto 3

Fonte: A autora.



Figura 32 - Ponto 4

Fonte: A autora.

Ponto 5: Localiza-se no cruzamento entre calçadas para melhor caracterizar a acústica urbana com apenas a circulação de pessoas (Figura 33).



Figura 33 - Ponto 5

Fonte: A autora.



Figura 34 - Ponto 6

Fonte: A autora.

Ponto 7: Está situado no cruzamento entre duas vias locais sem semáforo, onde apenas na rua Arauá (sentido norte-sul) circulam os ônibus de transporte público, havendo provavelmente fluxo maior de veículos pesados, se comparado à rua estância (sentido leste-oeste) (Figura 35).



Figura 35 - Ponto 7

Fonte: A autora.



Figura 36 - Ponto 8
Fonte: A autora.

Ponto 9: Localiza-se ao longo da via arterial, av. Coelho e Campos, onde há o predomínio de uso e ocupação do solo comercial e apesar de haver grande circulação de veículos, sua intensidade é menor do que na via arterial av. Ivo do Prado (Figura 37).



Figura 37 - Ponto 9
Fonte: A autora.

Ponto 10: Está situado na via local av. Sete de Setembro, em que há reduzida circulação de veículos, com a adição dos micro-ônibus de transporte intermunicipal (Figura 38).



Figura 38 - Ponto 10
Fonte: A autora.

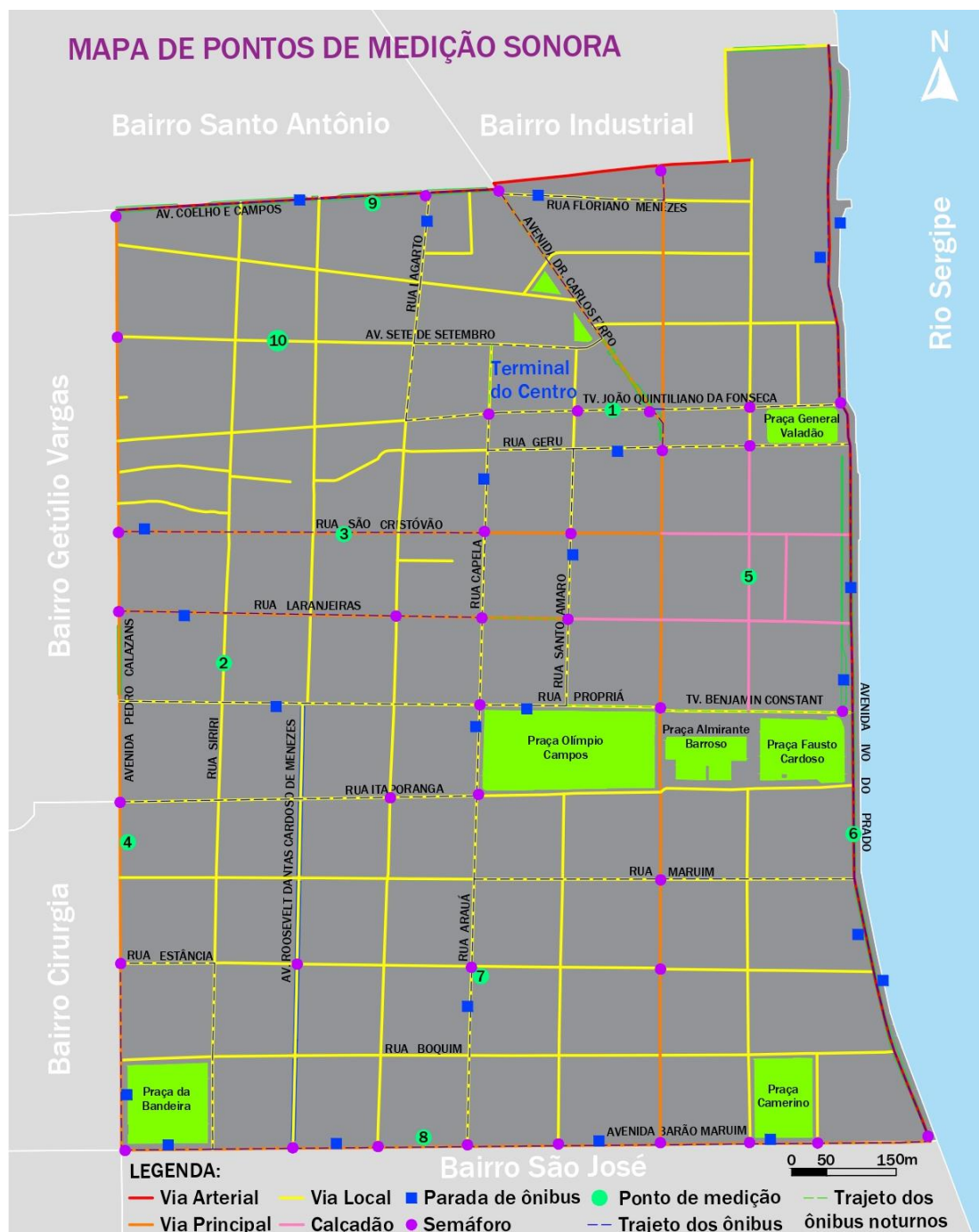


Figura 39 - Mapa de localização dos pontos de medição
Fonte: Elaborado pela autora no software AutoCAD.

3.2.2. Coleta de dados sonoros e de tráfego

As medições de níveis de pressão sonora foram realizadas com a finalidade de caracterizar acusticamente as principais fontes de tráfego rodoviário (fontes lineares). Somente um dos pontos de medição está localizado em um cruzamento entre vias com semáforo, a fim de verificar a resposta do Cadna-A a esta situação, os demais foram definidos em meio de quadra, onde também ocorreu a contagem de veículos. Evitou localizar pontos próximos às

paradas de ônibus, pois devido ao desgaste irregular dos tambores, é comum os ônibus urbanos emitirem guinchos estridentes a cada parada do veículo, elevando os níveis sonoros.

Os níveis de pressão sonora das fontes lineares não foram inseridos no modelo de simulação acústica, apenas serviram para validar/calibrar o modelo desenvolvido de acordo com a realidade. O fluxo de veículos computado foi classificado por peso do veículo: motocicletas, leves e pesados, apesar do método de cálculo disponível (RLS-90) não diferenciar motocicletas de veículos leves. Preferiu-se separar as motocicletas de veículos leves, pois possuem um espectro sonoro diferente dos demais e podem ser mais ruidosas do que os demais veículos leves, considerado como veículo pesado em alguns trabalhos (BRASILEIRO-MENESES, 2021). Porém, na presente pesquisa as motocicletas representaram bem a realidade consideradas como veículos leves, conforme recomendação da RLS-90.

Os calçadões para pedestres, caracterizados pelo ponto de medição 05, foram inseridos no Cadna-A como fonte em área (*area source*), caracterizado a partir do espectro sonoro por banda de oitava em dB(A). Transformou-se o Nível de Pressão Sonora (NPS) em Nível de Potência Sonora por unidade de área (PWL'), aderindo melhor aos dados medidos. Além disso, o *software* também exige a inserção de uma constante K em decibel que eleva os níveis de potência igualmente para todo o espectro, a fim de determinar a intensidade do ruído em dB(A).

Quanto à velocidade média dos veículos, avaliou-se as estabelecidas pelo artigo 61 do Código de Trânsito Brasileiro (CTB) que determina as seguintes velocidades máximas permitidas: 60 km/h nas vias arteriais; 40 km/h nas vias coletoras/principais; e 30 km/h nas vias locais (BRASIL, 2016). No entanto, para melhor calibrar o modelo computacional da situação atual, reduziu-se 10 km/h da velocidade dos veículos das vias arteriais e principais, sendo o modelo calibrado com 50 km/h e 30 km/h para as vias arteriais e principais, respectivamente. Para verificar se está de acordo com a velocidade real de fluxo das vias, observou-se o velocímetro de um automóvel inserido no fluxo de veículos, passando por alguns pontos de medições acústicas, sendo considerada aceitável.

O tempo de medição varia conforme o tipo de fonte sonora e também local inserido, pois se houver semáforos na via, a caracterização do ruído de tráfego pode ser realizada no período de abertura e movimentação dos veículos. Dentre as referências bibliográficas levantadas o tempo de medição pode variar de 3 a 15 minutos, sendo simultaneamente contado o fluxo de veículos. Para esta pesquisa, o tempo de medição escolhido foi de 10 minutos de duração por ponto de medição, no turno matutino (09:00h às 11:00h) e no horário de pico (12:00h às 13:30h). Para melhor caracterizar a fonte sonora analisada, o tráfego rodoviário, no

período diurno foram realizados três registros por turno em cada ponto. Ou seja, em cada ponto foram realizadas três medições no período matutino e outras três no horário de pico, totalizando seis registros dos níveis sonoros por ponto de medição, sendo feita uma média logarítmica de todas as medições para cada ponto. As medições ocorreram em dias típicos de semana (terças, quartas e quintas-feiras) evitando dias com dinâmicas atípicas de circulação de pessoas e veículos como segundas-feiras, sextas-feiras e finais de semana. Nas datas em 2023: 31/01, 01/02, 02/02, 07/02, 08/02 e 09/02.

Esses horários foram determinados, após o teste-piloto realizado entre 29/11/22 e 01/12/22, observou-se que fluxo de veículos é semelhante no turno matutino e vespertino, logo adotou-se o turno matutino. Em visitas exploratórias às vias arteriais e principais nos horários de pico, observou-se que apesar do pico manhã (6:00h às 08:30h) conter um elevado fluxo de veículos, havia também um maior acionamento de buzinas, as quais se caracterizam como som intrusivo à medição do ruído de tráfego. Assim, adotou-se o horário de pico ao meio-dia (12:00h às 13:30h), a fim de captar um fluxo contínuo de veículos, evitando congestionamentos e com pouca interferência de sons que atrapalhem o registro da medição. O pico noturno (17:30h às 19:00h) foi o horário com menor fluxo de veículos.

Para a realização das medições acústicas, utilizou-se o equipamento de medição sonômetro Modelo SoundTrack LxT e calibrador Modelo CAL200 ambos da marca Larson Davis classe 1 com maior precisão, cedidos pela Profa. Dra. Tereza Raquel do Departamento de Fonoaudiologia (DFO-UFS), *Campus* São Cristóvão (Figura 40). A obtenção do nível de pressão sonora foi feita utilizando a curva de ponderação "A" com o tempo de integralização de resposta rápida (*fast*) e o microfone foi afastado no mínimo de 1,5 m do solo e 2,0 m de paredes. O aparelho foi calibrado no início do período de aquisição dos dados e ao término das medições com uso do calibrador para verificar sua precisão, conforme a NBR 10.151 (ABNT, 2019).



Figura 40 - Imagem do sonômetro e calibrador Larson Davis Classe 1
Fonte: A autora.

3.3. Etapa III: Simulação computacional

A fim de gerar o mapa de ruído rodoviário do bairro Centro de Aracaju-SE no *software* Cadna-A é necessário inserir uma série de dados referentes ao universo de estudo: condicionantes físico ambientais, parâmetros de tráfego, acústicos e meteorológicos. Os parâmetros acústicos, por sua vez, obtidos por meio de medições em campo, foram usados para calibrar o modelo, isto é, comparar os valores medidos em campo com os resultados gerados pelo Cadna-A. O processo de inserção de dados ocorreu seguindo as etapas, adaptado de Florêncio (2018):

1. **Inserção da topografia:** Com as curvas de nível da base altimétrica georreferenciada disponibilizada pela Secretaria Municipal do Planejamento, Orçamento e Gestão (SEPLOG) de Aracaju-SE no *software* AutoCAD 2D;
2. **Inserção das vias e semáforos:** As vias foram representadas por uma linha de eixo central contínua, caso houvesse um canteiro central, pode-se separar o fluxo viário de cada sentido e representar através de uma fonte linear para cada eixo de rolamento. Para cada classificação viária conforme o PDDU (ARACAJU, 2000) foram atribuídos os dados de fluxo veicular, velocidade dos veículos, tipo de pavimentação da via e largura. Inseridas essas propriedades, ajustou-se com base na topografia para que os elementos fiquem acima desta;

3. **Adição de áreas verdes:** Para auxiliar na absorção do ruído através de áreas com vegetação densa com mais de 15 metros de largura, no qual pode-se definir a altura. No caso do bairro Centro, apesar de haver vegetação arbórea nas praças, não há vegetação densa. Portanto, nestes locais não foi adicionada *foliage region*, a absorção do solo foi a padrão do Cadna-A para toda a área de análise;
4. **Inserção das edificações:** A partir do contorno das edificações realizado no *software* AutoCAD 2D e separado em camadas por gabarito de altura, foram importadas as edificações por gabarito, sendo transformadas em *building*, e posteriormente adicionou-se a altura. Observa-se a altura das edificações a partir do elemento abaixo, ou seja, da topografia;
5. **Área de simulação e receptores pontuais:** O mapa de ruído é gerado dentro de uma área de cálculo, podendo ser horizontal (*calculation area*) ou vertical (*vertical grid*). Nestas áreas se deve definir a distância da malha de pontos de cálculo e a altura. A definição da malha cálculo depende da escala do recorte de estudo e do objetivo do trabalho, a malha horizontal definida foi de 5 x 5 metros para calibrar o modelo com as medições *in loco* e evitar a falta de curvas isofônicas no miolo das quadras. A altura do receptor e da malha de cálculo foram as mesmas do sonômetro utilizado no momento da medição (1,50 m);
6. **Geração dos mapas de ruído:** Na aba de cálculo do Cadna-A deve-se atribuir as algumas propriedades: a malha de cálculo, o número de reflexões (uma reflexão), o raio de abrangência da fonte sonora (raio máximo de 1.000). Ao término do cálculo, o programa gerou planilhas com os resultados e foram definidas as propriedades do mapa como as cores de cada faixa de ruído e o intervalo a cada variação de 5 dB. O padrão de cores utilizado foi desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa GEAS (UFAL).

Para validação deste mapa conforme a situação atual foi considerada uma faixa de variação dos níveis sonoros simulados de ± 3 dB em comparação com os dados sonoros medidos. A APA considera um mapa de ruído válido quando a variação é de até ± 2 dB, já a Comissão Europeia (WG-AEN, 2006) recomenda que a diferença entre o valor medido e simulado não deve exceder $\pm 4,6$ dB, logo ± 3 dB é considerado um limite aceitável.

Para análise estatística da população exposta ao ruído rodoviário no Bairro Centro, foi utilizado o *software* QGIS para espacializar as residências e os residentes em cada edificação. A partir da pesquisa documental, se buscou no Anuário Estatístico 2021 os dados demográficos, no qual há a população residente por bairro de Aracaju do ano de 2010 e uma estimativa de

2019. Estes dados são os mais atualizados, retirados do Censo 2010 (IBGE), uma vez que o censo é realizado a cada dez anos, porém em 2020 não ocorreu o levantamento em virtude da pandemia do Coronavírus e os resultados do Censo 2022 ainda não foram divulgados.

A metodologia adotada foi adaptada ao padrão construtivo brasileiro. Pois, apesar do cálculo da Diretiva da Comissão Europeia 996 L 168 (EU, 2015) considerar o volume da edificação, no Bairro Centro há edificações residenciais de diversos padrões e áreas desde 60 m² a até 150m², como também, nas residências multifamiliares há, pelo menos, um pavimento de uso comum e um de garagem. Assim, após levantamento da caracterização do uso e ocupação do solo, o número de unidades habitacionais foi computado, observando a quantidade de habitações em edifícios. A média de moradores por domicílio particular permanente, determinado conforme o Anuário Estatístico (2,89), foi computada para cada pavimento das residências, e multiplicado pelo número de unidades habitacionais, no caso de multifamiliares. Assim, obteve-se uma estimativa de moradores dentro da população prevista. Assim, foram computados 2754 domicílios com o total de 7959 residentes no Bairro Centro.

A partir da espacialização dos residentes e comparação com o mapa de ruído do horário de pico, foram gerados mapas de conflito evidenciando as edificações que estão expostas a níveis de ruído além do limite estabelecido pela NBR 10.151 (ABNT, 2019) de 60 dB (LAeq). Assim, a fim de também caracterizar a Classe de Ruído do entorno, segundo o Manual da ProAcústica por exigência da NBR 15.575, foram destacadas as residências expostas a níveis aceitáveis pela norma (Classe 1 $\leq$ 60 dB), ao excesso até 5 dB (Classe 2 entre 61 a 65 dB), entre 5 e 10 dB (Classe 3 entre 66 a 70 dB) e acima de 10 dB com a sua respectiva população. Para elaboração dos mapas no programa QGis foram inseridos em cada edificação do bairro, os níveis sonoros mais elevados aos quais as fachadas estavam expostas no mapa de ruído. Posteriormente, o cruzamento das informações demográficas e de ruído resultou no mapa de conflito desejado.

Além do mapa de ruído geral, também foram analisados com mais detalhes, cinco recortes dentro da área de análise para observar mais de perto o comportamento e níveis de ruído de tráfego rodoviário. Estes recortes apresentam características morfológicas distintas, passíveis de comparação, contendo usos sensíveis ao ruído, edificações com gabarito variado e também áreas mais e menos densas. Descritas a seguir e localizadas na Figura 41:

- **Recorte 1:** Região com residências unifamiliares expostas a até 10 dB acima do limite aceitável;

- **Recorte 2:** Calçada de pedestres
- **Recorte 3:** Praças Olímpio Campos, Almirante Barroso e Fausto Cardoso;
- **Recorte 4:** Região com residência multifamiliar exposta a até 5 dB de ruído além do limite aceitável;
- **Recorte 5:** Região com residências multifamiliares expostas entre 5 dB e 10 dB e além de 10 dB de ruído além do limite aceitável.



Figura 41 - Localização dos recortes de análise
 Fonte: Google Maps adaptado pela autora.

4. Resultados e discussões

4.1. Medições e fluxo de tráfego veicular

A área de estudo analisada referente ao Bairro Centro de Aracaju-SE apresenta níveis de ruídos elevados, como se pode observar na Figura 42, na qual todos os pontos de medição ultrapassaram o limite de ruído aceitável para área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa, de 60 dB (LAeq) no período diurno. Os níveis sonoros do período matutino e horário de pico se mostraram bastante similares, reflexo da similaridade de fluxo de veículos nas vias em ambos os horários de medição. No entanto, o horário de pico foi adotado para análise do mapa de conflito e população exposta por apresentar maiores níveis na maioria dos pontos.

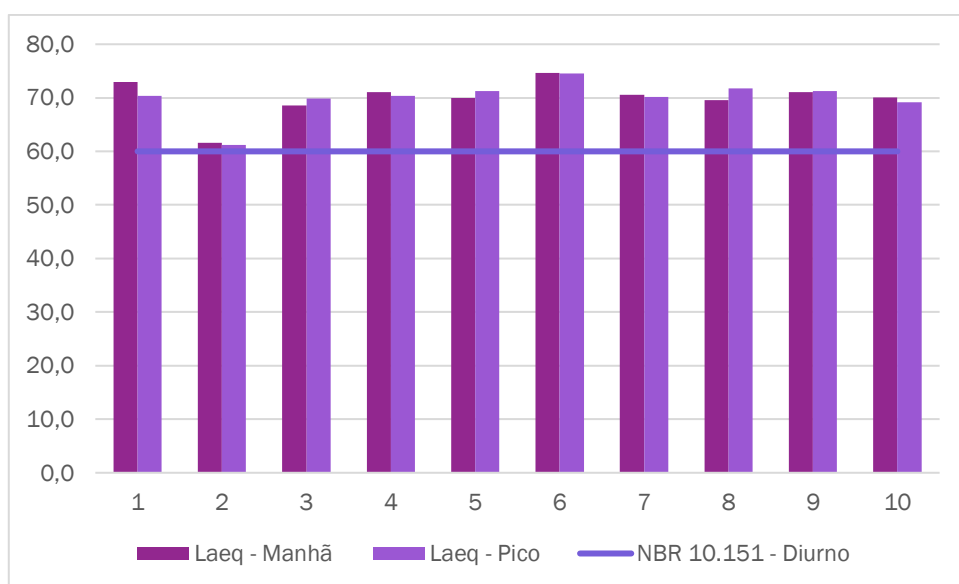


Figura 42 - Comparação entre os níveis medidos e a NBR 10.151

Fonte: A autora.

Para a calibração do modelo realizado no Cadna-A foi realizada uma comparação das medições em campo com o resultado das simulações. Assim, a calibração para os períodos de registro sonoro é mostrada na Tabela 4. Verifica-se que todos os valores obtiveram variações de no máximo ± 3 dB (LAeq), ou seja, dentro de uma faixa aceitável para validação dos mapas de ruído. Vale lembrar que esses valores representam uma média logarítmica das três medições realizadas em cada sessão e ponto, gerando o Nível de Pressão Sonora Equivalente Ponderado em 'A' (LAeq).

Tabela 4 - Comparação das medições em campo com as simulações

Ponto	LAeq Medido (dB)		LAeq Simulado (dB)		Diferença	
	Manhã	Pico	Manhã	Pico	Manhã	Pico
1	73,0	70,4	72,5	72,8	0,5	-2,4
2	61,6	61,2	62,3	62,9	-0,7	-1,7
3	68,6	69,9	68,9	68,3	-0,3	1,6

Continua...

Continuação...

4	71,1	70,4	70,7	70,3	0,4	0,1
5	70	71,3	70,3	70,3	-0,3	1,0
6	74,6	74,5	75,1	75,4	-0,5	-0,9
7	70,6	70,2	69,3	70,3	1,3	-0,1
8	69,6	71,8	72,1	73	-2,5	-1,2
9	71,1	71,3	72,1	71,8	-1,0	-0,5
10	70,1	69,2	68,6	67,3	1,5	1,9

Fonte: A autora.

A contagem de veículos dos dez pontos foi realizada simultaneamente às medições de NPS. O *software* de simulação utilizado considera o número de veículos por hora e a porcentagem de veículos pesados. Assim, foi realizada uma média aritmética da quantidade de veículos por categoria e multiplicou-se o resultado por 6, uma vez que o tempo de registro foi de 10 min. A Tabela 5 reúne o quantitativo e composição do fluxo de veículos, a localização do ponto com a classificação viária do plano diretor, a circulação ou não de ônibus de transporte coletivo municipal (*bus*) e micro-ônibus de transporte coletivo intermunicipal (*microbus*) e data da coleta. As motocicletas foram computadas a parte, mas inseridas como veículos leves no modelo, conforme o método de cálculo RLS-90. No ponto 5 não houve contagem de veículos, pois ocorreu no calçadão de pedestres da rua José do Prado Franco. Nos pontos 6 e 9 os registros foram localizados no canteiro central das avenidas para captar mais diretamente o ruído veicular.

Tabela 5 - Contagem de Veículos Leves (V.L.), Veículos Pesados (V.P.) e Motos

Ponto	Local	Data	Período	Somatório para 1 hora			Total	% Pesados
				V.L.	V.P.	Motos		
1 - local com bus	Tr. João Q. da Fonseca	08/02/2023	M	574	54	182	810	7%
		08/02/2023	P	590	52	300	942	6%
2 - local sem bus	Rua Siriri	31/01/2023	M	218	0	54	272	0%
		31/01/2023	P	162	4	66	232	2%
3 - princ. com bus	Rua São Cristóvão	08/02/2023	M	562	40	160	762	5%
		08/02/2023	P	540	32	172	744	4%
4 - princ. sem bus	Av. Pedro Calazans	31/01/2023	M	1494	32	438	1964	2%
		31/01/2023	P	1482	28	582	2092	1%
6 - arterial com bus	Av. Ivo do Prado (canteiro)	07/02/2023	M	2036	120	732	2888	4%
		02/02/2023	P	2234	154	712	3100	5%
7 - local com bus + semáforo	Rua Arauá	01/02/2023	M	574	30	182	786	4%
		01/02/2023	P	620	32	182	834	4%
	Rua Estância	01/02/2023	M	252	10	48	310	3%
		01/02/2023	P	332	12	60	404	3%
8 - princ. com bus	Av. Barão de Maruim	01/02/2023	M	1378	76	300	1754	4%
		01/02/2023	P	1272	112	380	1764	6%
		09/02/2023	M	1470	156	546	2172	7%

Continua...

Continuação...

9 - arterial com bus	Av. Coelho e Campos (canteiro)	09/02/2023	P	1340	146	546	2032	7%
10 - local com microbus	Av. Mamede Paes Mendonça	09/02/2023	M	236	50	72	358	14%
		09/02/2023	P	182	34	116	332	10%

Fonte: A autora.

Nota-se que a porcentagem de veículos leves é bem maior do que de veículos pesados e de motos. A quantidade de motos varia muito independente da classificação viária, chegando a compor em vias locais: 35% do fluxo do Ponto 10, 32% no Ponto 1 e entre 15% a 23% no Ponto 7. No Ponto 10 houve o maior percentual de veículos pesados [14% pela manhã (M) e 10% no pico meio-dia (P)], pois compõe a rota utilizada por micro-ônibus de transporte intermunicipal para sair de Aracaju-SE. Assim, apesar desta via possuir o menor fluxo de veículos dentre as demais, seus níveis de ruído não são baixos (M=70,1 dB e P=69,2 dB) e são equiparáveis ao cruzamento entre duas vias locais com semáforo (Ponto 7) e ao nível do ambiente sonoro do calçamento de pedestres (Ponto 5).

As vias arteriais possuem o maior fluxo de veículos, na av. Ivo do Prado (Ponto 6), 2888 veículos/hora pela manhã e 3100 no horário de pico e na av. Coelho e Campos (Ponto 9), 2172 veículos/hora pela manhã e 2032 no horário de pico, ambas com pequeno fluxo de veículos pesados, entre 4% e 7%. Devido ao grande fluxo, o Ponto 6 também apresenta os maiores níveis sonoros registrados, M=74,6 dB e P=74,5 dB. Já os Pontos 9 e 4 apresentam níveis semelhantes, assim como o número de veículos. No Ponto 1 no período matutino havia menos veículos circulando do que no horário de pico, no entanto os níveis de ruído pela manhã foram mais elevados (M=73 dB e P=70,4 dB). Este fato ocorreu devido à presença de carros de som que circularam nesta via em todas as três medições pela manhã, enquanto que no horário de pico não houve essa interferência. Assim, o mapa de pico será utilizado nas próximas análises.

A via mais silenciosa ocorreu no Ponto 2, na rua Siriri, na qual praticamente não circula veículos pesados e é a mais próxima dos limites estabelecidos pela NBR 10.151 de 60 dB para o período diurno, registrando pela M=61,6 dB e P=61,2 dB. O Ponto 3, é o segundo mais silencioso, porém com níveis que extrapolam pelo menos 9 dB do limite aceitável, com circulação de poucos veículos pesados. A via arterial Barão de Maruim (Ponto 8), apesar de conter menos fluxo de veículos (M=1754 e P=1764), se comparada com os Pontos 4 e 9, possui níveis semelhantes, este fato pode ter ocorrido devido aos diversos semáforos em sua extensão, os quais geram um aumento entre 1 e 2 dB, quando inseridos.

4.2. Mapas de ruído do Bairro Centro

Após inserção dos dados morfológicos, de tráfego e sonoros, conforme apresentado na metodologia, gerou-se os mapas de ruído de tráfego rodoviário do Bairro Centro em Aracaju-SE para o período diurno e de pico meio-dia. O mapa foi calibrado dentro da faixa aceitável de ± 3 dB de variação das médias do LAeq obtidas, os níveis de ruído estão na Tabela 4. A Figura 43 evidencia os mapas dos dois períodos de medição com as curvas isofônicas interpoladas e com os receptores nos pontos de registro. Devido a pouca variação de nível de ruído, não fica clara a diferença no mapa, pois os intervalos de análise são a cada 5 dB e os níveis variaram dentro dessa faixa.

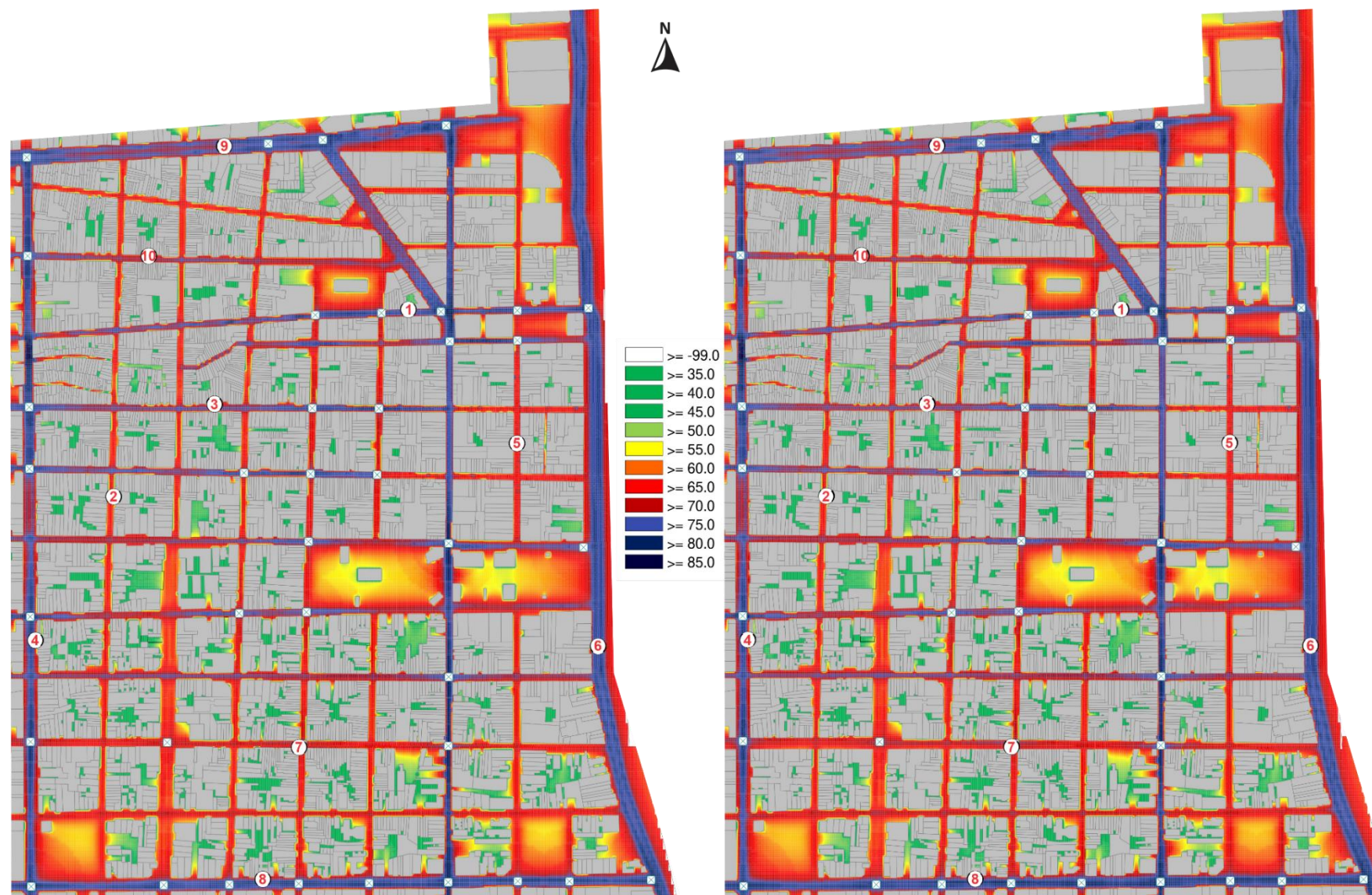


Figura 43 - Mapa de ruído matutino (esquerda) e de pico (direita) da situação real [LAeq]
 Fonte: Elaborado pela autora no software Cadna-A.

É perceptível que os níveis mais elevados, cores mais escuras, estão nas vias principais e arteriais, as quais possuem maior fluxo de veículos. Tanto na av. Ivo do Prado (Ponto 6) e na av. Coelho e Campos (Ponto 9) há um canteiro central, logo o fluxo registrado foi dividido igualmente para cada os dois eixos das faixas de rolamento, atingindo entre 75 dB e 80 dB. Um trecho da av. Pedro Calazans (próximo ao Ponto 4) possui um canal central, assim a divisão do fluxo para ambos os sentidos gerou uma redução do nível sonoro, apresentando redução da cor azul escura e predomínio da cor vermelha, até 70 dB. Os quadrados brancos representam os semáforos, havendo aumento do nível de ruído onde se encontram, esta situação ocorre com a presença de cores mais escuras nestes cruzamentos entre vias, como, por exemplo, próximo aos Pontos 1, 4, 7 e 8.

Ao aumentar a distância da fonte de ruído linear, percebe-se a presença da cor amarela, principalmente, nas praças e próximo às edificações, com nível sonoro de até 60 dB, limite aceitável, segundo a NBR 10.151. A cor verde representa níveis mais amenos de ruído, até 55 dB, e estão presentes em miolos de quadra e próximos às edificações, as quais funcionam como barreira de ruído atenuando os níveis sonoros.

4.3. Mapa de conflito entre ruído e Classes de Ruído

O objetivo deste mapa de conflito foi observar melhor os níveis de ruído que atingem as fachadas com as curvas isofônicas (Figura 44). Os níveis especificados no Manual da PróAcústica correspondem ao intervalo de análise em dB(A). Apesar das principais vias atingirem níveis maiores que 70 dB, mais próximo às fachadas à medida que se distancia dos cruzamentos entre vias, os níveis são reduzidos, como ocorre ao longo da av. Ivo do Prado (Ponto 6) na região norte próximo ao Ponto 5. Na rua Siriri (Ponto 2) também ocorre o mesmo fenômeno, em que o nível máximo está entre 65 dB e 70 dB, porém mais próximo às fachadas há níveis menores que 65 dB. Alguns recortes serão analisados mais detalhadamente a seguir.



Figura 44 - Mapa de conflito (pico meio-dia) [LAeq]
 Fonte: Elaborado pela autora no *software* Cadna-A.

4.4. Mapas de conflito entre ruído e população exposta

Os níveis sonoros encontrados no mapa de conflito foram cruzados com a população residente no Bairro Centro, a fim de analisar a exposição da população ao ruído. Estes dados foram inseridos no QGIS e a quantidade de residentes foi seccionada em intervalos de 10, 20, 50, 100, 200 e mais de 200 pessoas, já que este limite se aproxima à máxima densidade encontrada em residências multifamiliares. Foram gerados quatro mapas: mapa da exposição

das pessoas em edificações sem conflito (≤ 60 dB); mapa da exposição das pessoas em edificações com conflito entre 0 e 5 dB (entre 60 e 65 dB); mapa da exposição das pessoas em edificações com conflito entre 5 e 10 dB (entre 65 e 70 dB); mapa da exposição das pessoas em edificações com conflito acima de 10 dB (> 70 dB).

A Figura 45 espacializa as edificações residenciais sem conflito, cada cor representa uma população e as edificações em branco não se inserem nesta faixa de análise de até 60 dB. Observa-se que 99% dos domicílios atingidos (879) possuem até 10 residentes, ou seja, uma população total de 3350 moradores, há 4 edificações com até 20 residentes (total de 46 moradores), 2 edificações com até 50 residentes (total de 81 moradores), 1 edificação com até 100 residentes (87 moradores), 4 edificações com até 200 residentes (460 moradores) e 2 edificações com mais de 200 residentes (total de 416 moradores). Assim, 4445 moradores estão expostos a até 60 dB de ruído de tráfego, limite aceitável para área mista com predominância de uso comercial. Dentro da Classe de Ruído I, a qual exige um desempenho mínimo de isolamento acústico da fachada, onde a diferença de nível medida externamente à 2 m da fachada e internamente no dormitório deve ser ≥ 20 dB ($D_{2m,nT,w}$) com a janela aberta para haver um conforto acústico interno sem interferência do ruído exterior.

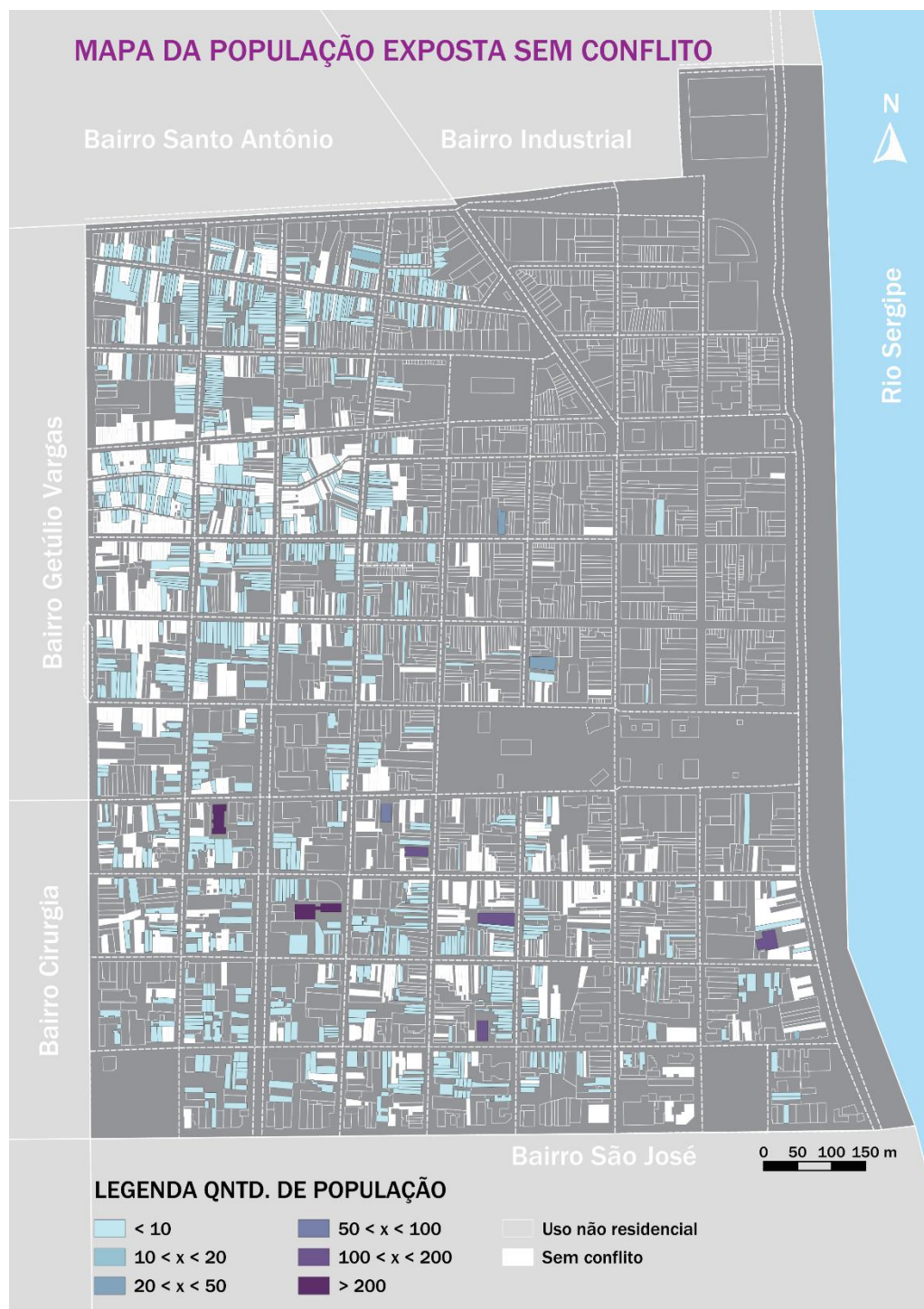


Figura 45 - Mapa da população exposta sem conflito

Fonte: Elaborado pela autora no software QGIS.

A Figura 46 espacializa as edificações residenciais com conflito de até 5 dB, cada cor representa uma população e as edificações em branco não se inserem nesta faixa de análise de 60 dB a 65 dB. Observa-se que 98% dos domicílios atingidos (368) possuem até 10 residentes, ou seja, uma população total de 1358 moradores, há 2 edificações com até 20 residentes (total de 23 moradores), não há edificações com 20 a 50 residentes, 3 edificações com até 100 residentes (194 moradores), 2 edificações com até 200 residentes (260 moradores) e 1

edificação com mais de 200 residentes (total de 208 moradores). Assim, 2.043 moradores estão expostos a até 65 dB de ruído de tráfego rodoviário. Dentro da Classe de Ruído II, a qual exige um desempenho mínimo de isolamento acústico da fachada, onde a diferença de nível medida externamente à 2 m da fachada e internamente no dormitório deve ser ≥ 25 dB ($D_{2m,nT,w}$) com a janela aberta.

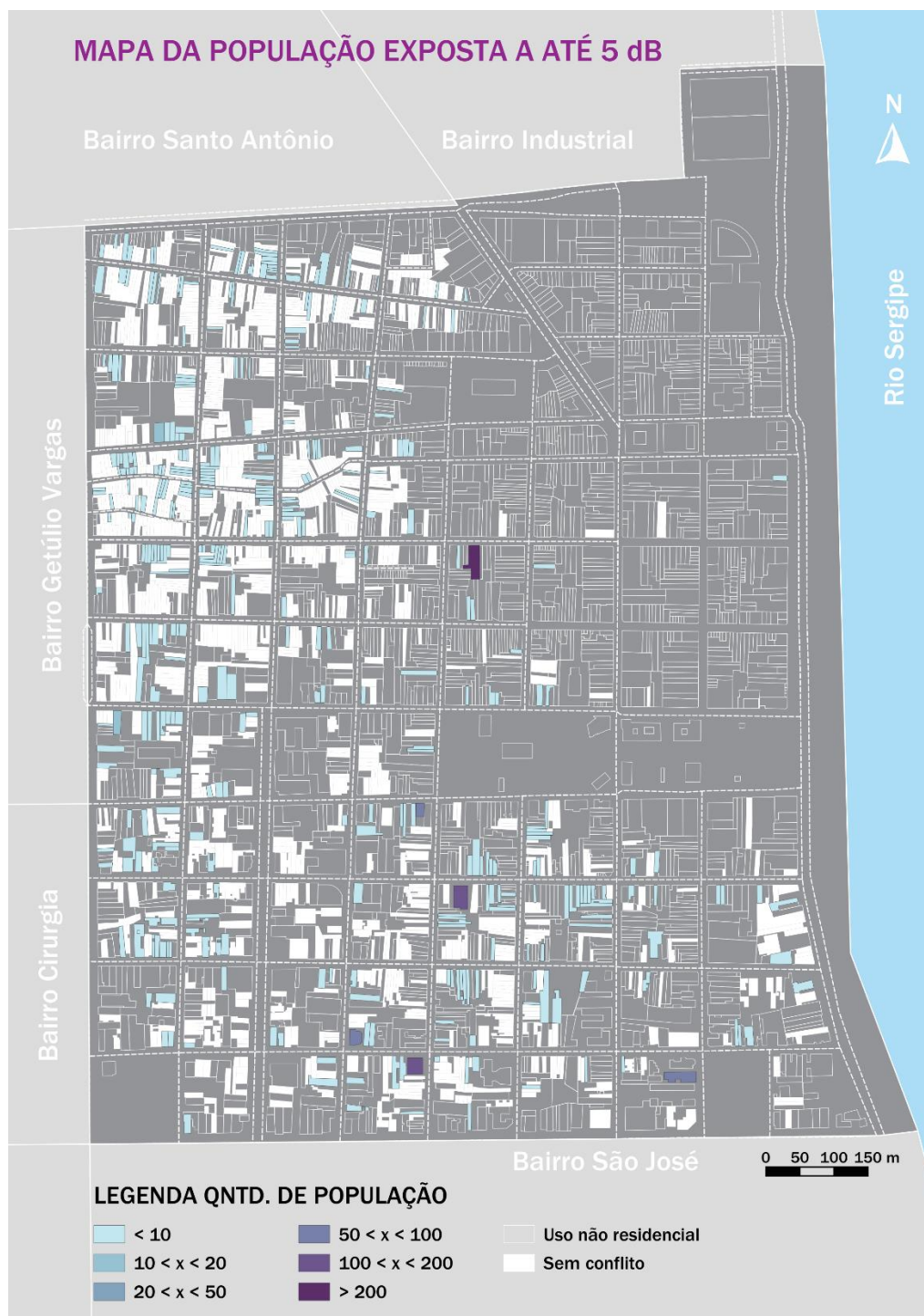


Figura 46 - Mapa da população exposta a até 5 dB acima do limite
Fonte: Elaborado pela autora no software QGIS.

A Figura 47 espacializa as edificações residenciais com conflito entre 5 e 10 dB acima da norma, cada cor representa uma população e as edificações em branco não se inserem nesta faixa de análise de até 65 dB a 70 dB. Observa-se que 99% dos domicílios atingidos (217) possuem até 10 residentes, ou seja, uma população total de 818 moradores, não há edificações no intervalo de 10 até 50 residentes, há 2 edificações com até 100 residentes (139 moradores) e não há edificações com mais de 100 residentes. Assim, 957 moradores estão expostos a até 70 dB de ruído de tráfego. Dentro da Classe de Ruído III, a qual exige um desempenho mínimo de isolamento acústico da fachada, onde a diferença de nível medida externamente à 2 m da fachada e internamente no dormitório deve ser ≥ 30 dB ($D_{2m,nT,w}$) com a janela aberta.

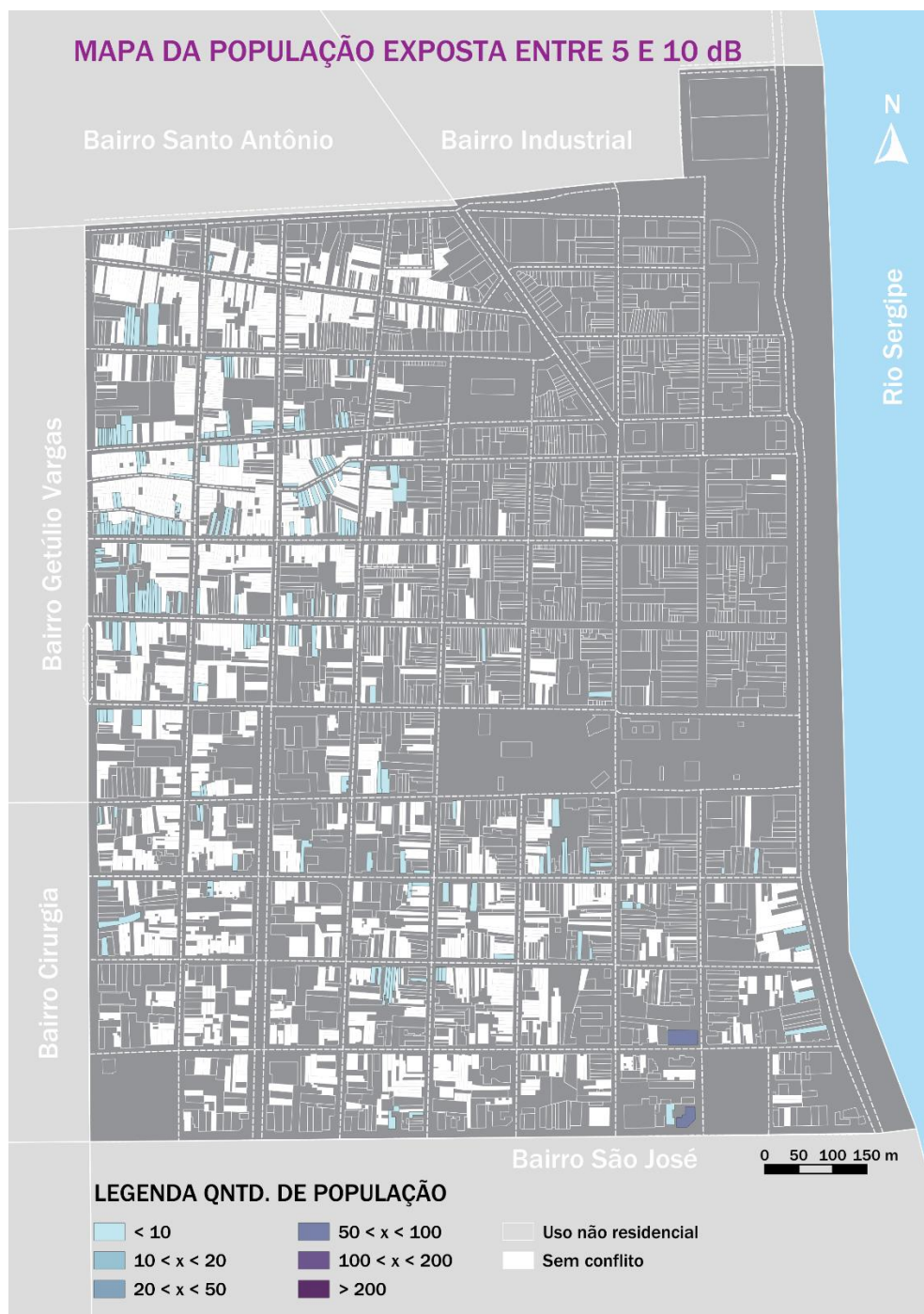


Figura 47 - Mapa da população exposta entre 5 e 10 dB acima do limite

Fonte: Elaborado pela autora no software QGIS.

A Figura 48 espacializa as edificações residenciais com conflito 10 dB acima da norma, cada cor representa uma população e as edificações em branco não se inserem nesta faixa de análise acima de 70 dB. Observa-se que 92% dos domicílios atingidos (36) possuem até 10 residentes, ou seja, uma população total de 150 moradores, há 2 edificações com até 20 residentes (29 moradores), não há edificações no intervalo de 20 até 100 residentes, há 1 edificação com até 200 residentes (139 moradores) e não há edificações com mais de 200 residentes. Assim, 318 moradores estão expostos a mais 70 dB de ruído de tráfego. Nesse caso

a NBR 15.575 (ABNT, 2013) recomenda a realização de estudos específicos para determinar qual o isolamento sonoro mínimo da fachada em estudo.

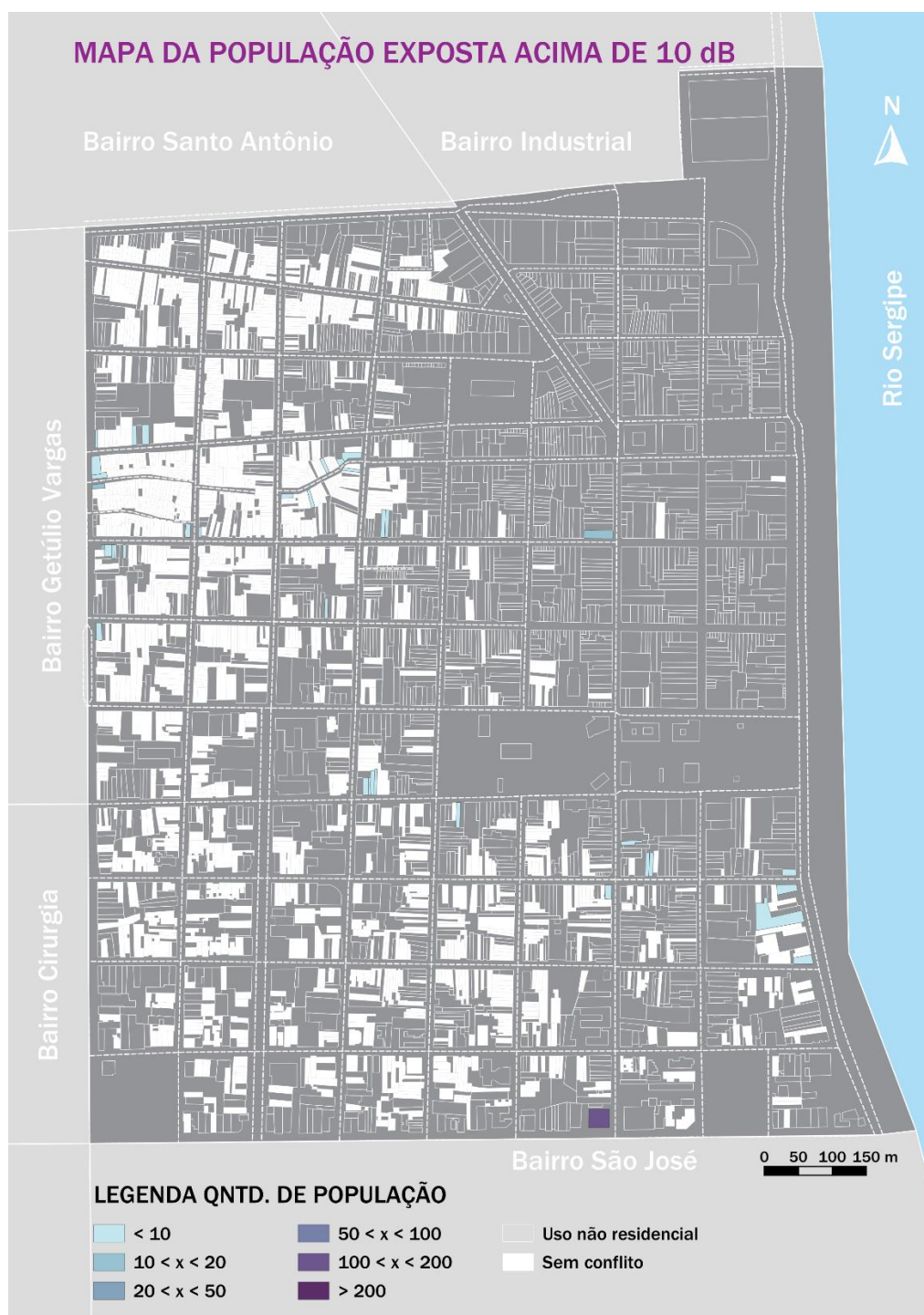


Figura 48 - Mapa da população exposta 10 dB acima do limite
Fonte: Elaborado pela autora no software QGIS.

Estas residências estão localizadas em sua maioria adjacentes a vias arteriais ou principais, onde há maior fluxo de veículos, ou em vias locais próximas ao cruzamento entre vias, o que também eleva o nível sonoro devido a proximidade e consequente contribuição de

ambas fontes de ruído. Os gráficos abaixo quantificam os residentes e as unidades habitacionais para cada faixa de conflito analisada, respectivamente, as Figura 49 e Figura 50. Ambos destacam que a maioria dos residentes e edificações estão dentro da faixa de ruído aceitável estabelecida pela norma, porém há áreas que devem ser analisadas com mais detalhes para observar como o ruído atinge as fachadas. Portanto, foram feitos os recortes para avaliar as áreas mais conflitantes e com diferentes morfologias também no sentido vertical.

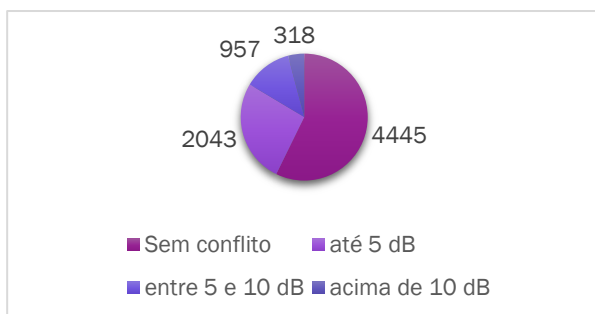


Figura 49 - Quantidade de residentes em cada faixa de conflito
 Fonte: Elaborado pela autora no Excel.

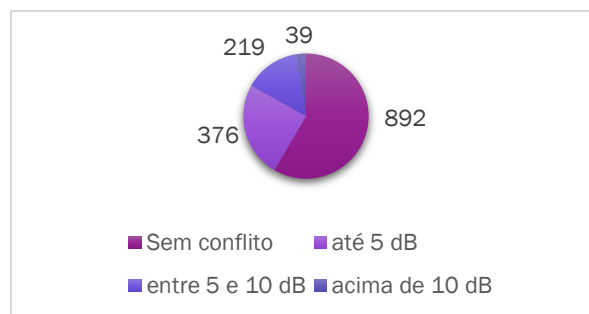


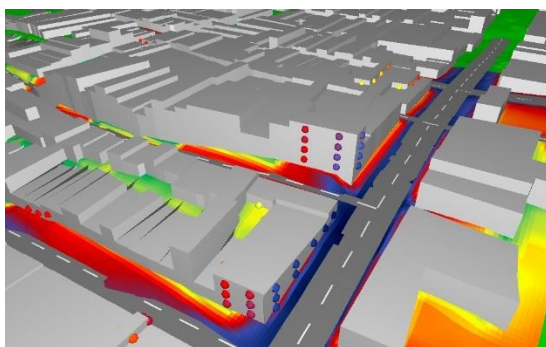
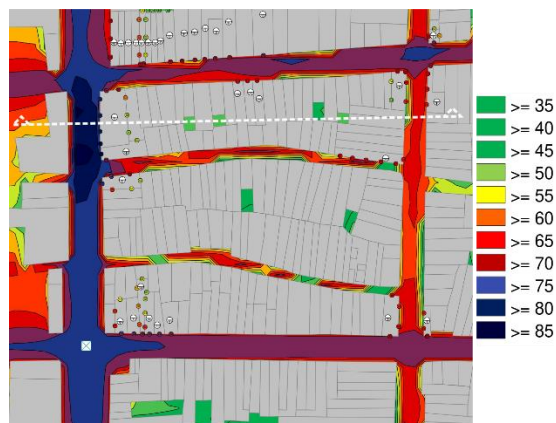
Figura 50 - Quantidade de domicílios em cada faixa de conflito
 Fonte: Elaborado pela autora no Excel.

4.5. Recortes de análise dentro do bairro Centro

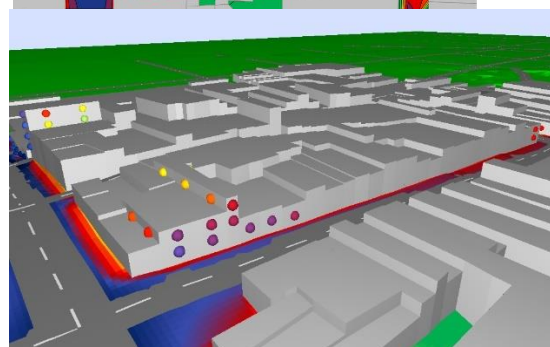
- **Recorte 1:** Região com residências expostas a diversos níveis de ruído.



Vista sentido sul na av. Pedro Calazans



Corte 1



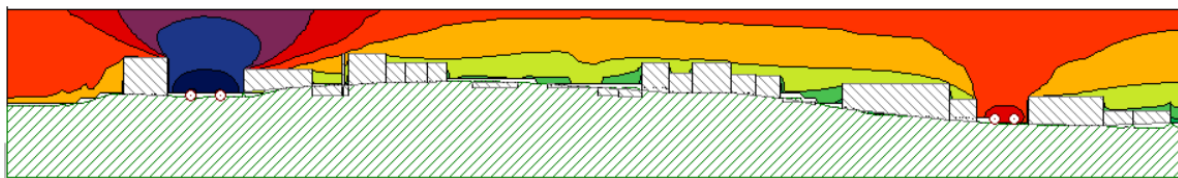


Figura 51 - Recorte 1

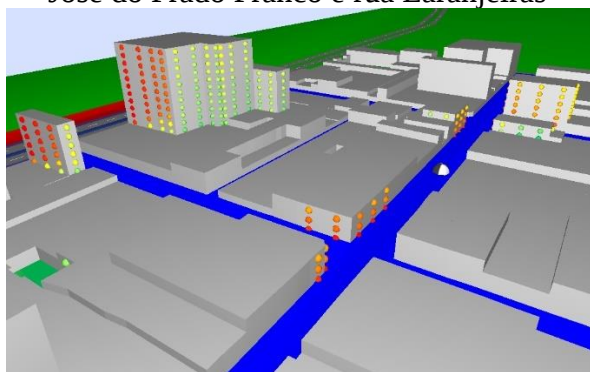
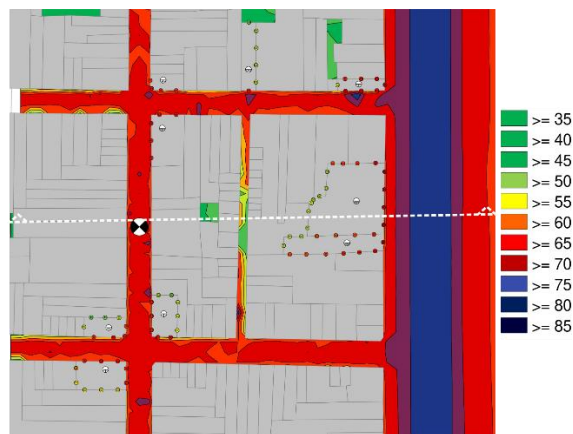
Fonte: A autora.

Esta região está localizada ao nordeste do bairro, com predomínio de uso residencial e é bastante adensada com edificações térreas, em sua maioria, chegando a até 4 pavimentos. Possui altimetria mais alta do bairro, chegando a 25 m de desnível, como é possível observar no Corte 1 (Figura 51). A maior fonte de ruído é a via arterial av. Pedro Calazans próximo ao cruzamento com uma via local. No qual em 1 edificação a fachada ficou exposta a até 82 dB, e outras entre 81 dB e 77 dB, níveis preocupantes, pois o limite aceitável é de 60 dB, exigindo também estudos específicos de isolamento de fachada, pois ultrapassa os 70 dB da Classe III de Ruído. Neste recorte também há um semáforo, sua presença não gerou maiores níveis de ruído devido ao maior distanciamento entre as edificações, pois há um terreno baldio não murado em uma esquina, o que acaba não intensificando a reflexão da onda sonora ao atingir as fachadas. Nos 3Ds os níveis sonoros foram adicionados nas fachadas das residências mais expostas mostrando como ruído de tráfego se comporta, percebe-se que ao aumentar a altura a intensidade do ruído diminui.

- **Recorte 2:** Calçada de pedestres.



Vista do cruzamento dos calçadões da rua José do Prado Franco e rua Laranjeiras



Corte 1

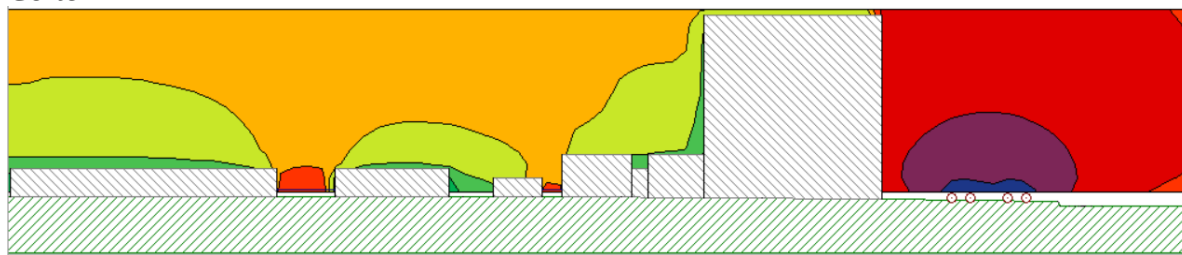


Figura 52 - Recorte 2

Fonte: A autora.

Esta região se localiza na porção leste do bairro Centro, topografia plana, bastante densa sem presença de área verdes e com uso do solo predominantemente comercial, com alguns usos de serviço e institucionais (Figura 52). O gabarito é variado, pois da maioria das edificações contém 3 pavimentos, mas há prédios comerciais com 9 e 13 pavimentos. A principal fonte de ruído é a via arterial av. Ivo do Prado, que é margeada pelo rio Sergipe, formando um perfil de rua em forma de “L”. Nas edificações margeadas pela avenida, o nível máximo encontrado na fachada é de 69 dB, no calçadão o foi encontrado 67 dB em uma edificação no cruzamento de dois calçadões, considerados níveis elevados além do recomendado segundo a NBR 10.151. Em ambos os casos as edificações, se residenciais, estariam inclusas na Classe de Ruído II, mesmo havendo fontes de ruído diferentes. No calçadão apesar de não haver ruído de tráfego, há alto-falantes instalados nos postes de baixa tensão (observar a imagem), que reproduzem uma das rádios FM do município, compondo a paisagem sonora local, além do som de pessoas conversando, anunciando produtos e de passos. Nas vistas 3D a fonte em área é representada pela cor azul escura.

- **Recorte 3: Praças**



Vista da praça Almirante Barroso



Vista da praça Olímpio Campos

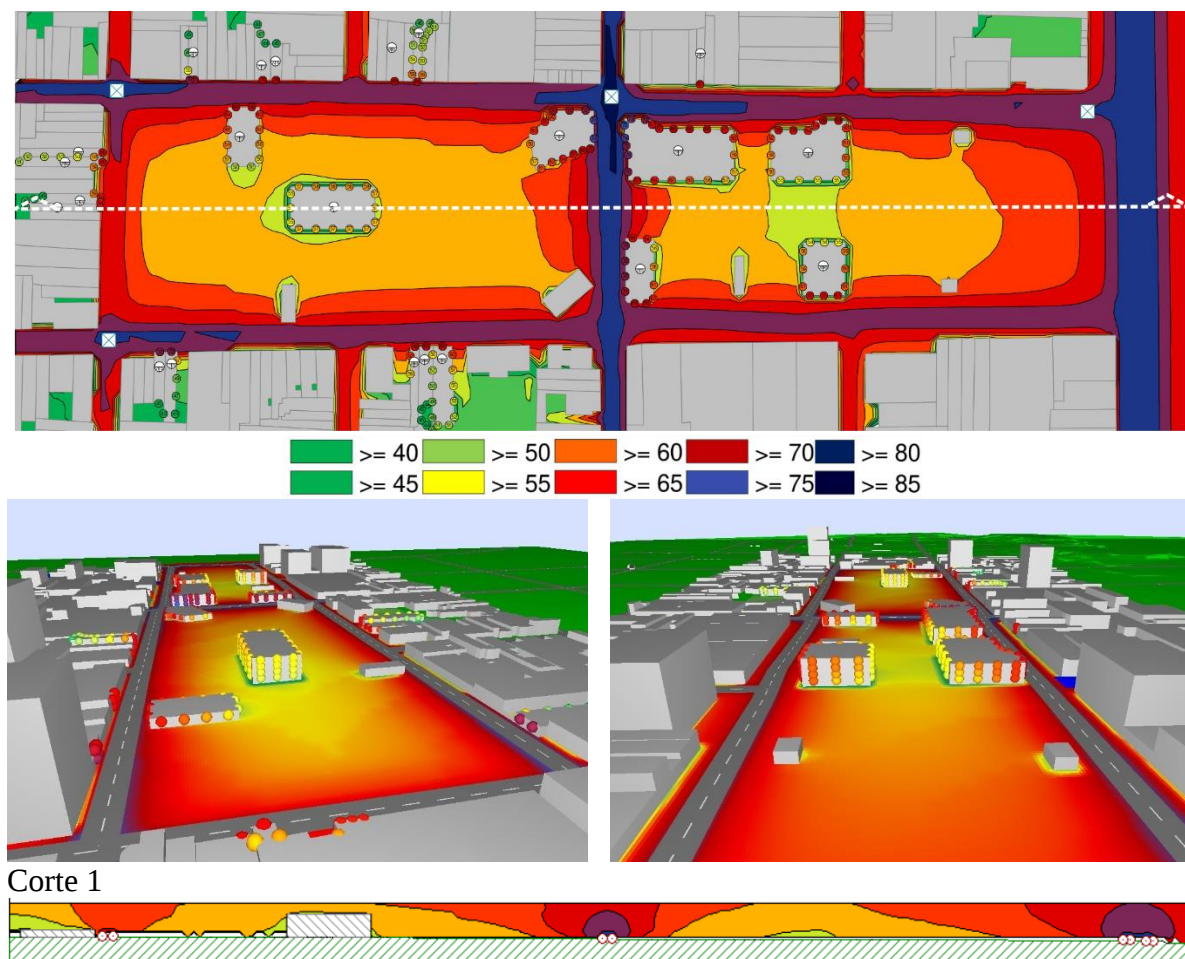


Figura 53 - Recorte 3
Fonte: A autora.

Este recorte abrange a região com maior permeabilidade sonora, as praças Fausto Cardoso, Almirante Barroso e Olímpio Campos, nesta se encontra a Catedral Metropolitana de Aracaju (Figura 53). Há presença de vegetação arbórea e de palmeiras em todas as praças, mas não constituem um maciço denso de vegetação, assim não atuam como uma barreira sonora. Mas a depender da folhagem e densidade da copa podem gerar difusão dos raios sonoros e reduzir o nível de ruído que chega no miolo da quadra. Além disso, pesquisas comprovam que uma melhor sensação térmica, gerada pelo sombreamento das árvores, também promove uma sensação acústica mais aceitável aos usuários (HIRASHIMA, 2014).

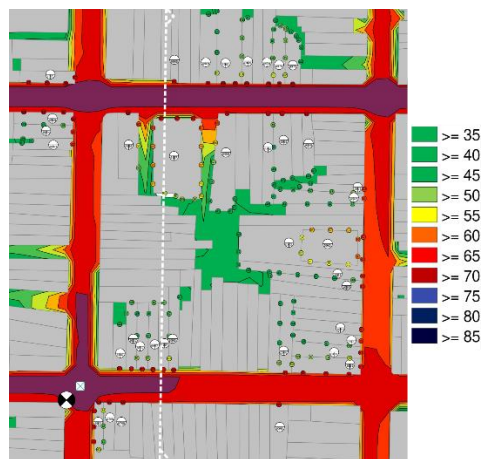
Há poucas residências no seu entorno, sendo o uso do solo com predomínio de comércio e uso institucional, como a Câmara Municipal de Aracaju e o Palácio Museu Olímpio Campos na Almirante Barroso. Também possui topografia plana e a fonte sonora mais intensa é a via principal rua Itabaiana que corta 2 praças e possui semáforo, o qual também intensifica o ruído nos demais cruzamentos. As edificações mais expostas da praça são as próximas ao cruzamento com a rua Itabaiana, chegando a 75 dB. Percebe-se que com o distanciamento da fonte há redução do nível de ruído devido à atenuação com aumento da distância e absorção

sonora do ar, assim no miolo das quadras são mais silenciosos e possuem cores mais claras. A análise do ruído da fachada foi realizada tanto nas residências, quando em algumas edificações localizadas nas praças, a redução do ruído é maior com o aumento da altura (ver imagens 3D).

- **Recorte 4:** Edifícios residenciais



Cruzamento da rua Maruim e rua Santa Luzia



Corte 1

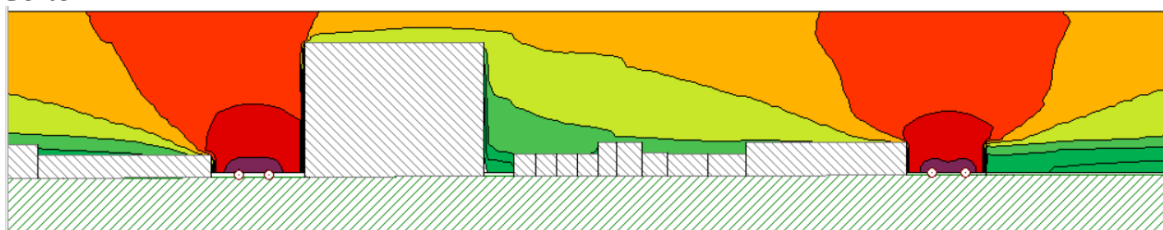


Figura 54 - Recorte 4
Fonte: A autora.

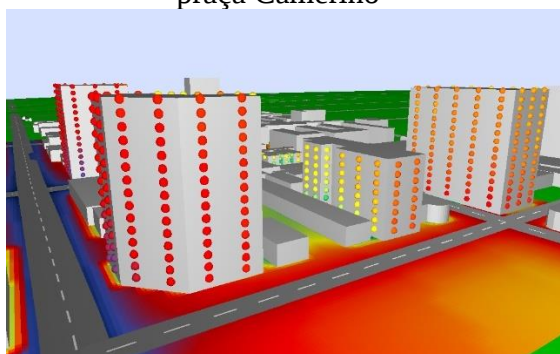
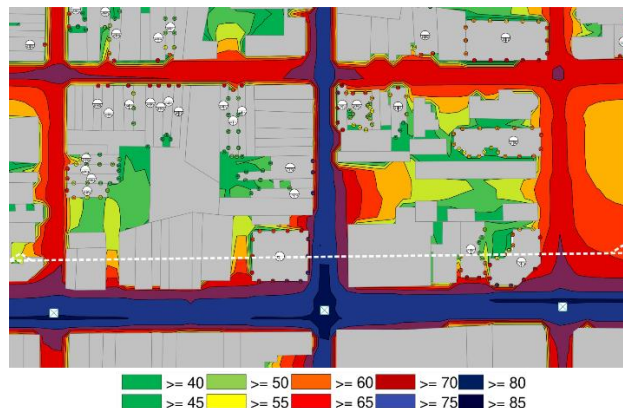
Este recorte possui topografia plana, é margeado por vias locais e contém usos do solo diversificado com maior presença do uso residencial (Figura 54). A maioria das edificações possui um ou dois pavimentos, exceto por dois edifícios residenciais com 8 e 14 pavimentos. A residência multifamiliar com oito pavimentos está exposta a até 65 dB e possui mais de 200 moradores, e a outra está numa região mais silenciosa sem conflito com a NBR 10.151, com a fachada exposta a até 60 dB, também dentro da classe de Ruído I. A via local rua Maruim emite níveis sonoros mais elevados em toda a sua extensão, sendo a mesma faixa de ruído do cruzamento com semáforo da rua Arauá com rua Estância (Ponto 7 de medição). Na rua Maruim

as residências mais expostas chegam a receber 69 dB de ruído de tráfego, já no cruzamento até 68 dB. No Corte 1 o edifício de 8 pavimentos é seccionado, destacando a diferença de nível de ruído entre a fachada norte (frontal) e sul (posterior), os moradores dos apartamentos da fachada frontal necessitam de um isolamento sonoro maior do que os apartamentos ao fundo. O mesmo também protege as residências posteriores, gerando o efeito de sombra acústica.

- **Recorte 5:** Edifícios residenciais



Cruzamento da av. Barão de Maruim e praça Camerino



Corte 1

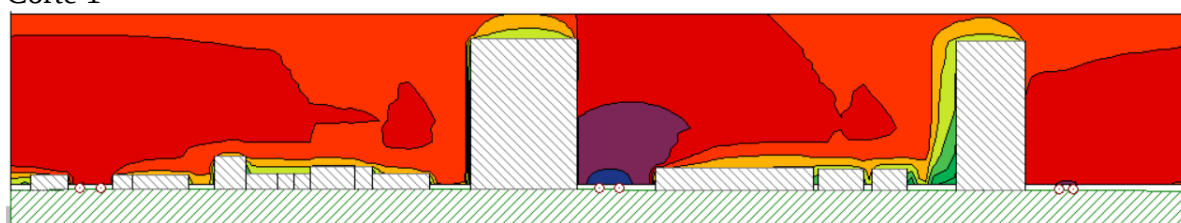
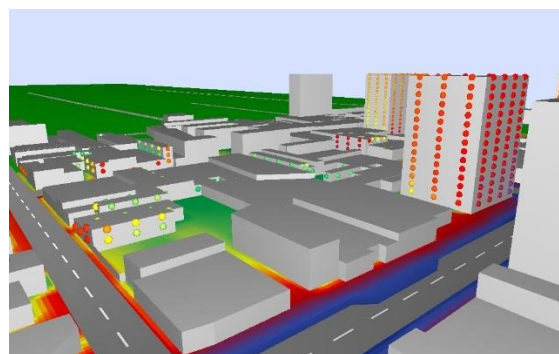


Figura 55 - Recorte 5
Fonte: A autora.

Nesta sessão com topografia plana e usos do solo variado, há mais edifícios residenciais variando de até 3, 8 e 14 pavimentos, sendo a mais verticalizada do bairro (Figura 55). As vias principais rua Santa Luzia e av. Barão de Maruim são as que mais geram poluição sonora nesta região, sendo o ruído da av. Barão de Maruim mais intensificado nos cruzamentos devido a presença de semáforos. Adjacente a esta via há um edifício exposto a 73 dB, o qual possui uma população de 139 moradores. Estão entre 5 e 10 dB acima da NBR 10.151 uma residência com 2 pavimentos e 3 edifícios multifamiliares de 14 pavimentos totalizando 146 pessoas expostas,

e até 5 dB, há 4 edificações (duas térreas, uma de 3 pavimentos e uma com 8) com 143 pessoas expostas.

Na praça Camerino por não haver nenhuma barreira, o ruído adentra mais ao seu centro, já a região com edificações tem o nível mais reduzido mantendo a mesma distância do eixo da via, pois os mesmos funcionam como barreira. No Corte 1, pode-se observar que o edifício à esquerda (01) apesar de conter uma fachada menos ruidosa, o decaimento não ocorre da mesma forma que o edifício à direita (02). Isto ocorre, pois o 01 possui formato retangular, expondo mais diretamente as suas fachadas, já o 02 possui formato em 'L', gerando uma região de sombra acústica nas suas fachadas posteriores. Comprovando a análise realizada em Cortês (2013), em que a forma 'L' apesar de expor mais área de fachada, cria no miolo de quadra uma região mais silenciosa.

4.6. Correlação com o Plano de Mobilidade de Aracaju-SE

Nesta sessão foram analisadas as propostas previstas pelo Plano de Mobilidade de Aracaju-SE (PlanMob) que poderão influenciar na acústica urbana do bairro Centro, comparando com o cenário simulado. O PlanMob elaborado em 2015 tem como objetivo geral proporcionar o acesso amplo e democrático aos espaços públicos municipais, garantindo a acessibilidade universal e cidadã, a equidade de direitos e deveres sobre o uso dos sistemas de mobilidade, a segurança no trânsito e a livre circulação de pessoas e de mercadorias, orientada sempre para a inclusão social.

Para isso foram criadas propostas de intervenção para solucionar os problemas identificados em temas particulares como transporte não motorizado, transporte motorizado, transporte de bens, mercadorias e serviços, infraestrutura, gestão e modos de participação da sociedade. Dentre as intervenções que podem interferir na acústica do bairro Centro há:

- A ampliação dos calçadões para pedestres na rua José do Prado Franco, no trecho entre a Praça Gen. Valadão e av. Coelho e Campos, com travessia de veículos nas interseções com a rua Geru e tv. Hélio Ribeiro; rua Santa Rosa, segmento entre a rua Apulcro Mota e av. Otoniel Dória; rua Prof. Florentino Menezes, trecho entre a rua Apulcro Mota e José do Prado Franco (continuação da rua João Pessoa); e tv. Silva Ribeiro, em toda a sua extensão (Figura 56).

Esta intervenção não irá reduzir significativamente os níveis de ruído existentes, uma vez que nestas vias locais não há um grande fluxo de veículos, estando atualmente numa faixa entre 65 dB a 70 dB, a mesma faixa presente no calçadão de pedestres existente. Porém, se

observado o espectro sonoro e a sensação auditiva, provavelmente os usuários vão se sentir mais confortáveis ouvindo o som gerado pelos transeuntes, comerciantes e rádio FM do que ruídos provenientes do tráfego rodoviário, como buzinas e motor automotivo. Assim, esta mudança poderá gerar uma satisfação maior aos transeuntes, mas os efeitos prejudiciais da exposição a elevados níveis de ruído devem ser estudados e avaliados independente do tipo de fonte sonora. Pois, pode causar transtornos diversos como doenças psicológicas, perda da audição e risco cardiovascular, a depender do tempo de exposição.



Figura 56 - Ampliação da área de pedestres
Fonte: Retirado do PlanMob (ARACAJU, 2015).

- Implantação do BRT (*Bus Rapid Transit*), um sistema de ônibus de alta capacidade que tem como características: criação de corredores exclusivos de ônibus, embarque e desembarque no mesmo nível entre a plataforma da estação e o piso do veículo agilizando o embarque e desembarque, veículos de alta capacidade, maior velocidade de circulação com um sistema mais integrado. A definição dos corredores de transporte coletivo será compatível com a estrutura básica da cidade, coordenado com o uso do solo, as áreas residenciais serão atendidas por veículos com menor capacidade.

Com a criação de novas estações para embarque e desembarque o nível de ruído poderá aumentar devido à frenagem dos ônibus, se não houver a devida manutenção da frota. Assim como, a criação de faixas exclusivas irá aumentar a velocidade média dos ônibus, o que pode intensificar o ruído. A posição da faixa semiexclusiva também interfere na intensidade sonora, como evidenciado por Vieira *et al.* (2019), onde os dois corredores de ônibus, um para cada

sentido da via, quando adjacentes à calçada geraram um nível de ruído menor, se comparado com as duas faixas próximas ao eixo central. Pois as faixas de ônibus adjacentes têm seus níveis somados, produzindo um nível de pressão sonora maior.

A localização da instalação das estações de BRT também interfere nos níveis de ruído. Santos, Nascimento, Zannin (2021) realizaram medições próximas a estações-tubo de ônibus BRT para embarque e desembarque de passageiros na cidade de Curitiba-PR. Foi observado que as estações instaladas em mesma via tiveram uma diferença absoluta na média de 3dB(A), sendo as estações mais afastadas as menos ruidosas. As vias exclusivas para ônibus BRT, sem circulação de automóveis, obtiveram a menor média, concluindo que o ruído de tráfego é o principal responsável pela poluição sonora.

Logo, as futuras intervenções previstas do PlanMob podem interferir no ruído de tráfego rodoviário do bairro Centro, como também no ruído urbano de toda região metropolitana, uma vez que se estende para os municípios de Nossa Senhora do Socorro, São Cristóvão e Barra dos Coqueiros. Deve-se observar o uso e ocupação do solo para proteger áreas sensíveis ao ruído como residências, escolas e hospitais.

4.7. Medidas de mitigação de ruído

A fim de adequar o ruído de tráfego rodoviário aos limites estabelecidos pela NBR 10.151 (ABNT, 2019) e melhorar a qualidade de vida da população há alternativas para mitigação do ruído, que passam pelo planejamento urbano, pela utilização de barreiras sonoras e/ou pavimentos silenciosos, alteração na composição do fluxo e pelo isolamento acústico das edificações. Desta forma este tópico apresentará a análise de quais alternativas são mais viáveis para implantação no bairro Centro de Aracaju-SE, com base na bibliografia apresentada.

- **Planejamento urbano:** é a medida mitigadora menos custosa dentre as demais, pois se fundamenta na premissa de distanciar as áreas sensíveis da principal fonte de ruído, o tráfego rodoviário. Através do planejamento do zoneamento de uso e dos índices urbanísticos a fim de garantir boa qualidade da saúde e do sono dos cidadãos nas suas áreas residenciais e nas áreas onde as atividades de trabalho específicas assim necessitem. No entanto, para o bairro Centro esta solução é de difícil aplicação, pois é um bairro bastante consolidado, com poucos terrenos baldios e usos do solo diversificados. É possível limitar a abertura de novos estabelecimentos comerciais que gerem ruído, como bares e restaurantes, nas porções com predomínio de residências (região sul e noroeste), ou exigir além da licença ambiental, o tratamento acústico do

estabelecimento para evitar o vazamento do ruído. Organizar o tráfego das vias com base no uso do solo existente, já é uma premissa do PlanMob.

- **Barreiras sonoras:** funcionam como um obstáculo à onda sonora, desviando e/ou absorvendo-a ao longo do caminho de propagação, podem ser executadas de diversas formas e materiais e são mais eficazes quando instaladas próximo ao receptor ou à fonte sonora. No bairro Centro esta solução não é viável pela falta de área necessária para este tipo de intervenção, uma vez que seria necessário construção de muros adjacentes à via de tráfego sem presença de frestas, sendo mais utilizadas em vias de tráfego rápido. Além de serem mais dispendiosas para a população e interferir na ventilação natural e na paisagem urbana. No entanto, pode-se adaptar essa solução para as paradas de ônibus existentes e futuras estações de BRT, a fim de reduzir os níveis de ruído para os passageiros que aguardam o transporte coletivo. Pode-se adicionar materiais de absorção sonora nestes equipamentos públicos para aumentar o conforto sonoro e implantar barreiras adjacentes com adição também de vegetação que também auxiliam na redução da poluição do ar.
- **Pavimentos silenciosos:** atuam na redução do ruído de tráfego alterando o atrito existente entre o pneu e a superfície rodoviária, o ar em frente do pneu tende a penetrar nos poros reduzindo o bombeamento de ar e, portanto, a propagação do ruído. Esta solução vem sendo simulada em diversos trabalhos por meio de cenários hipotéticos em *softwares* acústicos (BELDERRAIN *et al.*, 2015; FIEDLER; ZANNIN, 2015a) obtendo uma redução entorno de 5 dB(A), porém sozinha não é suficiente para reduzir os níveis de ruído existentes, sendo necessário incluir outras medidas de mitigação, como a alteração da composição do tráfego para uma maior eficácia. Na versão do Cadna-A utilizada nesta dissertação (Basic BMP 4.4.145), apesar de haver diferentes tipologias de pavimentação para as vias, todas propagam o ruído da mesma forma, não havendo nenhuma alteração. Devido a esta limitação, não foi possível simular o bairro Centro alterando a pavimentação para asfalto poroso.
- **Composição viária:** tanto a velocidade dos veículos quanto a porcentagem de cada categoria interferem no ruído gerado. Fiedler e Zannin (2015a) também simularam a redução de 20Km/h na velocidade dos veículos e obtiveram entorno de 5 dB(A) de atenuação do ruído, já Brasileiro-Meneses (2021) reduziu 20 Km/h e 10 Km/h, no

entanto, não gerou alterações significativas nos níveis de ruído. Assim, como as vias do bairro Centro já possuem um limite de velocidade reduzido e foram simuladas com 50Km/h nas vias arteriais e 30Km/h nas vias locais e principais. Conclui-se que não era viável reduzir ainda mais estas velocidades. Também há simulações que diminuem a porcentagem de veículos pesados (V.P.), como Fiedler e Zannin (2015a) que restringiram 90% do fluxo de V.P. em certos horários do dia, gerando em torno de 5 dB(A) de redução. Assim, o que pode ser feito é limitar a circulação de V.P. em vias adjacentes a usos sensíveis ao ruído e em horários específicos. Para manter a velocidade média reduzida da via evitando reacelerações e frenagem bruscas é recomendável que o controle de velocidade seja feito por meio de sistemas eletrônicos, como radares ou lombadas eletrônicas, evitando-se as barreiras físicas como as lombadas, os obstáculos e, principalmente, os sonorizadores (MURGEL, 2007).

- **Isolamento acústico em edificações:** No Brasil, a exigência de um isolamento acústico mínimo que impeça um determinado som de adentrar ao dormitório de uma edificação passou a ser obrigatório a partir de 2013 com a criação da norma NBR 15.575 (ABNT, 2013). Portanto, apenas residências construídas a partir de 2013 possuem essa obrigatoriedade. Assim, como o bairro Centro tem uma ocupação antiga, os edifícios multifamiliares existentes podem não atender ao isolamento mínimo desta norma, devendo o próprio morador buscar por soluções adequadas ao seu nível de exposição ao ruído, por exemplo, com adição de janelas acústicas nas fachadas expostas.

Logo, por meio de trabalhos correlatos é possível observar que a aplicação de apenas uma medida mitigadora não será suficiente para despoluir acusticamente o bairro Centro do município de Aracaju-SE, apenas a adoção de medidas em conjunto irá garantir o cumprimento dos critérios acústicos nas zonas sensíveis em estudo.

5. Considerações finais

Diante do exposto é evidente que a problemática da poluição sonora atinge os centros urbanos nas cidades brasileiras, inclusive a cidade de Aracaju-SE. A somatória de diversas fontes sonoras à falta de planejamento urbano e adensamento construtivo contribuem para o aumento dos níveis de ruído. O uso do solo urbano também deve ser considerado, uma vez que determinados locais podem se tornar um polo de atração de pessoas e de veículos, principal fonte de ruído.

O bairro Centro, objeto de estudo desta dissertação, interfere na dinâmica urbana não apenas do seu município, mas também em toda a sua região metropolitana, uma vez que o transporte público interurbano conecta passageiros dos municípios adjacentes Nossa Senhora do socorro, São Cristóvão e Barra dos Coqueiros, integrando ainda mais as pessoas aos serviços disponibilizados. Este bairro possui topografia majoritariamente plana, predomínio de edificações térreas e sobrados e com uso e ocupação do solo misto com predominância de atividades comerciais e/ou administrativas. As áreas verdes com vegetação estão limitadas às praças e aos canteiros das avenidas principais com algumas espécies arbóreas.

Para realização da pesquisa, todos os objetivos propostos foram realizados e atingidos, o objetivo geral desta dissertação, mapear o ruído de tráfego rodoviário do bairro Centro, na cidade de Aracaju-SE para análise da população exposta ocorreu por meio da coleta de dados *in loco*, no turno da manhã (das 09:00h às 11:00h) e no pico meio-dia (12:00h às 13:30h). Com a inserção do fluxo de veículos seguindo a recomendação das categorias de veículos da RLS-90, o modelo foi calibrado e foi gerado o mapa de ruído rodoviário no *software* Cadna-A. A análise dos níveis de ruído ocorreu tanto no sentido horizontal, quanto no vertical por meio dos cortes e da modelagem 3D do bairro Centro para observar os níveis de ruído nas fachadas das edificações.

Foi possível comparar algumas definições metodológicas adotadas em trabalhos de mapeamento para coleta de dados sonoros nos horários que representem melhor o cenário acústico local. A partir dos níveis de pressão sonora registrados, observou-se que o período matutino e o horário de pico apresentaram níveis bastante semelhantes com poucas variações, de até 3 dB(A) devido a passagens de carros de som em um ponto pela manhã. Inclusive o fluxo de veículos se manteve semelhante, havendo momentos em que o fluxo matutino superou o de pico. Assim, ambos horários de medição poderiam ser considerados os mais críticos para avaliação do ruído de tráfego rodoviário, sendo necessário apenas medições em um ou outro intervalo de tempo. Porém, deve-se priorizar o horário que possui fluxo veicular contínuo e

menor interferência de fontes intrusivas que descaracterizem o objeto de medição, a fonte linear de tráfego rodoviário.

Com relação à localização dos pontos de medição. Ambas as medições realizadas em meio de quadra e em um cruzamento com semáforo se adequaram bem ao modelo acústico simulado, podendo ambas serem adotadas para caracterizar os níveis de ruído veicular. Na medição em cruzamento de vias, há a vantagem de obter a contagem do fluxo de veículos de duas vias simultaneamente à medição de ruído, porém vai ao encontro do que preconiza os métodos de cálculo, os quais obtiveram o NPS em fluxo contínuo sem frenagem e aceleração dos veículos. Além de estar propenso a maior ocorrência de ruídos intrusivos, como as buzinas. Logo, a fim de evitar possíveis interferências durante a medição de ruído e caracterizar o fluxo de acordo com o método de cálculo, recomenda-se que o ponto em meio de quadra seja adotado.

Além disso, a população residente no bairro, com base nos dados do censo demográfico do IBGE, e através do *software* QGIS, foi distribuída nas edificações residenciais identificadas por pavimento e por domicílio, a fim de observar a porcentagem de pessoas expostas a altos níveis de ruído, conforme regulamentado pela NBR 10.151 (ABNT, 2019), por meio dos mapas de conflito. Observou-se que 57% da população está numa região sem conflito com a norma, 26% está exposta a até 5 dB além do limite aceitável 60 dB (LAeq), 12% sofrem com ruído rodoviário entre 5 e 10 dB além do permitido e 4% recebendo estão acima de 10 dB. Esta exposição pode ser ainda mais alarmante se forem consideradas as pessoas que trabalham na região, pois grande parte dos estabelecimentos funcionam durante todo o horário comercial, das 9h às 18h, expondo seus trabalhadores a altos níveis de ruído. Esta população não foi alvo do estudo, portanto, sugere-se como objeto para trabalhos futuros.

A partir da situação da poluição sonora atual e das futuras alterações previstas pelo PlanMob foram discurridas medidas mitigadoras para solucionar esta questão, as quais devem ser implantadas em conjunto para garantir o cumprimento do limite estabelecido pela NBR 10.151 (ABNT, 2019). A pesquisa demonstrou que o mapeamento e a predição sonora são importantes ferramentas para análise e compreensão dos níveis sonoros e da população residente exposta ao ruído rodoviário. Suas aplicações tornam-se necessárias para a identificação de pontos sensíveis e críticos quanto ao ruído, facilitando a adoção de medidas de mitigação da poluição sonora e aumento da qualidade de vida nos centros urbanos.

Os resultados encontrados na pesquisa instigam revisões nas normas e leis federais, estaduais e municipais e contribuem para reflexões sobre os planejamentos territorial e urbano. Logo, sugere-se: conscientizar a população sobre a importância do combate à poluição sonora

e direção segura no trânsito sem excesso de acionamento de buzinas; inserir a variável ruído nas legislações municipais de zoneamento do município devendo direcionar usos menos sensíveis ao ruído às margens de vias de fluxo intenso; tornar obrigatória a elaboração de mapas de ruído por parte dos municípios e incluir a análise da população exposta; estabelecer planos de ação para gerir os problemas e efeitos provenientes do ruído e exigir nas legislações pertinentes isolamento acústico nas edificações residenciais existentes nas áreas de influência de vias com grande fluxo de veículos.

Diante do exposto, sugere-se para trabalhos futuros: a criação de cenários futuros com o aumento do fluxo de veículos dentro do limite de frota suportado pelas vias e medidas mitigadoras; simulação das alterações futuras previstas no PlanMob; correlacionar os resultados encontrados nesta pesquisa com a percepção subjetiva da população exposta no bairro Centro; adicionar fontes de ruído pontuais numa escala de análise menor; associar a análise sonora com a questão do conforto térmico e da ventilação natural e realizar o mapeamento de ruído nos demais bairros de Aracaju-SE.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.152:** Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. **NBR 10.151:** Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

_____. **NBR 15.575:** Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

_____. **NBR 17.534-1:** Acústica — *Software* para cálculo de som ao ar livre - Parte 1: Requisitos de qualidade e garantia da qualidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ALVES, L.; BRASILEIRO, T.; ARAUJO, R.; FLORÊNCIO, D.; FIRMINO, L.; ALMEIDA, C.; ALENCAR, B.; OITICICA, M. L.; ARAÚJO, V.; ARAÚJO, B. Comparison of noise pollution complaints concentration mapped in three capitals of Brazilian northeast. *In: International Congress on Acoustics*, 2016, **Anais [...]**, Buenos Aires, 2016.

ANSAY, S. S. **Estudo da Poluição Sonora através do Mapa de Ruído na implantação do novo Campus Universitário da Universidade Tecnológica Federal o Paraná – UTFPR.** 2013. 136 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba: [s.n.], 2013.

APA - Agencia Portuguesa do Ambiente. **Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído.** Ed. Amadora. Edição electrónica em PDF, 2011.

ARACAJU. [Constituição (1988)]. **Lei 2.181**, de 12 de outubro de 1978. Autoriza o Poder Executivo a criar a Administração Estadual do Meio Ambiente, sob a forma de autarquia estadual, e dá outras providências. Aracaju: Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe, 12 out. 1978.

_____. **Lei nº 1.789**, de 17 de janeiro de 1992, Código de Proteção Ambiental do município de Aracaju e dá providências correlatas. Aracaju: Prefeitura Municipal de Aracaju, 17 jan. 1992.

_____. **Lei nº 2.410**, de 17 de junho de 1996, Medidas de Combate à Poluição Sonora no Município de Aracaju. Aracaju: Prefeitura Municipal de Aracaju, 17 jun. 1996.

_____. **Lei nº 42**, de 04 de outubro de 2000. PDDAU – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Aracaju. Aracaju: Prefeitura Municipal de Aracaju, 04 out. 2000.

_____. **Lei nº 03**, de 2010, Código de Obras e Edificações de Aracaju. Aracaju: Prefeitura Municipal de Aracaju, 2010.

_____. **Relatório Final do Diagnóstico da Cidade de Aracaju:** Diagnóstico da Cidade de Aracaju. Aracaju: Prefeitura Municipal de Aracaju, 2014.

_____. **Plano diretor de Mobilidade de Aracaju.** Aracaju: Prefeitura Municipal de Aracaju, 2015.

_____. **Anuário Estatístico 2021.** Aracaju: Secretaria Municipal do Planejamento, Orçamento e Gestão (SEPLOG), 2021.

ARAÚJO, R. R. de. **As relações entre as transformações econômicas e o ritmo da produção do espaço urbano. Estudo de caso: Aracaju.** 266 f. Doutorado (Tese em Planejamento Urbano e Regional) – Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

BAKOWSKI, A.; RADZISZEWSKI, L.; DEKÝŠ, V.; ŠWIETLIK, P. Frequency analysis of urban traffic noise, 2019, **20th International Carpathian Control Conference (ICCC)**, 2019, p. 1-6, DOI: 10.1109/CarpathianCC.2019.8766012.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BRASIL. **Lei 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 30 ago. 1981.

_____. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988.

_____. **Resolução CONAMA nº. 001**, de 08 de março de 1990, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, dispõe sobre critério e padrões de emissão de ruídos, das atividades industriais. Diário Oficial da União, Brasília, 08 mar. 1990.

_____. **Resolução CONAMA nº. 002**, de 08 de março de 1990, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, institui em caráter nacional o programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora - "SILÊNCIO". Diário Oficial da União, Brasília, 08 mar. 1990.

_____. **Resolução CONAMA nº 20**, de 07 de dezembro de 1994. Dispõe sobre a instituição do Selo Ruído de uso obrigatório para aparelhos eletrodomésticos que geram ruído no seu funcionamento. Diário Oficial da União, Brasília, 30 de dez. 1994.

_____. **Lei 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 12 fev. 1998.

_____. **Resolução CONAMA nº. 252**, de 01 de fevereiro de 1999, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, estabelece, para os veículos rodoviários automotores, inclusive veículos encarroçados, complementados e modificados, nacionais ou importados, limites máximos de ruído nas proximidades do escapamento, para fins de inspeção obrigatória e fiscalização de veículos em uso. Diário Oficial da União, Brasília, 01 fev. 1999.

_____. **Estatuto da Cidade - Lei 10.257**, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 9 jul. 2001.

_____. **Lei nº. 13.281**, de 4 de maio de 2016. Altera a Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 (Código de Trânsito Brasileiro), e a Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Diário Oficial da União, Brasília, 4 mai. 2016.

BRASILEIRO-MENESES, T. da C. **Mapa de ruído como ferramenta para o planejamento territorial a partir da análise da população exposta: Estudo de caso na área de influência da Rodovia Transamazônica (BR-230) na Região Metropolitana de João Pessoa/PB**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

BRASILEIRO, T. C.; ALVES, L. R.; FLORÊNCIO, D. N. P.; ARAÚJO, V. M. D.; ARAÚJO, B. C. D. Mapas de ruído: histórico e levantamento da atual produção brasileira. **Acústica e Vibrações - Revista da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC)**, Santa Maria-SC, v. 34, n. 51, p. 33-47, dez. 2019.

_____, T. C.; ALVES, L. R.; FLORÊNCIO, D. N. P.; ARAUJO, V. M. D.; ARAUJO, B. C. D. **Mapas de ruído: histórico e levantamento da atual produção brasileira**. **ACÚSTICA E VIBRAÇÕES**, v. 34, p. 33-48, 2019.

DER BUNDESMINISTER FÜR VERKEHR. **RLS-90: richtlinien für den lärmschutz an straben** (Diretrizes para Controle do Ruído em Rodovias) – Norma Alemã. Bonn, Alemanha, 1990.

BRITO, L. A. P. F. de; BARBOSA, A. C. dos S. Incremento do nível de ruído no meio urbano devido às atividades turísticas: estudo de caso na cidade de Campos do Jordão. **Revista Tecnológica**, v. 18, n. 2, p. 84-89, jul./dez. 2014.

BRUEL & KJÆR. **Environmental noise**. Denmark: Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, 2000.

CORTÊS, M. M. **Morfologia e qualidade acústica do ambiente construído**: Estudo de caso em Petrópolis, Natal/ RN. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

EGAN, M. D. **Concepts in Architectural Acoustics**. New York, USA: Mc Graw Hill. Book Company, 1984.

EUROPEAN COMMISSION. **CNOSSOS-EU: Common Noise Assessment Methods in Europe**. Italy: Joint Research Centre, 2012.

EUROPEAN UNION. **Directive 2002/49/EC** - Relating to the assessment and management of environmental noise. Official Journal of the European Communities, 2002.

EUROPEAN UNION. **Directive 2015/996**, of 19 may 2015 - establishing common noise assessment methods according to Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council. Comission Directive (EU), 2015.

FERNANDES, A. P. S. **Ruído Ocupacional**: Avaliação de Ruído – Estaleiro Central da SETH, AS. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Politécnico de Setúbal (IPS), Setúbal: Seth, 2013.

FLORÊNCIO, D. N. P. **Avaliação do mapa sonoro de tráfego veicular no município de Natal/RN**. 209 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

FRANÇA, V. L. A. F. **Aracaju**: Estado e Metropolização. Rio Claro, SP Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita, 1997.

GANIME, J. F.; SILVA, L. A.; ROBAZZI, M. L. C. C.; SAUZO, S. V.; FALEIRO S. A. O ruído como um dos riscos ocupacionais: Uma revisão de literatura. **Enfermería Global**. Espanha/Murcia, n. 19, p. 7-8, jun. 2010.

GARAVELLI, S.; ALI, M. Y.; CARDOSO, W. A. C.; MAROJA, A. **A contaminação acústica em águas claras ao devido ao tráfego rodoviário**. In: XXVIII ENCONTRO DA SOBRAC, 2018, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, GALOÁ, 2018.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 2. ed., 676 p. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GIUNTA, M. B.; SOUZA, L. C. de; VIVIANI, E. Sensibilidade de parâmetros de um modelo de cálculo para a simulação do ambiente acústico urbano. **XII ENCAC - VIII ELACAC**. Brasília, set. 2013.

GROAT, L.; WANG, D. **Architectural Research Methods**, 2 ed., 480 p. New Jersey: Wiley, 2013.

GUEDES, I. C. M. **Influência da forma urbana em ambiente sonoro**: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE). 2005. 139 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

HIRASHIMA, S. Q. da S. **Percepção sonora e térmica e avaliação de conforto em espaços urbanos abertos do município de Belo Horizonte – MG**. 2014. 246 p. Tese (Doutorado – Área de Concentração: Tecnologia da Arquitetura) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

HONG, J. Y.; JEON, J. Y. The effects of audio-visual factors on perceptions of environmental noise barrier performance. **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 28–37, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades**: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/aracaju/panorama> Acesso em: 15 ago. 2022.

IEC – INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61672**: Electroacoustics - Sound Level Meters, 2013.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 9613/1**: Acoustics: Attenuation of Sound during Propagation Outdoors. Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere, 9613/1. Suíça, 1993.

_____. **ISO 9613/2**: Acoustics: Attenuation of Sound during Propagation Outdoors. Part 1: General method of calculation, 9613/2. Suíça, 1996.

_____. **ISO 1996/1**: Acoustics. Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 1: Basic quantities and assessment procedures, 1996/1. Suíça, 2016.

_____. **ISO 1996/2**: Acoustics. Description, measurement and assessment of environmental noise. Part 2: Determination of sound pressure levels, 1996/2. Suíça, 2017.

KANG, Jian. **Urban Sound Environment**. USA and Canada: Taylor & Francis, 2007.

KOTZEN, B.; ENGLISH, C. **Environmental noise barriers**: A guide to their acoustic and visual design. 2. ed. USA and Canada: Spon Press, 2009. ISBN 0-203-93138

LACERDA, A. B. M. de; MAGNI, C.; MORATA, T. C.; MARQUES, J. M.; ZANNIN, P. H. T. Ambiente urbano e percepção da poluição sonora. **Ambiente & Sociedade**, Paraná, v. VIII, n. 2, 2005.

LICITRA, G. **Noise Mapping in the EU**: Models and Procedures. New York: CRC Press, 2013.

MAPARADAR. **MapaRadar**. [s/l], 2022. Disponível em: <http://mapa.maparadar.com/> Acesso em: 28 set. 2022.

MARCELO, C. B. **Sons e Formas**: As barreiras acústicas na atenuação do ruído na cidade. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2006.

MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORT, J. **Architectural Acoustics**: Principles and design. New Jersey: Prentice Hall, 1999.

MORAES, E.; SÍMON, F.; GUIMARÃES, L.; MORENO, A. Modelling the urban noise of the city of Belém (Brasil). In: 19 International Congress on Acoustics, 2007, Madrid. **Anais [...]**. Madrid: ICA, 2007.

MOOVIT. **O aplicativo de mobilidade urbana mais popular em Aracaju**. [s/l]: MOOVIT, 2022. Disponível em: https://moovitapp.com/index/pt-br/transporte_p%C3%BAblico-Aracaju-4936 Acesso em: 30 set. 2022.

- MURGEL, E. **Fundamentos de acústica ambiental**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2007.
- NAGEM, M. P. **Mapeamento e análise do ruído ambiental**: diretrizes e metodologia. 2004. 133 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo: [s.n.], 2004.
- NIEMEYER, M. L. A. de. **Conforto Acústico e Térmico, em situação de verão, em Ambiente Urbano**: uma proposta metodológica. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- NOBRE, S. M. G. M.; LIMA, J. C.; GUEDES, I. C. M.; ARAÚJO, R. R. de. O seu barulho, de seu vizinho e de todos nós! Panorama da poluição sonora na cidade de Aracaju (SE). 9º **Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável** (PLURIS 2021 Digital): Pequenas cidades, grandes desafios, múltiplas oportunidades, [s/l], 07-09 abr. 2021. Disponível em: <https://pluris2020.faac.unesp.br/Paper1271.pdf>
- OKE, T. R.; MILLS, G.; CHRISTEN, A.; VOOGT, J. A. **Urban climates**. United Kingdom: Cambridge University Press, 2017.
- OLIVEIRA, S.; OITICICA, M. L. Como andam os níveis de ruído nas escolas? Estudo de caso: escolas situadas nos bairros da Pitanguinha, Centro e Farol, da cidade de Maceió-AL. **XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica**, Porto Alegre – SC, 2018. DOI: 10.17648/sobrac-87017
- PASCHALIDOU, A. K.; KASSOMENOS, P.; CHONIANAKI, F. Strategic Noise Maps and Action Plans for the reduction of population exposure in a Mediterranean port city. **Science of the Total Environment**, [s/l], v. 654, p. 144–153, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.048>
- PORTO, F. F. **A Cidade do Aracaju 1855/ 1865**. Aracaju: Livraria Regina, 1945.
- ALVES, L. . *et al.* Evaluation of the impact of vehicle traffic noise in communities: Comparative study on three highways in Brazilian northeastern. *In:* , 2020. **Proceedings of 2020 International Congress on Noise Control Engineering, INTER-NOISE 2020**. [S. l.: s. n.], 2020.
- BELDERRAIN, M. L. R. *et al.* Noise mapping analysis to predict acoustic barriers along a new express highway in Sao Paulo, Brazil. *In:* , 2015. **INTER-NOISE 2015 - 44th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering**. [S. l.: s. n.], 2015.
- BRASILEIRO-MENESES, T. *et al.* Comparative study of urban noise between neighborhoods in João Pessoa, Brazil based on sound mapping. *In:* , 2020. **Proceedings of 2020 International Congress on Noise Control Engineering, INTER-NOISE 2020**. [S. l.: s. n.], 2020.
- BUNN, F.; FILHO, M. M. O.; ZANNIN, P. H. T. Environmental noise impact in the south section of the green line in the city of Curitiba, Paraná, Brazil | Impacto ambiental sonoro no trecho sul da linha verde na cidade de Curitiba, Paraná, Brasil. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, [s. l.], v. 38, p. 7–34, 2016.
- BUNN, F.; ZANNIN, P. H. T. Urban planning - Simulation of noise control measures. **NOISE CONTROL ENGINEERING JOURNAL**, Univ Fed Parana, Lab Environm & Ind Acoust & Acoust Comfort, BR-80060000 Curitiba, Parana, Brazil, v. 63, n. 1, p. 1-10 WE-Science Citation Index Expanded (SCI-EX, 2015).
- DE BRITO, L. A. P. F. The use of acoustic maps as excess noise identification tool in urban areas | A utilização de mapas acústicos como ferramenta de identificação do excesso de ruído em áreas urbanas. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, Univ Taubate UNITAU, Programa

Posgrad Planejamento Urbano & Desenvolvi, Taubate, SP, Brazil, v. 22, n. 6, p. 1095–1107, 2017.

DE OLIVEIRA, P. L.; OITICICA, M.; MIRANDA, E. F. V. Mapping the soundscape: impacts of the sounds of faith. **URBE-REVISTA BRASILEIRA DE GESTAO URBANA**, Univ Fed Santa Catarina UFSC, Programa Posgrad Arquitetura & Urbanismo, Florianopolis, SC, Brazil, v. 13, 2021.

DE SOUZA FILHO, J. J. *et al.* Urban noise assessment based on noise mapping and measurements. **Canadian Acoustics - Acoustique Canadienne**, [s. l.], v. 43, n. 1, p. 3–10, 2015. Disponível em: <https://jcaa.caa-aca.ca/index.php/jcaa/article/view/2651/2417>.

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

FAULKNER, J. P.; MURPHY, E. Road traffic noise modelling and population exposure estimation using CNOSSOS-EU: Insights from Ireland. **Applied Acoustics**, [s. l.], v. 192, p. 108692, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108692>.

FIEDLER, P E K; ZANNIN, P. H. T. Evaluation of noise pollution in urban traffic hubs-Noise maps and measurements. **ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT REVIEW**, Univ Fed Parana, Lab Environm & Ind Acoust & Acoust Comfort, BR-80060000 Curitiba, Parana, Brazil, v. 51, p. 1–9, 2015. a

FIEDLER, P.E.K.; ZANNIN, P. H. T. Noise mapping as a tool for urban planning. **Journal of Scientific and Industrial Research**, [s. l.], v. 74, n. 2, p. 114–116, 2015. Disponível em: https://www.academia.edu/28661381/Noise_mapping_as_a_tool_for_urban_planning. b

FREITAS, E.; SILVA, L.; VUYE, C. The influence of pavement degradation on population exposure to road traffic noise. **Coatings**, [s. l.], v. 9, n. 298, 2019.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Systematic literature review: concept, production and publication. **Logeion: Filosofia da Informação**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 57–73, 2019.

GARAVELLI, S. L. *et al.* Exposição ao ruído do transporte rodoviário em Brasília, Brasil. **PARC Pesq. em Arquit. e Constr.**, [s. l.], v. 12, p. e021026, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v12i00.8658514>

GEVÚ, N. *et al.* Rio de Janeiro noise mapping during the COVID-19 pandemic period. **NOISE MAPPING**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 162–171, 2021.

GUEDES, I. C. M.; BERTOLI, S. R. Mapa acústico como ferramenta de avaliação de ruído de tráfego veicular em Aracaju – Brasil. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 40, 2014.

GUEDES, I. C. M.; BERTOLI, S. R.; ZANNIN, P. H. T. Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju - Brazil. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 412–413, p. 66–76, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.10.018>.

ISHIZUKA, T.; FUJIWARA, K. Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions. **Applied Acoustics**, [s. l.], v. 65, n. 2, p. 125–141, 2004.

JUNIOR, I. J. A. *et al.* Impact of traffic-related environmental noise on school children and teachers in a brazilian city. **Canadian Acoustics - Acoustique Canadienne**, [s. l.], v. 46, n. 1, p. 15–28, 2018.

LEE, H. M. *et al.* Urban Traffic Noise Mapping Using Building Simplification in the Panyu District of Guangzhou City, China. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 14, n. 8, p. 1–23, 2022.

- LOPEZ, G. A. P.; SOUZA, L. C. L. de. Urban green spaces and the influence on vehicular traffic noise control. **Ambiente Construído**, [s. l.], v. 18, n. 4, p. 161–175, 2018.
- MORAES, E. *et al.* Mapa de ruídos da zona comercial de belém, uma parcela do mapa de ruídos da cidade de belém – brasil. **TecniAcustica**, [s. l.], n. 1, 2003.
- OITICICA, M. L. G. R. *et al.* Sounds as an expression of urban vitality: Changes in the neighborhood's soundscape affected by technological disaster in Maceió - AL, Brazil. In: , 2020. **Proceedings of 2020 International Congress on Noise Control Engineering, INTER-NOISE 2020**. [S. l.: s. n.], 2020.
- 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**, [s. l.], v. 650, p. 978–986, 2019.
- PINTO, F.; MARDONES, M. D. M. Noise mapping of densely populated neighborhoods-example of Copacabana, Rio de Janeiro-Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, Univ Fed Rio de Janeiro, Ctr Technol, Dept Progr Engn Mecan, BR-21949900 Rio De Janeiro, Brazil, v. 155, n. 1–4, p. 309–318, 2009.
- POZZER, T.; PIERRARD, J. F.; HOLTZ, M. Desafios de fazer mapas de ruído de grandes cidades Brasileiras - Estudos realizados para elaboração do Mapa Piloto de São Paulo. In: , 2018, Porto Alegre-RS. **XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica**. Porto Alegre-RS: [s. n.], 2018.
- PRANGE, S. P.; TORRES, J. C. B. Noise impact of urban mobility changes: Charitas tunnel case study. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, [s. l.], v. 8, n. 2, p. 208–216, 2017.
- RHEINGANTZ, P. A. *et al.* **Observando a qualidade do lugar: prcedimentos para a avaliação pós-ocupação**. Rio de Janeiro: Proarq/FAU/UFRJ, 2009.
- SANTOS, C. A. de J. *et al.* Centro histórico de Aracaju: História, identidade, usos e contra-usos turísticos. In: , 2011, Maceió-AL. **II Seminário Internacional Urbicentros – Construir, Reconstruir, Desconstruir: morte e vida de centros urbanos (UrbiCentros II)**. Maceió-AL: UrbiCentros II, 2011.
- SANTOS, G. A. de O.; NASCIMENTO, E. O. do;; ZANNIN, P. H. T. Gerenciamento de Cidades. **Revista Nacional Gerenciamento de Cidades**, [s. l.], v. 09, n. 72, p. 75–84, 2021.
- SANTOS, C. M. da C. S.; PIMENTA, C. A. D. M.; NOBRE, M. R. C. A estratégia PICO para a construção da pergunta de pesquisa e busca de evidências. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, [s. l.], v. 15, n. 3, 2007. Disponível em: www.eerp.usp.br/rlaeArtigodeAtualização.
- SILVA, M. F. da; BASTOS, R. M. de S. Z.; OITICICA, M. L. G. da R. O Ruído Urbano Em Virtude Da Alteração No Uso Do Solo: Estudo De Caso Em Uma Via Principal Da Cidade De Maceió-Al. [s. l.], n. April, 2018.
- SURIANO, M. T.; DE SOUZA, L. C. L.; DA SILVA, A. N. R. A decision-support tool for the control of urban noise pollution | Ferramenta de apoio à decisão para o controle da poluição sonora urbana. **Ciencia e Saude Coletiva**, Univ Fed Sao Carlos, Dept Engn Civil, Ctr Ciencias Exatas & Tecnol, BR-13565905 Sao Carlos, SP, Brazil, v. 20, n. 7, p. 2201–2210, 2015.
- TITU, A. M. *et al.* Assessment of Road Noise Pollution in Urban Residential Areas—A Case Study in Pitești, Romania. **Applied Sciences (Switzerland)**, [s. l.], v. 12, n. 8, 2022.
- VIDA MANZANO, J. *et al.* Noise annoyance mapping in urban environments as an advanced tool for the design of effective noise mitigation actions. **INTER-NOISE 2019 MADRID - 48th**

International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, [s. l.], 2019.

VIEIRA, B. *et al.* The soundscape of Sen. Salgado Filho Avenue, Natal/RN-Brazil: The acoustic impact caused by the insertion of semi-exclusive bus lane. *In:* , 2019. **INTER-NOISE 2019 MADRID - 48th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering**. [S. l.: s. n.], 2019.

VIENNEAU, D. *et al.* Transportation noise exposure and cardiovascular mortality: 15-years of follow-up in a nationwide prospective cohort in Switzerland. **Environment International**, [s. l.], v. 158, n. October 2021, 2022.

WOSNIACKI, G. 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**, [s. l.], v. 757, 2021.

WUNDERLICH, P.; HOLTZ, M.; PIERRARD, J. F. Noise pollution in São Paulo: Actions towards public policies. *In:* , 2020. **Proceedings of 2020 International Congress on Noise Control Engineering, INTER-NOISE 2020**. [S. l.: s. n.], 2020.

XAVIER REGO, B. *et al.* Characterization of the urban sound environment from commercial pedestrian streets: A first approach in São Paulo-Brazil. *In:* , 2019. **Proceedings of the International Congress on Acoustics**. [S. l.: s. n.], 2019. p. 2536–2543.

ZANNIN, P. H. T. *et al.* Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil. **Cities**, [s. l.], v. 31, p. 317–327, 2013.

ZANNIN, P. H. T. *et al.* Evaluation of environmental noise generated by household waste collection trucks. **Journal of Environmental Assessment Policy and Management**, [s. l.], v. 20, n. 4, 2018.

ZANNIN, P. H. T.; SANT'ANA, D. Q. De. Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project - A case study in Brazil. **Applied Acoustics**, [s. l.], v. 72, n. 8, p. 479–486, 2011.

RIO DE JANEIRO. **Lei nº 7.479**, de 27 de julho de 2022 - Dispõe sobre a elaboração do mapa de ruído urbano da Cidade do Rio de Janeiro e dá outras providências. Rio de Janeiro: Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, 2022.

SÃO PAULO. **Lei nº 16.499**, de 20 de julho de 2016 - Mapa de Ruído Urbano. São Paulo: Prefeitura Municipal de São Paulo, 2016.

SEGG - Secretaria de Estado Geral de Governo. **Produto Interno Bruto de Sergipe – PIB – SE 2020**. Aracaju: Observatório de Sergipe, Nov. 2022. Disponível em: <http://docs.observatorio.se.gov.br/wl/?id=48OHqX4as4D6I2Zd04n5Bi3VnDvPP6UV> Acesso em: 22 jan. 2023.

ZAJARKIEWICCH, D. F. B. **Poluição sonora urbana: principais fontes**. Aspectos jurídicos e técnicos. São Paulo. 235 f. Dissertação (Mestrado em Direito das Relações Sociais) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2010.

USDOT – United States Department of Transportation. Bureau of Transportation Statistics – National Transportation Noise Mapping Tool. Cambridge: Office of the Assistance Secretary for Research and Technology, mar. 2017. Disponível em: <https://www.bts.gov/sites/bts.dot.gov/files/docs/explore-topics-and-geography/geography/203606/btsnoisemappingtooldocumentationmarch2016.pdf> Acesso em: 20 set. 2022.

VALLE, Sólón do. **Manual prático de acústica**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Editora Música &

Tecnologia, 2009.

SERGIPE. [Constituição (1989)]. **Constituição do Estado de Sergipe**. Aracaju: Assembleia Legislativa do Estado de Sergipe, 05 out. 1989.

SMTT – Superintendência Municipal de Transportes e Trânsito - Aracaju. **Itinerário e Horário dos ônibus**. Aracaju: SMTT, 2022. Disponível em: <http://smttaju.com.br/smtt/transporte/itinerario-e-horario-dos-onibus> Acesso em: 30 set. 2022.

SOUZA, R. B. E. **O Som Nosso de Cada Dia**: Análise do comportamento da Acústica Urbana a partir de modificações na Forma Urbana. 2010. 141 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Urbano) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, A. L. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica**: ouvindo a Arquitetura. São Carlos: EDUFSCAR, 2012.

WG-AEN. European Commission Working Group – Assessment of Exposure to Noise. **Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and Production of Associated Data on Noise Exposure**. Position Paper, Final Draft. Version 2, 13th January 2006.

WHO - World Health Organization. BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHAWELA, D. H. **Guidelines for Community Noise**. Geneva: Stockholm University and Karolinska Institute, 1999.

WHO - World Health Organization. **Burden of disease from environmental noise** - Quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2011.

WHO - World Health Organization. **Environmental Noise Guidelines for the European Region**. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2018.

APÊNDICE A – Ficha para contagem de veículos

MAPEAMENTO ACÚSTICO – CENTRO – ARACAJU/SE						
Ponto	Local	Medição/ Registro	Fluxo de veículos			OBS
1	Tv. João Quintiliano da Fonseca		Motos	V. leves (automóveis, jipe, Kombi, pick-up, caminhonetes, vans, towners)	V. Pesado (micro-ônibus, ônibus e caminhões)	
		1 – M				
		2 – M				
		3 – M				
		1 – T				
		2 – T				
		3 – T				
4	Rua Capela	1 – M				
		2 – M				
		3 – M				
		1 – T				
		2 – T				
		3 – T				