

RUÍDO DE TRÁFEGO NO BAIRRO BANCÁRIOS, EM JOÃO PESSOA/PB

diagnóstico e estratégias de mitigação

Nathalia Lima Ferreira da Silva

João Pessoa, PB
2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ARQUITETURA

NATHALIA LIMA FERREIRA DA SILVA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
APRESENTADO AO CURSO DE
ARQUITETURA E URBANISMO DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA - UFPB,
SOB ORIENTAÇÃO DA
PROF^A. DR^A. JULIANA MAGNA DA S. COSTA MORAIS



João Pessoa, PB
2020

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586r Silva, Nathalia Lima Ferreira da.

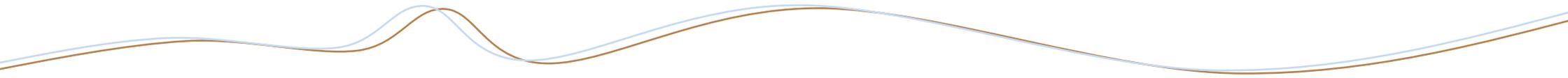
Ruído de tráfego no bairro Bancários, em João Pessoa/PB: diagnóstico e estratégias de mitigação / Nathalia Lima Ferreira da Silva. - João Pessoa, 2021.
89 f. : il.

Orientação: Juliana Magna da S Costa Moraes.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. acústica ambiental. 2. poluição sonora. 3. mapa de ruído. 4. ruído de tráfego. 5. estratégias de mitigação do ruído. I. Moraes, Juliana Magna da S Costa. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 72



RUÍDO DE TRÁFEGO NO BAIRRO BANCÁRIOS,

EM JOÃO PESSOA/PB:

diagnóstico e estratégias de mitigação

BANCA EXAMINADORA:

JULIANA MAGNA DA S. COSTA MORAIS (ORIENTADOR)

MARCELE TRIGUEIRO DE ARAUJO MORAIS (EXAMINADOR)

TAMÁRIS DA COSTA BRASILEIRO MENESES (EXAMINADOR)

João Pessoa, PB

2020

AGRADECIMENTOS



Agradeço primeiramente à Deus, pela força nos momentos e decisões mais difíceis.

Agradeço aos meus pais, Laudineide e Valdemir, por sempre acreditarem em mim, até mesmo quando eu já não acreditava.

Agradeço à minha irmã Alice, pelo silêncio e cumplicidade.

Agradeço aos meus colegas de curso, especialmente aos do grupo de acústica, por todo o auxílio durante as pesquisas de campo.

Agradeço aos amigos que a arquitetura me trouxe, Suiellen e Alberto, por todos os momentos, bons e ruins, que vivemos juntos durante toda a graduação.

Agradeço à minha orientadora, Ju, por ser presente, por toda a sabedoria e paciência.

Agradeço à Tamaris Brasileiro, por todo por todo o conhecimento que me foi transmitido.

Agradeço à Tereza Cristina, pela oportunidade diária de aprender e de me aproximar do mercado de trabalho.

Agradeço a esses e a muitos outros que de alguma forma me ajudaram a chegar até aqui. Muito obrigada!

RESUMO

Os mapas de ruído são um modo de visualizar espacialmente os níveis de pressão sonora de uma determinada área e se constituem atualmente como uma importante ferramenta de planejamento urbano. Sua relevância consiste tanto no diagnóstico do problema quanto na proposição de planos de ação e/ou estratégias de controle do ruído urbano visando a melhoria da qualidade acústica das cidades. Pesquisas anteriores acerca da poluição sonora na cidade de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, registraram que, apesar de possuir menor densidade habitacional, João Pessoa apresenta mais queixas de poluição sonora por ano que outras capitais próximas, que são Natal (capital do Rio grande do Norte) e Maceió (capital de Alagoas). Assim, este trabalho teve como **objetivo geral** elaborar cenários estratégicos de mitigação do ruído de tráfego para o bairro Bancários, com base no mapa de ruído do mesmo. Para isso, os **procedimentos metodológicos** consistiram em pesquisa bibliográfica e documental, atualização dos dados obtidos no mapeamento anterior, coleta de dados em campo para a verificação da situação durante a pandemia, confecção dos mapas de ruído no software soundPLAN®, análise preliminar dos mapas produzidos para a escolha das áreas de intervenção, proposição e simulação computacional dos cenários de mitigação do ruído a partir da combinação de estratégias e análise/discussão dos resultados. Como **resultados**, os mapas mostraram que o bairro apresenta níveis sonoros bastante superiores aos parâmetros estabelecidos pela NBR 10151:2019, tanto no período matutino como no vespertino. No entanto, através da aplicação de combinações de estratégias de mitigação voltadas a ações na fonte sonora, no meio de propagação e nos receptores, afirma-se que foi possível atenuar o ruído de forma a atender a legislação em diversos pontos, e o mais importante, proporcionar ambientes acusticamente mais saudáveis. Portanto, a pesquisa demonstrou que o problema da poluição sonora é algo recorrente no bairro, mas também apresentou soluções baseadas na análise, proposição e simulação computacional de estratégias de mitigação do ruído, evidenciando que os mapas de ruído constituem importante ferramenta para a análise e compreensão dos cenários sonoros urbanos contribuindo para um melhor planejamento das cidades.

PALAVRAS – CHAVE: acústica ambiental; poluição sonora; mapa de ruído; ruído de tráfego; estratégias de mitigação do ruído

ABSTRACT

Noise maps are a way of spatially visualizing the sound pressure levels of a given area and are currently an important tool for urban planning. Its relevance consists both in the diagnosis of the problem and in the proposition of action plans and / or strategies to control urban noise aimed at improving the acoustic quality of cities. Previous research on noise pollution in the city of João Pessoa, capital of the state of Paraíba, recorded that, despite having lower housing density, João Pessoa has more complaints of noise pollution per year than other nearby capitals, which are Natal (capital of Rio Grande do Norte) and Maceió (capital of Alagoas). Thus, this work had as its **general objective** to elaborate strategic scenarios of traffic noise mitigation for the Bancários neighborhood, based on its noise map. For this, the **methodological procedures** consisted of bibliographic and documentary research, updating of the data obtained in the previous mapping, data collection in the field to check the situation during the pandemic, making noise maps in the soundPLAN® software, preliminary analysis of the produced maps for the choice of intervention areas, proposition and computational simulation of noise mitigation scenarios based on the combination of strategies and analysis / discussion of results. As a **result**, the maps showed that the neighborhood has sound levels well above the parameters established by NBR 10151: 2019, both in the morning and in the afternoon. However, through the application of combinations of mitigation strategies aimed at actions in the sound source, in the propagation medium and in the receivers, it is stated that it was possible to attenuate the noise in order to comply with the legislation in several points, and the most important, provide acoustically healthier environments. Therefore, the research demonstrated that the problem of noise pollution is something recurring in the neighborhood, but also presented solutions based on the analysis, proposition and computational simulation of noise mitigation strategies, showing that the noise maps are an important tool for the analysis and understanding urban sound scenarios contributing to better city planning.

KEYWORDS: environmental acoustics; noise pollution; noise map; traffic noise; noise mitigation strategies



SUMÁRIO

| | | |
|-----------|---------------------------------------|-----------|
| 01 | INTRODUÇÃO | 09 |
| 02 | REFERENCIAL TEÓRICO | 13 |
| | 2.1. SOM X RUÍDO | 14 |
| | 2.2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS | 15 |
| | 2.3. POLUIÇÃO SONORA | 28 |
| | 2.4. RUÍDO DE TRÁFEGO VEICULAR | 30 |
| | 2.5. EFEITOS DO RUÍDO NA SAÚDE HUMANA | 35 |
| | 2.6. GESTÃO DO RUÍDO URBANO | 37 |
| | a. Os mapas acústicos | 37 |
| | b. Legislação e aspectos normativos | 42 |
| 03 | ESTUDOS DE CASO | 46 |
| | 3.1. INTERNACIONAL | 47 |
| | 3.2. NACIONAL | 51 |
| | 3.3. REGIONAL | 55 |
| | 3.4. SÍNTESE DAS ESTRATÉGIAS | 57 |



| | | |
|-----------|--|-----------|
| 04 | METODOLOGIA | 58 |
| | 4.1. SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BAIRRO BANCÁRIOS | 60 |
| 05 | DIAGNÓSTICO DO RUÍDO NO BAIRRO | 68 |
| | 5.1. ANÁLISE GERAL DO MAPA DE RUÍDO | 69 |
| | 5.2. SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE INTERVENÇÃO | 70 |
| 06 | PROPOSTAS DE INTERVENÇÃO | 75 |
| | 6.1. ÁREA A | 76 |
| | 6.2. AREA B | 78 |
| | 6.3. AREA C | 80 |
| | 6.4. AREA D | 82 |
| 07 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 84 |
| | REFERÊNCIAS | 87 |



1.

INTRODUÇÃO

Acústica ambiental, segundo Souza *et al* (2012, p.45), é o ramo da acústica que estuda os ruídos de ordem externa à edificação, em particular os ruídos urbanos, como aquele proveniente do tráfego veicular, apontado por Silva (2004), como principal fonte da poluição sonora nos centros urbanos, representando cerca de 80% da energia acústica total do ambiente urbano.

Com o acelerado crescimento dos centros urbanos, considerando, cada vez mais a concentração da população nas grandes cidades, e associando a isso a tendência de espraiamento das malhas urbanas, com a ampliação da rede viária, verifica-se um conseqüente aumento da circulação de veículos. Estes fatores contribuem para reunir e intensificar diversos tipos de fontes sonoras, culminando numa agravante elevação dos níveis de poluição sonora no ambiente urbano (GUEDES, 2005).

Nesse sentido, vale ressaltar que de acordo com a organização mundial de saúde – OMS, a poluição sonora ocupa o segundo lugar no ranking das poluições que causam maior impacto as populações, ultrapassando a poluição da água e ficando atrás apenas da poluição do ar (WHO, 2017).

A mesma organização também já considerada esse tipo de poluição como problema de saúde pública (WHO, 2017), e estima que cerca de 10% da população mundial está exposta a níveis de ruído que podem causar diversos problemas.

Como exemplo dos males, tem-se danos à audição, perturbação e desconforto, prejuízo cognitivo, distúrbios do sono e doenças cardiovasculares (CARVALHO,2010).

Assim sendo, cabe destacar a importância de alertar a comunidade e o poder público para essa problemática, por muitas vezes negligenciada por tratar-se de um tipo de poluição de difícil percepção, se comparada as outras duas já citadas. No entanto, é justamente esse fator que eleva o seu grau de perigo, já que, na maioria das vezes, seus efeitos são percebidos tardiamente.

Tratando da propagação do ruído ambiental, além da análise da principal fonte, os automóveis, é de suma importância considerar as características do tecido urbano, que influenciam diretamente nos resultados sonoros de determinada área, isto é, os níveis de pressão sonora resultantes de uma mesma fonte podem ser bastante diferentes, dependendo das características geométricas do entorno (NIEMEYER, 2007). O tecido urbano

apresenta cenários sonoros complexos e seus estudos precisam levar em consideração as diversas fontes sonoras atuantes.

Dessa forma, dentre as muitas ferramentas de avaliação do ruído urbano, surgem os modelos computacionais, como os mapas acústicos, também denominados mapas de ruído ou mapas sonoros, que se apresentam como uma ferramenta fundamental de predição da poluição sonora, possibilitando visualizar espacialmente os níveis de pressão sonora de uma determinada área e constituindo atualmente uma importante ferramenta de planejamento urbano (BRASILEIRO, 2017).

Sua relevância consiste tanto no diagnóstico do problema quanto na proposição de planos de ação e/ou estratégias de controle do ruído urbano, já que através de simulações computacionais da paisagem sonora, é possível identificar áreas mais conflituosas, testar soluções e traçar cenários futuros da poluição sonora que sirvam de suporte para uma melhor organização dos usos e espaços, visando a melhoria da qualidade acústica das cidades.

Mesmo assim, segundo Brasileiro *et al.* (2018), em seu estudo sobre o estado da arte dos mapas de ruído no Brasil, essa ferramenta ainda é pouco utilizada, devido à inexistência de leis nacionais e normas técnicas que a tornem obrigatória. Destaca-

se como cidade pioneira a ser mapeada no Brasil, Belém do Pará, por iniciativa do poder público, entre os anos de 2002 e 2004. Nesse mesmo estudo, conclui-se que a elaboração de mapas sonoros no Brasil tem sido desenvolvida mais nos meios acadêmicos do que por iniciativa do poder público.

Voltando-se para o contexto da cidade de João Pessoa, de acordo com Alves *et al.* (2016), apesar de possuir menor densidade habitacional, a localidade apresenta mais queixas de poluição sonora por ano que outras capitais próximas - Natal (capital do Rio Grande do Norte) e Maceió (capital de Alagoas).

Destaca-se ainda que, por meio da iniciativa acadêmica, registram-se já 5 bairros acusticamente mapeados, em um universo total de 65 bairros da capital paraibana, são eles: Castelo Branco, Bessa, Altiplano, Bancários e Tambaú (RÉGIS *et al.*, 2020)

Sendo assim, dar continuidade a investigações acerca da poluição sonora na cidade de João Pessoa/PB é imprescindível, principalmente no que diz respeito a análise, proposição e simulação computacional de estratégias de mitigação do ruído aplicadas a nível de bairro, iniciativa inédita na cidade.

Dessa forma, o bairro Bancários foi escolhido como recorte geográfico do presente trabalho. A escolha dessa área foi motivada pelo fato do bairro, conforme apresentado em relatório técnico PIVIC desenvolvido pela autora, ter apresentado diversos pontos com níveis sonoros muito acima dos parâmetros estabelecidos na norma nacional NBR 10.151, ou seja, nocivos à saúde da população (LIMA *et al.*, 2019 a).

Assim, a partir das constatações obtidas por Lima *et al.* (2019 a), somado o esforço de revisão do mapa acústico do bairro, o presente trabalho busca evoluir até a proposição de estratégias de mitigação do ruído urbano, utilizando a simulação computacional para avaliar sua eficácia.

JUSTIFICATIVA

O estudo é justificado pela preocupante situação diagnosticada em trabalho anterior acerca da poluição sonora no bairro (LIMA *et al.*, 2019 a), e a tendência ao agravamento do problema. Assim como pelo avanço do conhecimento na área. Visa também, alertar comunidade e poder público acerca da problemática.

Ademais, muito se tem publicado sobre a aquisição dos mapas de ruído, no entanto, pouco se tem relatado sobre o que

fazer após sua obtenção, a exemplo de testar estratégias de mitigação da poluição urbana advinda do tráfego veicular.

OBJETO/RECORTE

As estratégias de mitigação do ruído urbano e seus desdobramentos no cenário acústico do bairro Bancários, em João Pessoa/PB.

OBJETIVO GERAL

Elaborar cenários estratégicos de mitigação do ruído de tráfego para o bairro Bancários, com base no mapa de ruído do mesmo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar fontes de ruído e características morfológicas que podem afetar/influenciar acusticamente áreas ou edificações específicas;
- Confrontar a situação acústica do bairro Bancários com a legislação sonora vigente;
- Avaliar os efeitos de diferentes estratégias de mitigação do ruído urbano na acústica ambiental através de simulação computacional de diferentes cenários;

2.

**REFERENCIAL
TEÓRICO**

2.1. SOM X RUÍDO

Por definição, som é qualquer vibração do ar (variação da pressão ambiente) que possa ser detectada pelo sistema auditivo humano (figura 01), ou seja, com frequência dentro da faixa audível pelo homem. (MURGEL, 2007, p. 21).

Figura 01 – Onda sonora em propagação



Fonte: Manual ProAcústica de acústica básica, 2019

Já ruído, para a física, é uma superposição de numerosas vibrações de frequências diversas, não harmônicas entre si, ou, mais simplesmente, um conjunto de sons produzidos por vibrações irregulares, sem o caráter de periodicidade e harmonia (MURGEL, 2007, p. 35).

No entanto, mesmo sons harmônicos, se de intensidade muito elevada, podem ser incômodos e causar danos à saúde. Por isso, em acústica, o conceito de ruído geralmente está associado a sons desagradáveis, perturbadores ou danosos a

saúde e ao meio ambiente que não façam parte do ambiente natural (PROACUSTICA, 2019, p. 7; MURGEL, 2007, p. 35).

Convém observar que, todo ruído é som, mas nem todo som é ruído. E a caracterização de um som como ruído, além das diferenciações científicas, é algo por muitas vezes subjetivo, que pode variar de pessoa para pessoa, já que cada um possui sua própria percepção sobre o que vem a ser um som indesejável. Questões relacionadas a harmonia, a intensidade e sua oscilação, ao gosto musical e até mesmo ao momento, local e/ou condição individual podem tornar ou não um som desagradável (MURGEL, 2007).

Os ruídos podem ser classificados em: ruídos de impacto, quando o meio de propagação é sólido, como é o caso do ruído que se propaga pela estrutura das edificações; e ruídos aéreos, quando propagados pelo ar, como é o caso do ruído de tráfego veicular, alvo desse trabalho (PROACÚSTICA, 2019, p.19).

2.2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Em termos físicos, o som é uma onda mecânica e que, dessa forma, necessita de um meio para se propagar, ou seja, não se propaga no vácuo. A propagação do som a partir da fonte ocorre em todas as direções, segundo uma esfera, através da movimentação das moléculas do meio, que colidem umas com as outras, transferindo energia sem transferir matéria (CARVALHO, 2010, p. 25).

As vibrações transmitidas, ou seja, os resultados das oscilações de moléculas do meio, em torno de suas posições de equilíbrio, são chamadas de ondas sonoras (CARVALHO, 2010, p.25).

Cabe ressaltar ainda que o som se propaga em velocidades distintas nos diferentes meios, diretamente proporcionais a densidade. Em meios sólidos, a velocidade de propagação dessas ondas é maior que em meios líquidos, e em meios líquidos é maior que em meios gasosos (CARVALHO, 2010, p. 27).

- FREQUÊNCIA

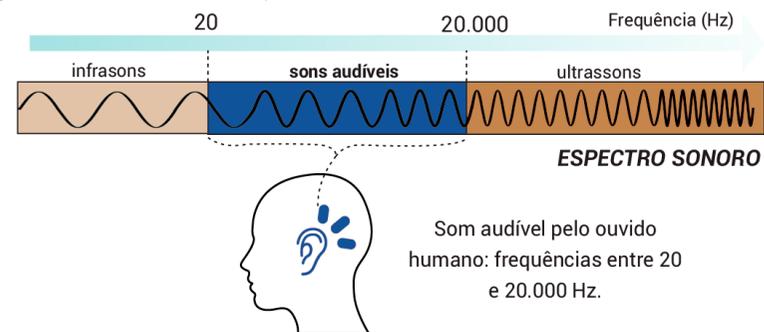
Como foi dito, a propagação sonora ocorre através de ondas, que obedecem a uma determinada repetição periódica, através da rarefação e compressão das partículas do meio. O número de repetições em função do tempo define a frequência e

vai determinar se ouviremos sons mais graves (baixa frequência) ou agudos (alta frequência) (PROACUSTICA, 2019, p. 9).

A unidade utilizada para medição de frequência é o hertz (Hz), que indica o número de repetições periódicas ocorridas por segundo. Sendo assim, na frequência de 1 Hz a repetição ocorre uma vez a cada segundo (BISTAFA,2018).

O ouvido humano é capaz de ouvir sons com frequência entre 20 Hz e 20 kHz (ou seja, de 20 vibrações por segundo até 20 mil vibrações por segundo). Os sons com frequências inferiores a 20 Hz, chamados infrassons e os acima de 20.000 Hz, chamados ultrassons (figura 02), por sua vez, são captados por muitos animais, como cães, morcegos e cetáceos, posto que os dois últimos possuem sistema de orientação sonora (MURGEL, 2007, p. 22).

Figura 02 – Faixa de frequência dos infrassons, sons audíveis e ultrassons



Fonte: Método Arqconcurso, 2020 (adaptado)

Vale destacar que, a frequência da onda sonora é determinada pela fonte que a produziu. Assim, ainda segundo Murgel (2007), o ruído de tráfego, em geral, apresenta uma faixa de frequência predominante que varia entre 500 Hz e 1500 Hz, bem próxima da faixa de maior percepção do ruído pelos seres humanos (de 1000 Hz a 4000 Hz), um dos motivos pelos quais essa fonte sonora representa um constante problema ambiental.

As ondas, por sua vez, podem ser caracterizadas pelos seguintes aspectos:

- COMPRIMENTO DE ONDA

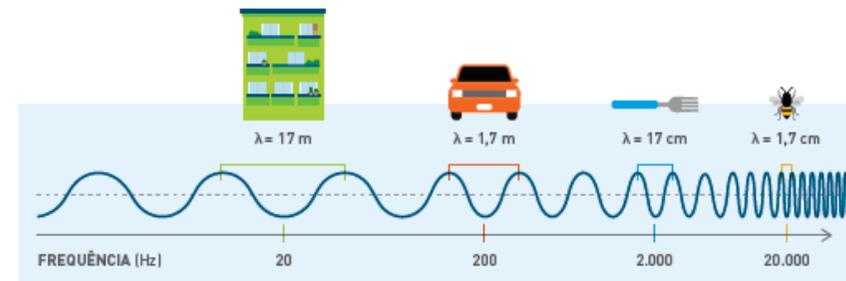
Característica fundamental para o desempenho acústico de um ambiente. Equivale a distância que o som percorre em cada ciclo completo de vibração (compressão e rarefação). Essa grandeza é usualmente representada pelo símbolo grego λ (lambda) (SOUZA *et al*, 2012, p.27).

Para cada frequência, as ondas sonoras apresentam diferentes comprimentos. Tal relação ocorre de forma inversa, ou seja, quanto maior a frequência, menor o comprimento de onda (figura 03) (PROACÚSTICA, 2019).

Considerando os sons audíveis, se propagando no ar, meio no qual a velocidade de propagação é cerca de 344 m/s, este comprimento pode variar de aproximadamente 1,7 centímetros – tamanho de uma abelha – até mais de 17 metros –

tamanho de um prédio de 6 andares (PROACUSTICA, 2019, p. 10; SOUZA, 2012, p. 27).

Figura 03 – Exemplos de comprimentos de onda*



* Considerando a velocidade de propagação sonora no ar $c = 343$ m/s.

Fonte: Manual ProAcústica de acústica básica, 2019

Do ponto de vista do isolamento acústico, sons de alta frequência, ou seja, de menor comprimento de onda são mais fáceis de isolar que sons de baixa frequência, com ondas maiores e mais energia. Isso ocorre, pois, sons de alta frequência tendem a sofrer reflexões mais comumente que os de baixa frequência, provocando áreas de sombra acústica (SOUZA *et al*, 2012, p. 35).

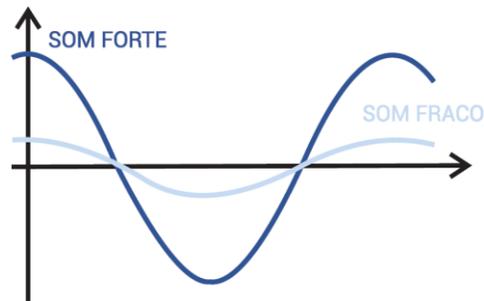
- AMPLITUDE

Segundo Souza *et al* (2012), a grandeza da pressão exercida sobre a atmosfera determina o máximo deslocamento da partícula em relação ao seu centro de equilíbrio, a esse deslocamento dá-se o nome de amplitude. Quanto maior a variação da pressão, maior será a amplitude – geralmente expressa em Pascal (Pa).

A amplitude relaciona-se a intensidade sonora e a quantidade de energia transmitida. Quanto maior for a amplitude de uma onda sonora, mais intenso será o som e maior a energia transportada pela onda.

Portanto, quando queremos aumentar o “volume” de determinada fonte sonora, na verdade estamos nos referindo a aumentar sua intensidade. Com base em sua intensidade, um som é classificado como forte (alta intensidade) ou fraco (baixa intensidade) (figura 04) (SOUZA *et al*, 2012, p. 26).

Figura 04 – Som forte e som fraco



Fonte: Método Arqconcurso, 2020 (adaptado)

A intensidade do som é medida por meio da potência sonora da fonte (energia por unidade de tempo), propagada por unidade de superfície, a qual toma o nome de intensidade energética (COSTA, 2003, p. 3).

Dessa forma, à medida que nos afastamos de uma fonte sonora, a intensidade do som diminui logaritmicamente, pois a área de distribuição da energia sonora aumenta (SOUZA *et al*, 2012, p. 29).

É chamada mínima intensidade física, ou limiar de audibilidade, a mínima intensidade sonora perceptível pelo indivíduo médio: $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

É chamada máxima intensidade física, ou limiar de dor, a máxima intensidade sonora suportável pelo indivíduo médio: $I_{\text{máx}} = 1 \text{ W/m}^2$

DECIBEL E NÍVEL DE PRESSÃO SONORA (NPS)

Para a medição do som, foi adotada uma divisão de escala log 10, a qual se deu o nome de bel (B). O bel é a unidade de intensidade física relativa ao som, e recebeu esse nome em homenagem a Alexander Graham Bell, inventor do telefone (Carvalho, 2010, p. 35). No entanto, como o bel ainda é uma unidade de escala muito grande para as variações de intensidade sonora, em geral, para as medições de níveis de ruído utiliza-se o decibel (dB), que equivale à décima parte de um bel.

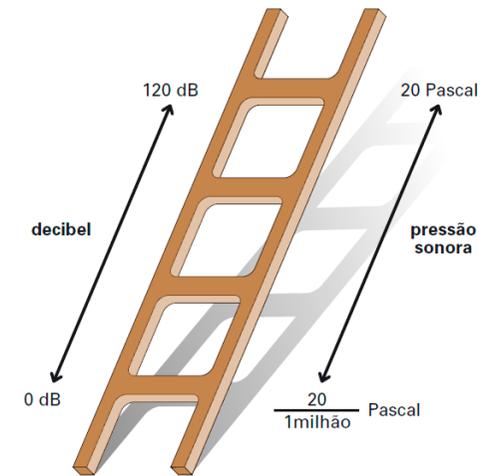
A grande vantagem da utilização da escala decibel é que ela corresponde aproximadamente à resposta do ouvido humano ao som. Segundo Sylvio Bistafa (2018), Harvey Fletcher (1884-1981) verificou que 1dB era a mínima variação de Potência (W) detectável pelo sistema auditivo,

Assim, o nível de pressão sonora (NPS), expresso em decibel (dB), é uma escala que relaciona de forma logarítmica a pressão sonora medida com uma outra de referência (figura 05). Usualmente, esta referência é a pressão sonora a partir da qual o ser humano começa a escutar os sons (20 μ Pa) (PROACUSTICA, 2019, p. 12).

"O ouvido humano é sensível a uma larga faixa de intensidade sonora, desde o limiar da audição até o limiar da dor. 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." (MURGEL, 2007, p. 23)

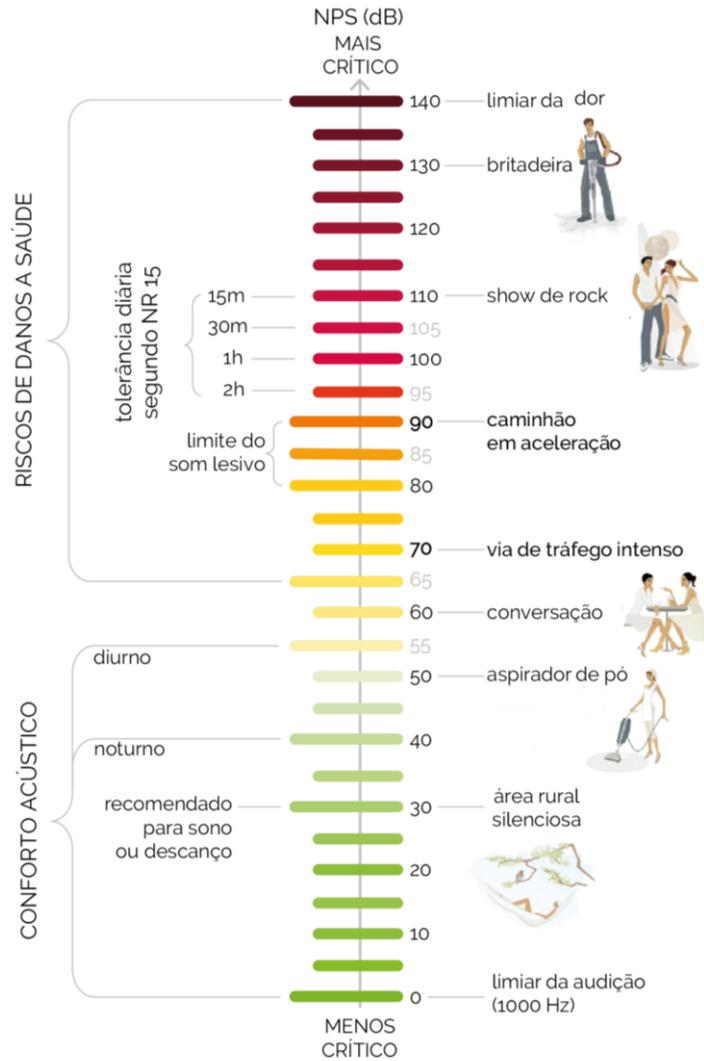
Figura 05 – comparação entre escala decibel e escala de pressão sonora



Fonte: APA, 2004

A escala logarítmica é utilizada para facilitar a representação e cálculos da pressão sonora, já que, convertendo a escala linear de pressão sonora em Pascal (Pa), numa escala logarítmica de nível de pressão sonora em decibel (dB), nessa nova escala, a relação entre um som correspondente ao limiar da audição humana e um som doloroso, abrange apenas 140 unidades (figura 06) (APA, 2004, p. 6).

Figura 06 – Escala decibel



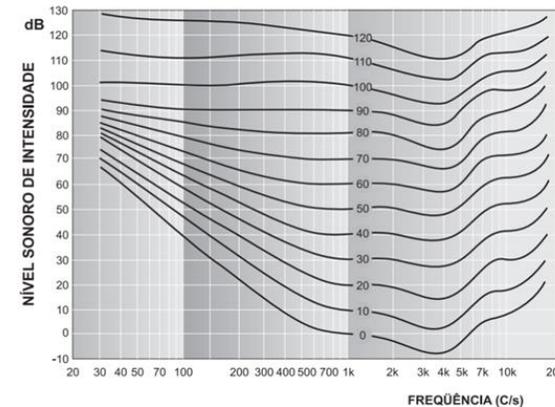
Fonte: elaborada pela autora com base na literatura

Para aferição do nível de pressão sonora é utilizado um equipamento especial chamado medidor de nível de pressão sonora, também conhecido como sonômetro.

É importante frisar que todos os conceitos da acústica, tais como as medidas de frequência e intensidade, foram criados com base na acuidade auditiva média do ser humano (MURGEL, 2007, p. 23).

No entanto, o ouvido humano não é igualmente sensível a todas as frequências sonoras, sendo mais sensível a faixa de 1kHz e 5kHz, e menos sensível as frequências extremamente baixas ou altas. Dessa forma, a partir dos resultados de experiências sobre a sensibilidade do ouvido humano a pressão sonora, Fletcher e Munson elaboraram curvas de variação dessa sensibilidade de acordo com a frequência dos sons, as curvas isofônicas (figura 07) (CARVALHO, 2010, p. 36).

Figura 07 – Curvas isofônicas

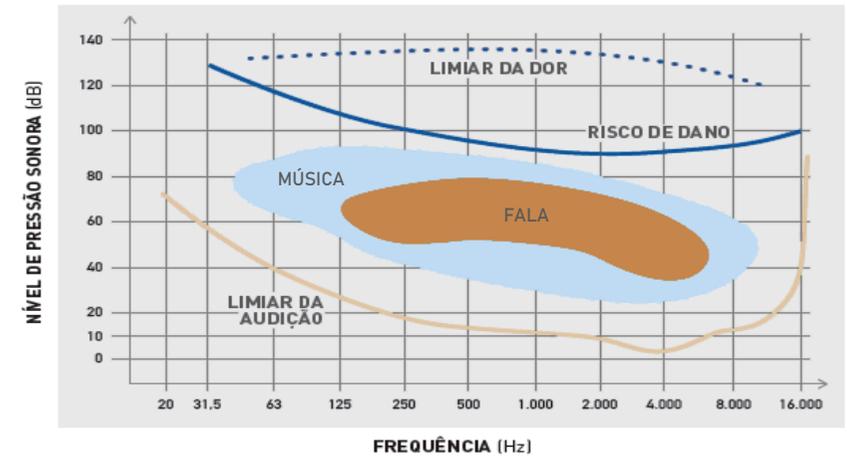


Fonte: CARVALHO, 2010

A figura 08 apresenta os limiares auditivos do ser humano em diversas frequências bem como regiões do espectro que abrangem a fala e a música. O limiar da audição, próximo a 0 dB na frequência de 1.000 Hz, representa a amplitude mínima necessária para que um som seja ouvido. A curva superior é o limiar da dor causado por amplitudes sonoras extremas. No entanto, há risco de danos à audição mesmo antes da sensação de dor (PROACUSTICA, 2019, p. 13).

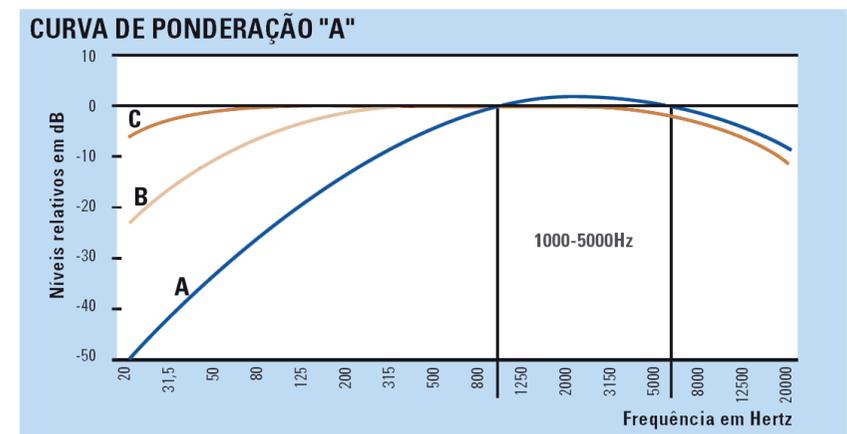
Para compensar essas diferenças de percepção foram criadas curvas de ponderação, denominadas A, B, C e D (figura 09). Cada curva possui suas finalidades, a curva A, por exemplo, é amplamente utilizada em análises acústicas como, por exemplo, na legislação de avaliação do incômodo e saúde ocupacional por melhor representar a audição humana. Já as curvas B e C são adequadas para médios e altos níveis sonoros, e a curva D foi padronizada para medições de ruído em aeroportos (GERGES, 2000).

Figura 08 – Limiares auditivos do ser humano



Fonte: Manual ProAcústica de acústica básica, 2019 (adaptado)

Figura 09 – Curvas de ponderação (A, B e C)



Fonte: APA, 2004 (adaptado)

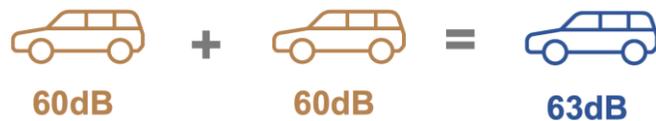
Isto posto, cabe destacar como ocorre o somatório e atenuação do ruído.

SOMATÓRIO DO RUÍDO

Tratando-se de uma escala logarítmica, o nível de ruído resultante de duas fontes distintas em funcionamento simultâneo deverá ser obtido através da soma logarítmica.

Isso significa que, quando se tem 2 fontes de mesma intensidade, por exemplo, quando se duplica o volume de tráfego rodoviário, o ruído resultante será 3 dB (A) acima do ruído inicial (figura 10) (MURGEL, 2007, p. 27).

Figura 10 – Somatório de ruído (2 fontes de mesma intensidade)



Fonte: Método Arqconcurso, 2020 (adaptado)

Já no caso de duas fontes que diferem 10 dB ou mais na intensidade, o ruído resultante será igual ao ruído de maior intensidade. Portanto, o ruído de menor amplitude é mascarado pelo de maior amplitude (figura 11) (APA, 2004, p.7).

Figura 11 – Somatório de ruído (2 fontes de intensidade que diferem 10 dB ou mais)

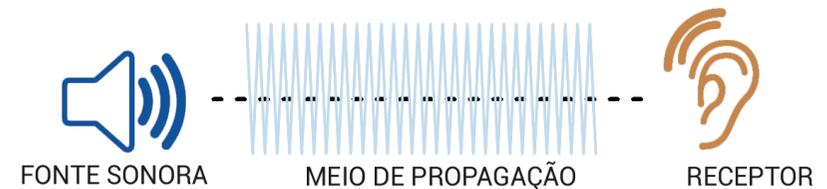


Fonte: Método Arqconcurso, 2020 (adaptado)

ATENUAÇÃO DO RUÍDO

Em relação a propagação sonora ao ar livre, é de suma importância compreender que ela se dá através da relação entre três componentes: a fonte sonora, a trajetória de transmissão e o receptor (figura 12). Inicialmente, a fonte emite certa potência sonora, gerando um nível sonoro que pode ser medido próximo a fonte. Então, esse nível sonoro sofre atenuação à medida que o som se propaga entre fonte e receptor, de acordo com sua trajetória (BISTAFA, 2018).

Figura 12 – Esquema do mecanismo de propagação sonora ao ar livre



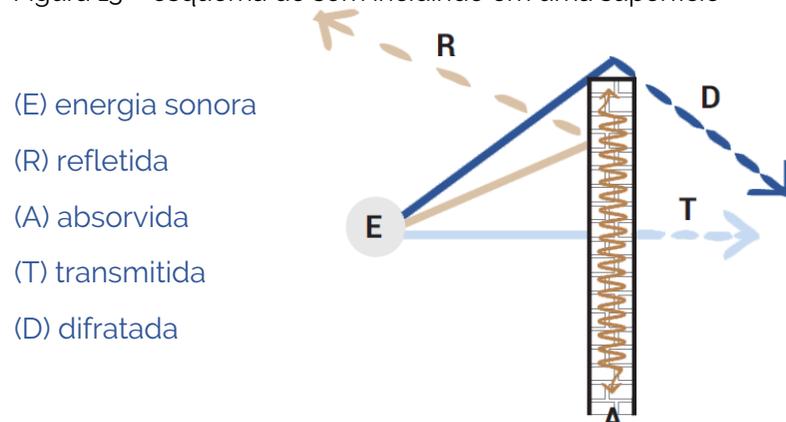
Fonte: Método Arqconcurso, 2020 (adaptado)

O conceito de atenuação está relacionado ao enfraquecimento do som durante sua transmissão até chegar no receptor.

Tratando da trajetória de transmissão do ruído, é importante destacar 4 fenômenos que geralmente ocorrem nesse percurso, quando as ondas sonoras atingem uma superfície (figura 13). São eles, como definidos no manual da ProAcústica (2019):

- **REFLEXÃO**: que ocorre quando parte da energia sonora que incide sobre um material retorna ao ambiente.
- **ABSORÇÃO**: que ocorre quando parte da energia sonora é dissipada pela superfície.
- **TRANSMISSÃO**: que corresponde a parte da energia sonora que não foi refletida nem absorvida
- **DIFRAÇÃO**: que ocorre quando parte da energia sonora é difratada, através de frestas ou "contornando" um obstáculo.

Figura 13 – esquema de som incidindo em uma superfície



- (E) energia sonora
- (R) refletida
- (A) absorvida
- (T) transmitida
- (D) difratada

Fonte: Método Arqconcurso, 2020 (adaptado)

Para além desses efeitos, outras diversas estratégias – aqui chamadas estratégias de mitigação – condicionam a propagação do ruído, contribuindo para sua atenuação. A seguir, algumas delas serão detalhadas.

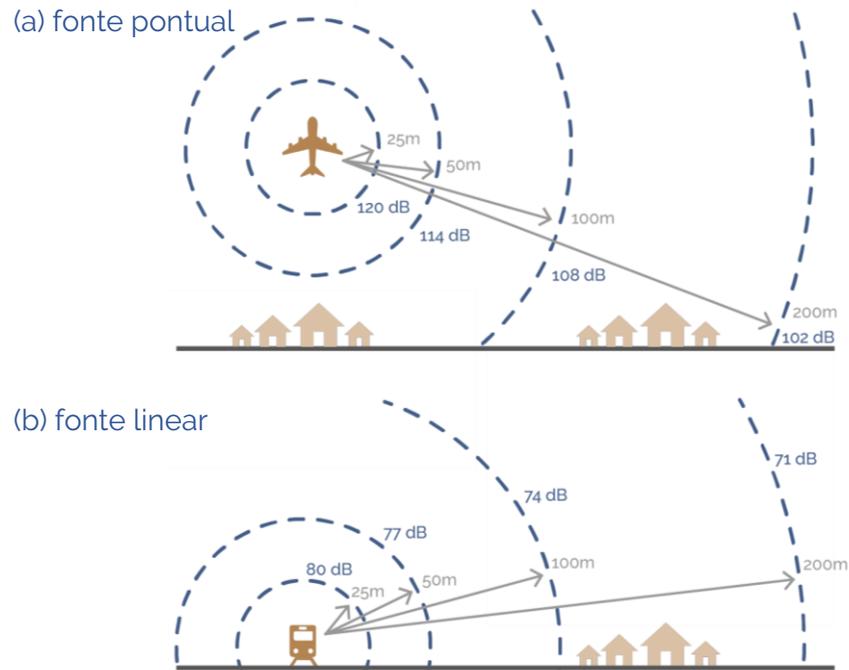
A mais comum de todas é a atenuação com a distância, já que a proporção que o ruído se distancia da fonte, a sua intensidade diminui. Segundo Gerges (2000), essa atenuação depende da distribuição das fontes de ruído, ou seja, depende do tipo da fonte sonora.

As fontes sonoras, segundo Niemeyer (2007), correspondem aos elementos responsáveis pela emissão do som. O entendimento do conceito e classificações dessas fontes se torna relevante por elas caracterizarem o ruído urbano, objeto de estudo dos mapas acústicos elaborados e utilizados nesse trabalho, bem como por serem alvo de diversas estratégias de mitigação do ruído aqui simuladas.

Nesse sentido, cabe destacar a diferença que ocorre entre fontes lineares e pontuais. Se a fonte sonora for pontual (figura 14 a), a propagação ocorre em ondas esféricas. Assim, a atenuação do ruído é de 6 dB (A) a cada duplicação da distância da fonte (BISTAFA, 2018). Se a fonte sonora for linear (figura 14 b), a propagação ocorre em ondas hemicilíndricas. Assim, a

atenuação do ruído é menos intensa, havendo perda de 3 dB (A) cada vez que se dobra a distância (BISTAFA, 2018).

Figura 14 – Fontes de ruído pontual e linear



Fonte: elaborada pela autora com base na literatura

Segundo Murgel (2007), uma rodovia é considerada uma fonte linear, mas com algumas ressalvas. Isso, porque o ruído não é contínuo nem constante em toda a sua extensão, mas é gerado pelos veículos que se movem em uma mesma linha. Assim, um

veículo isolado tem comportamento de fonte pontual, enquanto o ruído residual de tráfego, constante ao longo da via, comporta-se como fonte linear.

Bistafa (2018) apresenta no quadro a seguir (quadro 01) um resumo dos principais mecanismos de atenuação sonora ao ar livre, com uma breve descrição de cada um, além de apontar as condições necessárias para se obter atenuação aproximada de 5 dB para cada mecanismo verificado.

Quadro 01 - Principais mecanismos de atenuação sonora ao ar livre.

| MECANISMO | BREVE DESCRIÇÃO | ATENUAÇÃO APROXIMADA DE 5 dB | |
|---------------------|--|---|---------------------|
| | | CONDIÇÕES | A DISTÂNCIA DE |
| ABSORÇÃO DO AR | Absorção sonora do ar atmosférico | A 10°C e 70% de umidade relativa | 800m |
| | | | 1500m - 500 Hz |
| | | | 250m - 4000 Hz |
| SOLO MACIO | Interferência (quase sempre destrutiva) entre o som direto e o refletido sobre solo acusticamente macio. | Para alturas da fonte e do receptor da ordem de 1,2m. | 85m |
| | | | 10m - 250 e 500 Hz |
| | | | 50m - 125 e 1000 Hz |
| BARREIRA | Atenuação provocada por uma barreira acústica entre a fonte e o receptor, combinada com uma atenuação adicional de solo acusticamente "macio". | Quando o receptor se encontra na sombra acústica gerada pela barreira, em temperaturas normais e sem vento. | todas |
| EDIFICAÇÕES | Atenuação provocada por edificações entre a fonte e o receptor. | Quando uma fileira de edificações com aproximadamente 25% de abertura. | todas |
| VEGETAÇÃO DENSA | Atenuação provocada por vegetação densa entre a fonte e o receptor. | Áreas com muitas árvores e vegetação densa no solo. | 30m |
| | | | 100m - 500 Hz |
| | | | 50m - 4000 Hz |
| REVERBERAÇÃO URBANA | Amplificação sonora devida a múltiplas reflexões em desfiladeiros urbanos. | Com edificações de no mínimo 10m de altura em ambos os lados da rua | todas |
| VENTO E TEMPERATURA | Alteração de atenuação do solo e/ou barreira, ou criação de sombras acústicas causadas por gradientes verticais de temperatura e de ventos. | Em dias ensolarados, para alturas da fonte e do receptor na ordem de 1,2m. | 150m |
| | | | 150m - 500 Hz |
| | | | 50m - 4000 Hz |

Fonte: ANDERSON; KURZE, 1992 apud BISTAFSA, 2018.

- Atenuação sonora do ar atmosférico

Como o ar não é um meio perfeitamente elástico (condição ideal de propagação sonora), há uma perda de energia na transmissão aérea do ruído, que varia conforme a frequência do som e as condições meteorológicas (MURGEL, 2007, p. 28).

Quanto mais alta a frequência do som, maior será a atenuação do ruído no ar, motivo pelo qual, em grandes distâncias da fonte de ruído, praticamente só são audíveis os sons de baixa frequência (MURGEL, 2007, p. 29).

- Atenuação sonora do solo

Segundo Bistafa (2018), reflexões no solo interferem com o som direto, causando atenuação ou, menos frequentemente, amplificação.

Para o solo duro (como asfalto e concreto), o resultado é a amplificação do som. Já para o solo macio (como vegetação e terra arada), ocorre atenuação de banda larga no espectro sonoro (BISTAFA, 2018).

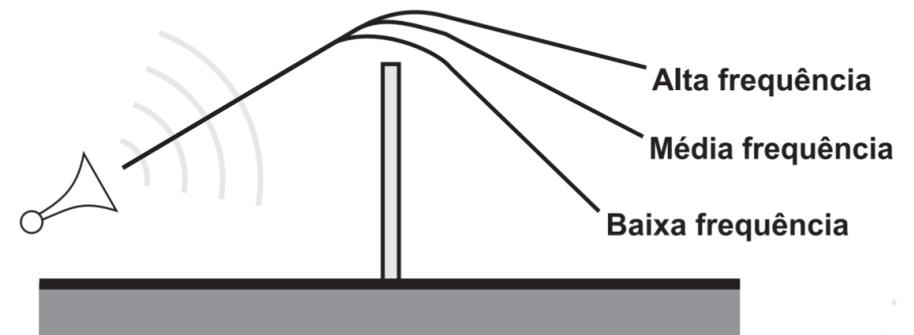
Observa-se que, em geral, as vias presentes nos centros urbanos são revestidas com materiais que apresentam características refletoras, contribuindo, assim, para o aumento do ruído nas cidades (SOUSA, 2004).

- Atenuação das barreiras acústicas

Barreiras acústicas são anteparos posicionados entre a fonte produtora de ruído e o receptor (CARVALHO, 2010, p. 106).

Para seu dimensionamento aplica-se princípio da difração, que consiste na propriedade da onda sonora de transpor obstáculos entre a fonte sonora e o receptor, mudando sua direção e reduzindo sua intensidade, conforme ilustrado na figura 15 (CARVALHO, 2010, p. 30).

Figura 15 - variação de difração sobre uma barreira a diferentes frequências



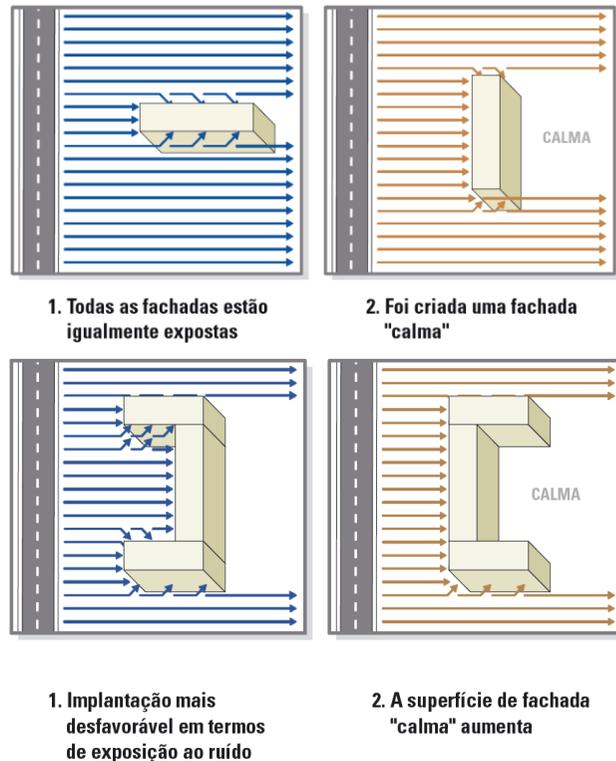
Fonte: CARVALHO, 2010

Sua eficácia dependerá também de sua massa, que deverá ser considerada de acordo com a necessidade de isolamento.

Assim, os próprios edifícios, quando se interpõem entre a fonte e o receptor, também podem funcionar como barreiras acústicas, atenuando os níveis de pressão sonora. Nesse caso, é

importante observar questões relacionadas a implantação (figura 16) e garantir que o edifício diretamente exposto a fonte não apresente usos sensíveis ao ruído.

Figura 16 – Influência da implantação

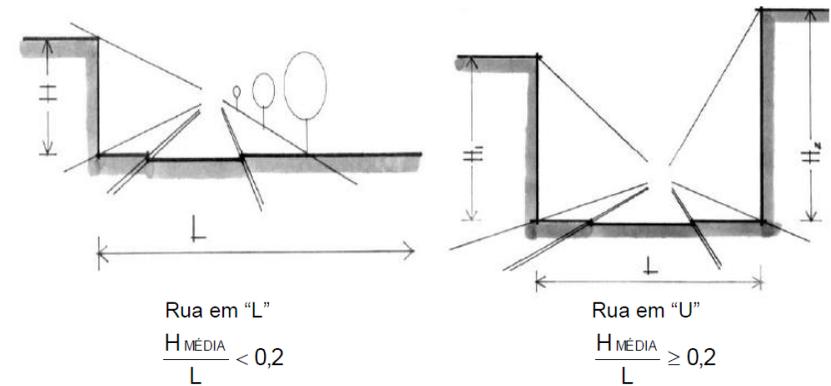


Fonte: APA,2004

Os níveis de pressão sonora também podem variar conforme as características geométricas do entorno. Ruas com perfil "L" se configuram quando o espaço acústico é aberto,

marguada por edifícios relativamente baixos; já as ruas em "U" são as do tipo cânion, margeadas por barreiras ou edificações coladas (NIEMEYER, 2007), conforme a figura 17.

Figura 17 - Desenho esquemático de ruas em perfil "L" e "U".



Fonte: NIEMEYER, 2007

Nas vias com configuração "L", há reflexão do som em apenas um dos lados e, portanto, não há reverberação e a influência do som refletido não é tão grande. Já nas vias com configuração "U", ocorre a reflexão do som produzido na via, em ambos os lados, gerando reverberação, fenômeno conhecido como *canyon* urbano (NAVARRO, 2015, p.58).

Assim, para essa segunda configuração, pode-se recorrer à utilização de materiais absorventes na constituição das fachadas dos edifícios. No entanto, este tipo de medidas tem uma eficácia limitada, estimada em cerca de 2 a 3 dB (A) (APA,2004).

- Atenuação da vegetação densa

Áreas densamente arborizadas conferem atenuação adicional ao som. No entanto, para que isso ocorra, é necessário que o cinturão verde apresente características e dimensões específicas, ou seja, o plantio de algumas poucas árvores não gera atenuação de ruído significativa, como muitos acreditam.

Assim, a vegetação, para servir como atenuadora acústica, deverá ter as seguintes características: largura superior a 15m afim de obter atenuação na ordem de 7dB (na faixa de frequência de 200 a 2000 Hz); cinturão localizado mais próximo da fonte para obter maior atenuação sonora; árvores, que compõem o cinturão, elevadas pelo menos cinco metros acima da linha de visão, e o cinturão formado por uma vegetação densa caracterizada pelo impedimento de visualização da fonte sonora pelo receptor (BISTAFA, 2018; GERGES, 2000; KANG, 2007).

- Efeito de gradientes de temperatura e de velocidade do vento

Gradientes verticais de vento e de temperatura refratam ("curvam") as trajetórias sonoras para cima e para baixo, gerando regiões de sombra acústica (BISTAFA, 2018).

Em relação a variação de temperatura, Murgel (2007) afirma que seu poder de atenuação é maior em temperaturas

intermediárias (dependendo da umidade) e menor em temperaturas mais altas ou mais baixas. Além disso, se considerarmos que a temperatura do ar varia conforme a altura em relação ao solo, ao longo do percurso da onda, o modo como esta é atenuada e desviada é alterado ponto a ponto, ou seja, de difícil previsão.

No caso do vento, sua atuação pode ocorrer de forma direta e indireta. De modo direto, quando a massa de ar se desloca, e as ondas sonoras se movem na mesma proporção, uma vez que o ar é o meio de propagação do som. Assim, um vento com direção fonte → receptor, no qual as ondas sonoras tiveram que atravessar uma massa de ar menor, sofrendo menos perdas, provoca no receptor a percepção de aumento do nível do ruído. E de modo indireto, interferindo no gradiente térmico (MURGEL, 2007, p. 29).

Souza, Almeida e Bragança (2012) ainda destacam que, na prática, como essas características climáticas atuam simultaneamente sobre o ar, o movimento do ar, por si só, sobrepõe-se aos demais fatores, ganhando maior importância.

2.3. POLUIÇÃO SONORA

De acordo com a Lei nº 6.938/81 (BRASIL, 1981), que institui a Política Nacional do Meio Ambiente, em seu art. 3º, III, a poluição, de forma geral, pode ser definida como a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) Prejudiquem a saúde;
- b) Criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;
- c) Afetem desfavoravelmente a biota;
- d) Afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;
- e) Lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos.

Dessa forma, a poluição sonora pode ser entendida como a degradação da qualidade ambiental decorrente do ruído gerado pela atuação conjunta de diversas fontes que se propagam no espaço urbano.

Com o crescimento desordenado dos núcleos urbanos, considerando, cada vez mais a concentração da população nas grandes cidades, e associando a isso a tendência de espraiamento das malhas urbanas, com a ampliação da rede viária, verifica-se um conseqüente e grave aumento do número

de veículos em circulação. Estes fatores contribuem para reunir e intensificar diferentes tipos de fontes sonoras, culminando numa agravante elevação dos níveis de poluição sonora no ambiente urbano.

Kessler (1982, apud BRASILEIRO, 2017) classifica as fontes sonoras existentes no espaço urbano em quatro categorias, que constituem o ruído ambiental: transporte (aéreo, rodoviário e ferroviário), indústria, construção civil e o doméstico. Berglund, Lidvall e Schwela (1999, apud BRASILEIRO, 2017), acrescentam a essas o ruído proveniente do comércio e serviço, de atividades militares e de lazer (figura 18).

Figura 18 – Principais fontes da poluição sonora



Fonte: elaborado pela autora com base na literatura

Vale destacar que é crescente o número de reclamações quanto as questões de ruído urbano, especificamente relacionadas ao número excessivo de veículos trafegando, a casas noturnas e até mesmo a igrejas ou templos religiosos (CARVALHO, 2010, p. 20).

Sobre as denúncias de poluição sonora na cidade de João Pessoa, em pesquisa que avaliou dados referentes aos anos de 2012 a 2015, Brasileiro *et al.* (2016) identificaram que:

[...] dentre os diversos tipos de poluição ambiental, a sonora é a que apresenta a maior quantidade de denúncias na cidade [...] os resultados revelam que em 2012, entre os meses de janeiro e julho, foram registradas 4.543 denúncias; em 2013 esse número reduziu para 3.114; em 2014 foram realizadas apenas 2.273; e em 2015 totalizaram-se 2.862 ocorrências. (BRASILEIRO *et al.*, 2016)

Nessa mesma pesquisa, as autoras também destacaram os tipos de fonte sonora que apresentam mais reclamações na cidade, apontando o paredão de som como o grupo que apresentou mais denúncias nesses 4 anos.

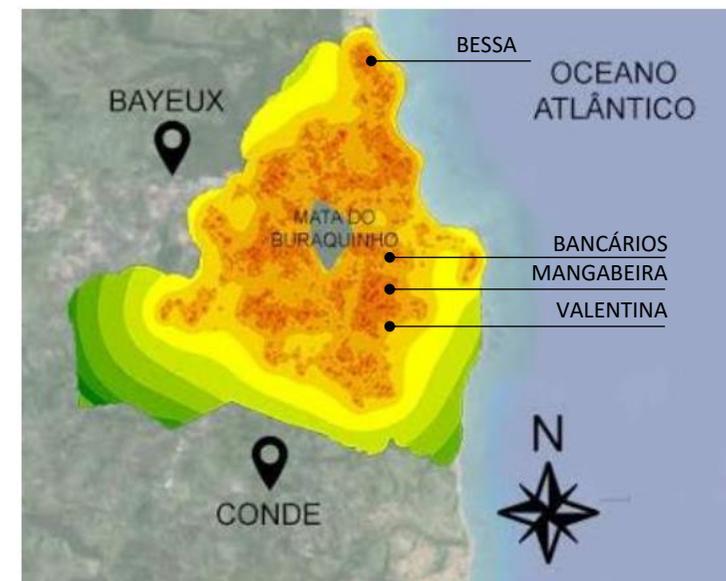
O bairro Bancários, embora não tenha figurado entre os bairros com maior concentração de denúncias (Bessa, Mangabeira e Valentina – Figura 19), foi apontado como ponto de destaque de denúncias na cidade.

Vale ressaltar que a temática da poluição sonora também tem ganhado destaque nas últimas décadas, principalmente

através de iniciativas de países europeus, a partir da definição de uma legislação específica voltada ao controle do ruído urbano na união europeia, como será visto no tópico 2.6 b.

Dessa forma, um planejamento urbano que seja sensível a questão acústica ainda constitui um desafio na nossa sociedade, considerando a necessidade de conciliar os diferentes usos da cidade, e ao mesmo tempo garantir qualidade vida e preservar o mix funcional. Mas é o caminho que se mostra mais adequado diante da magnitude desse problema.

Figura 19 – Mapeamento da concentração de denúncias de poluição sonora em João Pessoa – 2013 a 2015



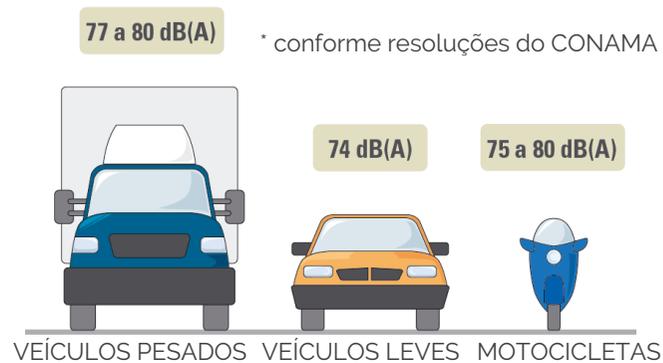
Fonte: BRASILEIRO *et al.* 2016 - adaptado

2.4. RUÍDO DE TRÁFEGO VEICULAR

Dentre as diversas fontes de ruído existentes nas cidades, o ruído de tráfego, resultado da combinação do ruído gerado por diferentes veículos, leves e pesados, constitui a mais incomoda fonte de ruído urbano (OUIS, 2001). Nesse sentido, Niemeyer (2007) ainda afirma que os veículos leves, embora, individualmente, menos ruidosos que os veículos de grande porte, são, em conjunto, a maior fonte de ruído urbano.

Vale destacar, que os veículos automotores são fontes extremamente complexas, tendo o seu ruído origens distintas. Outro ponto importante é que os caminhões, automóveis e motocicletas emitem diferentes níveis sonoros com diferentes conteúdos espectrais (GUEDES, 2005) (figura 20).

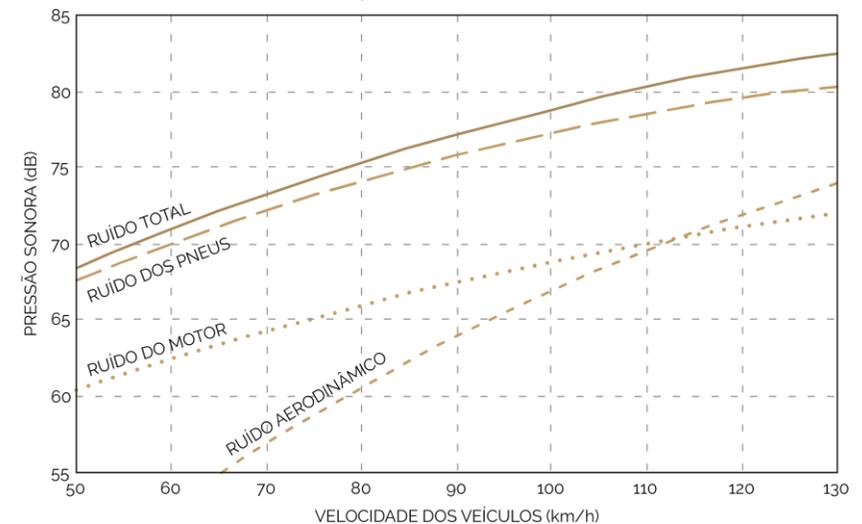
Figura 20 – Níveis sonoros máximos admissíveis a saída de fábrica



Fonte: APA, 2004 (adaptado)

No caso dos veículos de pequeno porte, o ruído provém, predominantemente, dos componentes veiculares: motor, escape, pneus e admissão do ar. No entanto, o atrito do pneu com a estrada é responsável pela maior emissão do ruído veicular (HANSON *et al.*, 2004) (gráfico 01).

Gráfico 01 - relação entre a pressão sonora e a velocidade dos veículos



Fonte: HANSON *et al.*, 2004 (adaptado)

No caso do ruído provocado pelo atrito entre os pneus e as rugosidades da pista, vale destacar que, como esses choques ocorrem a curtíssimos intervalos de tempo, a frequência do ruído

resultante é alta. Dessa forma, quanto maior a velocidade maior a frequência.

No entanto, em consequência de leis que determinam limites de emissão de ruído para veículos, a cada novo modelo os fabricantes estão sendo obrigados a projetar motores e sistemas de escapamento cada vez menos ruidosos. Assim, com o aperfeiçoamento desses componentes, o ruído dos pneus se torna mais evidente, tornando maior a influência do tipo e da conservação do material de recobrimento das vias, o que vem suscitando pesquisas que objetivam desenvolver novas alternativas desses materiais.

Em relação ao ruído provocado pelos freios, cabe destacar os veículos pesados, especialmente os ônibus urbanos, nos quais é bastante comum, em virtude do desgaste irregular, a emissão de guinchos estridentes a cada parada do veículo (Murgel, 2007, p. 72).

Além desses fatores, Miyara (2013) pontua alguns condicionantes que produzem significativas interferências no ruído gerado pelo tráfego, a exemplo do fluxo de veículos, da composição do trânsito, da inclinação das vias e do tipo de perfil presente no entorno. Murgel (2007) ainda acrescenta a eles, a influência do traçado das vias, do tipo de material de recobrimento utilizado e da velocidade dos veículos.

Em relação ao traçado das vias, a primeira preocupação quanto ao controle do ruído rodoviário diz respeito ao planejamento urbano. Nesse sentido deve haver uma hierarquização das vias, considerando que as vias de tráfego principais, assim como as rodovias, devem ter seu traçado distanciado de receptores potencialmente sensíveis ao ruído, como residências, escolas, hospitais, entre outros. Para Murgel (2007):

“Uma área urbana bem planejada é constituída de avenidas principais, que concentram o tráfego entre regiões distintas e passam por áreas onde não há ocupação residencial, apenas atividades comerciais e industriais. Distantes desses corredores principais, os bairros residenciais devem ter acessos únicos, por vias secundárias, onde só trafeguem os veículos que se destinem a esses bairros. Formando-se esses bolsões residenciais, evita-se o tráfego de passagem por áreas de moradia, o que diminui sensivelmente os inconvenientes do ruído de tráfego.” (MURGEL, 2007, p. 72)

Ainda em relação ao traçado, merece atenção a questão da declividade, que deve ser limitada, a fim de evitar-se rampas acentuadas que obriguem os veículos – particularmente os pesados - a manter marchas reduzidas, o que aumenta o ruído do motor e escapamento, como visto anteriormente. As curvas acentuadas também devem ser evitadas quando possível, uma vez que exigem uma desaceleração dos veículos no início, e uma aceleração no final (MURGEL, 2007, p. 73)

Buscando intervir na superfície de propagação mais próxima da principal fonte de ruído urbano, ou seja, a via, uma correta especificação do material de recobrimento se apresenta como uma alternativa interessante.

Por isso, é importante saber que, características como a porosidade e a rugosidade do material de recobrimento das vias influenciam diretamente no ruído gerado.

Quanto menor a rugosidade, menor é a vibração durante o atrito entre pneus e material de recobrimento, portanto, menor também é o nível de ruído produzido.

Assim, recobrimentos asfálticos velhos, nos quais grande parte da pedra britada está exposta, ou seja, apresentam alta rugosidade, conseqüentemente geram mais ruído (MURGEL, 2007, p.75)

Outro tipo de recobrimento de alta rugosidade, e amplamente utilizada em vias locais de João Pessoa, é o recobrimento com paralelepípedos de pedra, que também causa significativo aumento do nível de ruído, cerca de 3 a 5 dB em relação ao recobrimento asfáltico convencional (Murgel, 2007, p.78).

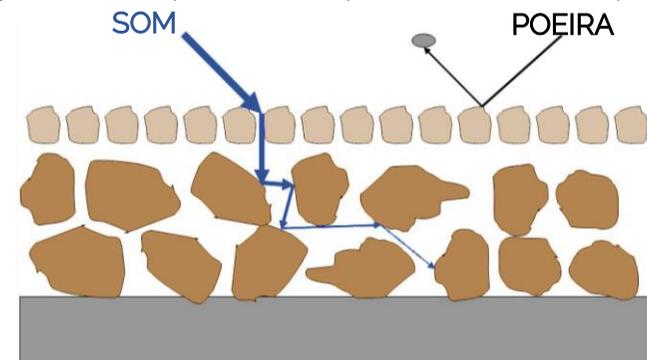
No entanto, Murgel (2007, p.75) alerta que os recobrimentos asfálticos de baixa rugosidade, embora apresentem um bom desempenho acústico, podem prejudicar a

segurança viária, uma vez que tornam a aderência dos pneus ao piso menos eficiente.

Nesse sentido, o estudo de recobrimentos especiais para controle acústico vem ganhando destaque nas pesquisas, tendo avançado muito aquelas voltadas a um tipo de recobrimento asfáltico denominado 'poroso' (figura 21).

"Recobrimentos asfálticos não totalmente preenchidos pelo betume e sem as pedras de menor granulometria, resultando em uma superfície repleta de orifícios irregulares" (MURGEL, 2007, p. 76)

Figura 21 - Princípio do asfalto poroso de camada dupla



Fonte: HAIDER, M. et al, 2005

Vale ressaltar, que esse tipo de recobrimento possui superfície porosa, mas não rugosa, o que assemelha a vibração provocada por ele a de um recobrimento asfáltico convencional liso, já que essa porosidade o torna absorvente sonoro ao reduzir ruído de atrito e aerodinâmicos, além de reduzir também parte do ruído gerado pela parte inferior do veículo (Murgel, 2007, p.76).

A tabela 01, apresenta as variações de nível de ruído para diversos tipos de recobrimento em comparação ao recobrimento asfáltico conservado. A análise desses dados permite deduzir que entre um recobrimento asfáltico deteriorado e um piso especialmente projetado para baixa emissão de ruído, é possível chegar a reduções da ordem de 10 dB (MURGEL, 2007, p.78).

Tabela 01 – Variação do ruído para diversos tipos de recobrimento comparativamente ao recobrimento asfáltico convencional em bom estado

| Concreto | Asfalto deteriorado, blocos polidricos ou paralelepípedos | Asfalto de baixa rugosidade | Asfalto poroso |
|----------------|---|-----------------------------|------------------------|
| até +2,5 dB(A) | até +5 dB(A) | até -5 dB(A) | de -3 dB(A) a -6 dB(A) |

Fonte: MURGEL, 2007

A tabela 02 apresenta a ordem de grandeza das variações de nível sonoro em função do tipo de piso e da velocidade do veículo.

Tabela 02 – Variação do nível de ruído em vias com recobrimento especial em relação a variação nas vias com asfalto convencional – em dB (A)

| | Automóveis | | | Caminhões | |
|----------------|------------|----------|----------|-----------|---------|
| | 80 km/h | 100 km/h | 130 km/h | 60 km/h | 80 km/h |
| Concreto | +1,5 | +2,0 | +2,5 | +2,0 | +2,5 |
| Asfalto poroso | -2,0 | -2,5 | -3,0 | -2,5 | -3,0 |

Fonte: MURGEL, 2007

Para além da acústica, outra grande vantagem desse tipo de recobrimento é a melhora da segurança viária, pois ele

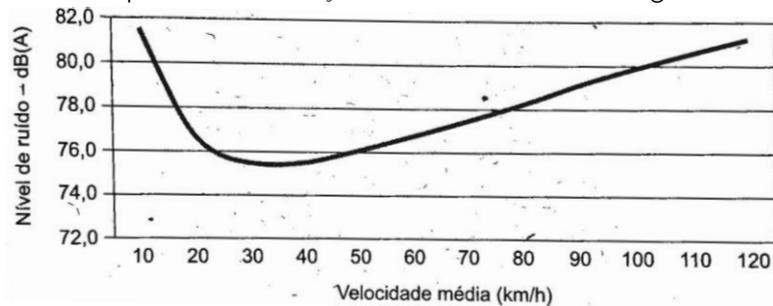
aumenta a aderência dos pneus ao piso, especialmente em condições de chuva, em razão da rápida e eficiente drenagem da pista possibilitada pelos poros (Murgel, 2007, p. 76). Tal característica pode contribuir também para a diminuição dos pontos de alagamento, outro problema recorrente nas grandes cidades.

Outro fator de forte influência no nível de ruído resultante do tráfego em uma via é a velocidade dos veículos em trânsito.

Nesse sentido, o ruído de tráfego em área urbanas e em rodovias tende a apresentar algumas diferenças. Segundo Leclercq e Lelong (apud GUEDES, 2005), em áreas urbanas, esse tipo de ruído apresenta muitas variações, decorrentes das frequentes acelerações e desacelerações proporcionadas pelas condições do tráfego, geralmente congestionado, pelas características das estradas e até mesmo do comportamento do motorista. Já nas rodovias, não considerando congestionamentos, acontece o contrário, o ruído apresenta poucas variações, pois, os veículos trafegam, sucessivamente, com velocidades constantes, praticamente sem trocas de marcha. Assim, quanto maior a velocidade, maior a rotação do motor e a frequência dos demais movimentos e explosões, gerando maior intensidade sonora (OUIS, 2001; MURGEL, 2007).

Segundo Barbosa (apud MURGEL,2007), a redução da velocidade média de tráfego em uma via de 50km/h para 30km/h, implica a diminuição de 4dB a 5dB no nível de ruído de tráfego. O gráfico 02 apresenta uma estimativa do ruído em função da velocidade média de tráfego.

Gráfico 02 – Estimativa do nível de ruído à margem de uma rodovia hipotética em função da velocidade de tráfego



Fonte: MURGEL, 2007

Na situação de congestionamento intenso (10 km/h), percebe-se que o nível de ruído é bastante elevado (acima dos 80dB). Entre 30km/h e 40km/h, há redução da intensidade sonora, que chega ao mínimo nível possível para uma via de tráfego, e a partir disso, com o aumento da velocidade se observa também aumento contínuo e praticamente linear do ruído.

Considerando isso, faz-se necessário utilizar alguns parâmetros estatísticos para obter um valor que seja representativo do ruído característico do local.

Para medições de ruído de tráfego, o indicador mais utilizado como parâmetro legal e normativo é o nível equivalente contínuo (Leq), "que 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". (MURGEL, 2007, p. 25)

O Leq, quando ponderado pela curva A, torna-se LAeq e pode ser calculado conforme a expressão a seguir, que considera não somente o nível sonoro como também o tempo de exposição, melhor parâmetro de indicação do grau de danos causados por determinada fonte sonora.

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10 \frac{L_i}{10}$$

Onde:

L_i é o nível de pressão sonora, em dB (A), lido em resposta rápida a cada 5 seg. durante o tempo de medição.

n é o número total de leituras.

Considerando então a grande variedade morfológica presente no bairro Bancários, área objeto de estudo, entende-se que a compreensão dos conceitos de fontes sonoras no espaço urbano, seus meios de propagação e a influência da forma do tecido urbano, vistos nesse capítulo, tornam-se importante para a análise e discussão dos resultados obtidos nos mapas acústicos, bem como para a proposição de estratégias de mitigação do ruído.

2.5. EFEITOS DO RUÍDO NA SAÚDE HUMANA

Ambientes ruidosos podem gerar efeitos nocivos aos organismos dos indivíduos a eles expostos, dificultando, por exemplo, a concentração, o aprendizado, a produtividade, e até mesmo desencadeando o aparecimento de doenças.

É interessante destacar que, muitas vezes, a causa real do problema é o ruído, mas o diagnóstico aponta para outra causa, talvez ainda pela falta de visibilidade da gravidade desse tipo de poluição.

Os efeitos do ruído na saúde humana vão depender do nível de pressão sonora e do tempo de exposição do indivíduo. E, de maneira geral, segundo a APA (2004), podem ser agrupados em:

- EFEITOS FÍSICOS:

Relacionados a alterações nas propriedades físicas do sistema auditivo (perdas auditivas), que podem ser temporárias ou permanentes. Sendo essas últimas geralmente decorrentes de exposição a altos níveis sonoras e por elevado período de tempo.

- EFEITOS FISIOLÓGICOS:

Relacionados a alterações nas atividades do corpo humano, por exemplo, alterações da pressão sanguínea, do ritmo cardíaco e respiratório e tensões musculares.

- EFEITOS PSICOLÓGICOS:

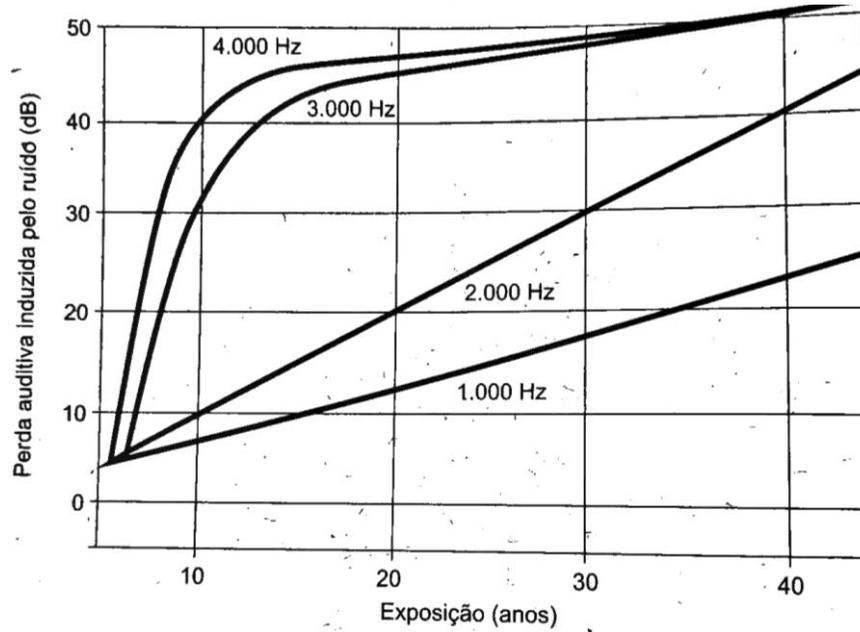
Relacionados a alterações no comportamento dos indivíduos, por exemplo, irritabilidade, estresse, fadiga e diminuição da capacidade de concentração e atenção.

Um dos primeiros efeitos sentidos após a exposição continuada a altos níveis sonoros é a perda de audição nas frequências mais altas (de 4 kHz a 6 kHz), que vem acompanhada da sensação de percepção do ruído após o afastamento da fonte sonora, o tão conhecido "zumbido". Esse é um efeito temporário, sendo a acuidade auditiva recuperada depois de algum tempo, (MURGEL, 2007, p. 40)

Cabe salientar que o tempo de recuperação é sempre mais longo que o tempo de instalação da fadiga auditiva. E que se a exposição é repetida antes da plena recuperação, a perda temporária, pouco a pouco, pode se tornar dano irreversível (MURGEL, 2007, p.41).

Como a perda auditiva por exposição ao ruído intenso é bastante lenta, mas também irreversível (gráfico 03), quando se percebe a sua ocorrência, não há como reparar o dano, fator que torna extremamente importantes ações voltadas a prevenção desse problema.

Gráfico 03 – Desenvolvimento da perda auditiva induzida pelo ruído, em função do tempo de exposição



Fonte: Murgel, 2007

Visto que a audição está sempre ativa, mesmo durante o sono – a partir de 35 dB(A), o organismo começa a responder a estímulos sonoros – se um ruído perdura continuamente, por instinto o corpo se mantém em estado de alerta, que com o tempo leva a fadiga (MURGEL, 2007, p.51)

Como tudo isso ocorre de forma inconsciente, é comum que alguém diga que não se incomoda com o ruído. É o que se

chama de fenômeno da habituação ou adaptação, que nada mais é do que uma diminuição da resposta a um estímulo continuado, porém com a manutenção do desgaste emocional latente.

Tais condições explicam o porquê da associação entre ruído e distúrbios do sono, como os casos de insônia, por exemplo. Dessa forma, sobretudo no período noturno, é de extrema importância manter o nível de pressão sonora dentro dos limites recomendados, a fim de evitar o aparecimento de doenças ainda mais graves decorrentes desses distúrbios.

Acordados, os seres humanos começam a sentir esses inúmeros efeitos já mencionados a partir de 55 dB (A), valor utilizado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), como o máximo ideal para a exposição durante a maior parte do tempo. A partir dos 60 dB é necessário ter atenção com a exposição prolongada aos ruídos, muito embora esse valor seja facilmente ultrapassado no dia a dia urbano, como veremos no caso do bairro em análise nesse estudo.

2.6. GESTÃO DO RUÍDO URBANO

a. Os Mapas Acústicos

Os ambientes urbanos apresentam cenários acústicos complexos e seus estudos precisam considerar a participação de várias fontes sonoras. Nesse sentido, os modelos computacionais, tal como o mapeamento e a predição sonora, se tornam facilitadores, uma vez que possibilitam modelar, com boa precisão e relativa rapidez, as mais complexas situações de geração e propagação de ruído (SANTOS E VALADO, 2004)

Aline Ventura *et al.* (2008, p.3), propõe e define o mapa sonoro como:

Uma ferramenta fundamental para o estudo do ruído ambiental. Baseado no levantamento dos níveis de ruído de uma cidade, através da medição ou através do uso de método predicional, o mapa acústico, nada mais é do que a representação de curvas isofônicas (similar às curvas topográficas dos mapas convencionais) - pontos de ruído com a mesma intensidade - de certa área geográfica. Os diversos níveis de intensidade sonora são separados por zonas com cores padronizadas em trechos de 5 dB (VENTURA *et al.*, 2008, p.3)

Vale distinguir que, enquanto o mapeamento estuda o cenário acústico com introdução dos dados de tráfego, coletados em campo, a predição sonora possibilita uma previsão do ruído, mediante a elaboração de cenários sonoros hipotéticos

(BRASILEIRO,2017, p.48). Nesse trabalho, foi utilizado tanto o mapeamento como a predição.

Santos e Valado (2004) destacam que, atualmente os mapas de ruído não resultam diretamente de medições de ruído ambiente realizadas ao longo de toda a área a analisar, já que para se alcançar um mínimo de representatividade seriam necessárias muitas medições.

De maneira geral, atualmente, os mapas de ruído são elaborados através de modelagem computacional, com medições de ruído pontuais realizadas para aferição do modelo.

Uma das grandes vantagens das simulações computacionais é o cálculo automático dos níveis de emissão sonora para um grande número de pontos, a partir dos parâmetros de tráfego e das características físicas da área em estudo. Dessa forma, é possível localizar os principais pontos críticos de ruído de uma determinada área (GARAVELLI *et al.* 2010).

É importante entender os mapas de ruído não como um fim em si, mas como ferramentas de diagnóstico, para gerir, melhorar ou preservar a qualidade do ambiente sonoro, sendo

essencial sua articulação com os planos municipais de ordenamento do território (SANTOS E VALADO, 2004).

Dessa forma, sua relevância consiste não só na avaliação do impacto ambiental causado pelo ruído, mas também, a partir dos métodos de predição, na estimativa prévia da eficácia de alternativas de controle do ruído que possam ser adotadas. Dentre as medidas usualmente empregadas, têm-se: utilização de barreiras acústicas, restrição de tráfego e subvenções para a melhoria do isolamento acústico das fachadas daquelas edificações especialmente afetadas pela poluição sonora (KOTZEN; ENGLISH, 1999).

Souza (2012), elaborou o quadro da página a seguir (quadro 02) descrevendo as vantagens e desvantagens da utilização dos modelos acústico de predição quando comparados com os procedimentos de medições sistemáticas de parâmetros acústicos. Na pesquisa, utilizou-se o modelo RLS-90 e o software SoundPLAN®.

Quadro 02 – Vantagens e desvantagens da utilização do modelo acústico de predição

| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|---|--|
| <p>Interação em um único resultado numérico as contribuições de ruído das principais fontes sonoras de um local;</p> <p>Possibilita cálculo de valores de ruído em maior número de pontos por meio do mapeamento sonoro, comparando-se aos esforços e dispêndios de recursos e instrumental para as medições in loco, realizadas ponto a ponto;</p> <p>Permite visualizar a distribuição dos níveis de ruído provenientes de uma ou mais fontes sonoras e até mesmo de distintas fontes; Não está sujeita a interrupções diante de condições meteorológicas adversas;</p> <p>Permite atualizações, sem necessidade de recomeçar todo o processo, a partir da inserção dos dados de entrada, tais como mudança nos fluxos de veículos ou atualizações de base cartográfica, como inserção de novas edificações ou novas vias;</p> <p>Desconsidera o ruído de fundo, ou seja, permite o estudo de uma fonte de ruído específica;</p> <p>Permite prever o impacto da implantação de uma nova determinada infraestrutura seja esta de transporte, empreendimentos ou maquinários numa região extensa.</p> | <p>Necessidade de coleta extensiva de dados e informações (acústicos, geométricos, composição e fluxo de veículos e de características de pavimentações e revestimentos do local) para alimentar o ambiente de simulação computacional associado à utilização prática destes modelos;</p> <p>Como em todo modelo computacional, faz-se necessário diversas aproximações na inserção de dados e informações no modelo, sejam estes relativos à topografia, vias, edificações, muros, revestimentos ou pavimentações;</p> <p>São necessárias aproximações quanto à inclusão dos dados de fluxo de veículos nos modelos. Convencionou-se a considerar-se as motocicletas (GUEDES, 2005 e NARDI, 2008) como veículos pesados, já que esse meio de transporte é mais ruidoso que os demais veículos leves, assemelhando-se à emissão sonora de veículos pesados (caminhões);</p> <p>A Calibração do Modelo, comparação dos resultados calculados com as medições realizadas no local, depende da precisão dos dados coletados, tanto dos dados de entrada do modelo de predição acústica como da precisão do modelo tridimensional onde serão computados os resultados da simulação acústica;</p> <p>Não é possível levar em consideração o comportamento aleatório do tráfego rodoviário, conduta dos motoristas (buzinas, etc.), nem considerar com precisão as variações de velocidades de distintas categorias de veículos (QUARTIERI, 2009).</p> |

Fonte: Souza (2012) adaptado pela autora.

Para a elaboração dos mapas acústicos, vários critérios devem ser considerados, dentre eles: quantidade e localização dos pontos de medição; dias, horários e duração das coletas dos dados acústicos; dados meteorológicos, geométricos e de tráfego; configuração e posicionamento dos equipamentos (NAGEM, 2004). Além disso, por se tratar dos dados de entrada do modelo computacional, a obtenção dessas variáveis deve ser bastante criteriosa, pois influencia diretamente na qualidade e precisão final dos mapas elaborados (SANTOS e VALADO, 2004).

Segundo Brasileiro *et al.* (2018), em seu estudo sobre o estado da arte dos mapas sonoros no Brasil, ainda é reduzido o número de municípios cujo mapa de ruído já foi elaborado ou está em desenvolvimento (figura 22). Destaca-se como cidade pioneira a ser mapeada no Brasil, Belém/PA (MORAES; SIMÓN, 2008), por iniciativa do poder público, com a primeira etapa da elaboração do mapa desenvolvida entre os anos de 2002 e 2004. Nesse mesmo estudo, conclui-se que a elaboração de mapas sonoros no Brasil tem sido desenvolvida mais nos meios acadêmicos do que por iniciativa do poder público.

Ainda no contexto nacional, destaca-se o projeto criado pela Prefeitura Municipal de Fortaleza/CE (BRITO, 2013), intitulado "Carta Acústica de Fortaleza". Apresentada em 2012, a carta abrange toda a cidade, permitindo assim, identificar

Figura 22 - Espacialização dos mapas sonoros elaborados no Brasil.



Fonte: BRASILEIRO *et al.* 2018 (adaptado)

as áreas mais ou menos afetadas por ruídos (de trânsito, indústrias, setor aeronáutico e recreativo) e tomar medidas perante o poder público para reduzir a poluição sonora na região metropolitana.

Tem por objetivo ser instrumento para redução dos níveis de pressão sonora em excesso na cidade, melhorando a qualidade sonora do município e aumentando a qualidade de vida da população (BRITO, 2013).

O projeto, coordenado e executado pelo gestor ambiental e especialista em acústica Aurélio Brito, através da Secretaria do Meio Ambiente de Fortaleza, ao lado do professor

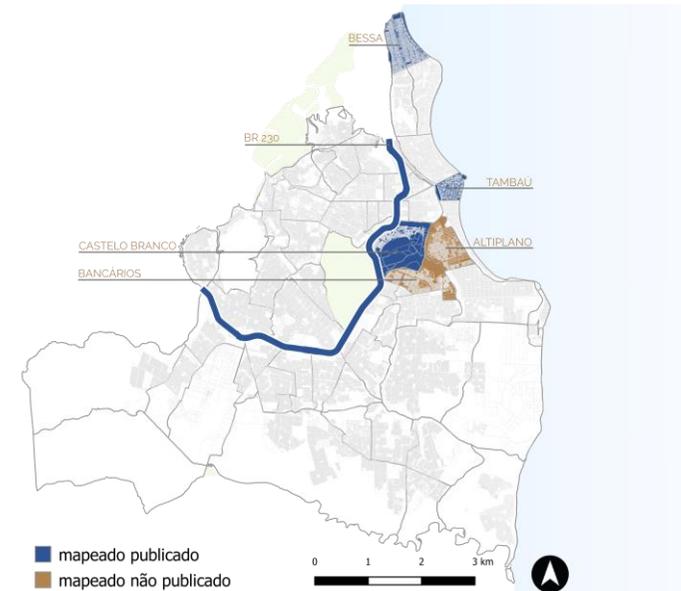
Bento Coelho, especialista em Acústica do Instituto Superior Técnico de Lisboa, seguiu a metodologia adotada pelas normas nacionais e internacionais, criando cenários diurno e noturnos, por meio do *software* acústico CadnaA (BRITO, 2013).

Outro ponto interessante do projeto foi a criação, em 2015, do mapa de ruído colaborativo, realizado em parceria com a Vrije Universiteit de Bruxelas. O intuito foi possibilitar a interação da população com os eventuais problemas referentes à poluição sonora na cidade, contribuindo diretamente para a constante atualização do mapa (BRITO, 2013). No entanto, durante a elaboração do presente trabalho foram realizadas buscas nos sites oficiais da prefeitura municipal de Fortaleza e da secretária responsável para verificar o andamento do projeto, mas que não obtiveram êxito.

Voltando-se para o contexto da cidade de João Pessoa, destaca-se que 5 dos 65 bairros que integram a cidade já estão acusticamente mapeados, são eles: Castelo Branco, Bessa, Altiplano, Bancários e Tambaú. Além do trecho da BR 230 que corta a cidade (figura 23) (RÉGIS *et al.*, 2020).

Em 2017, Tamáris Brasileiro realizou a dissertação de mestrado intitulada "Mapeamento sonoro: estudo do ruído urbano do bairro Castelo Branco, em João Pessoa/PB", que teve por objetivo avaliar o impacto sonoro provocado pelo ruído de

Figura 23 - Espacialização dos mapas sonoros elaborados em João Pessoa



Fonte: elaborado pela autora com base em RÉGIS, 2019

tráfego no bairro Castelo Branco, por meio de simulações computacionais no *software* SoundPLAN® (BRASILEIRO, 2017).

O estudo constatou que o bairro está fragmentado em duas áreas acústicas: a primeira, com índices sonoros mais amenos, é representada pelo campus da UFPB; a segunda, com níveis sonoros mais intensos, é a área de uso predominantemente residencial. Além disso, destacou que a morfologia urbana do bairro, em especial a vegetação densa e os acentuados desníveis topográficos, desempenham importante papel de atenuação sonora (BRASILEIRO, 2017).

b. Legislação e aspectos normativos

No intuito de regulamentar a emissão de ruídos, de modo a combater a poluição sonora, foram estabelecidas pelo mundo diversas leis e normas. Este tópico visa abordar a legislação e os aspectos normativos mais pertinentes a realização desse trabalho, no âmbito da acústica ambiental.

- DIRETIVA EUROPEIA 2002/49/CE:

Legislação europeia, instituída em junho de 2002, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiental, e que representa um marco na regulamentação dos níveis de ruído para todo o mundo.

Tem como objetivo principal: "definir uma abordagem comum para evitar, prevenir ou reduzir, numa base prioritária, os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiente, incluindo o incômodo dela decorrente" (DIRETIVA,2002/49/EC, 2002).

De maneira geral, definiu as bases da comunidade para a luta contra o ruído no ambiente, determinado também a obrigatoriedade que os estados membros produzam mapas estratégicos de ruído e planos de ação para aglomerações, grandes eixos rodoviários ou ferroviários e grandes aeroportos, no intuito de combater a poluição sonora e proteger áreas tranquilas (DIRETIVA,2002/49/EC, 2002).

Além disso, a diretiva exige que as autoridades competentes em cada estado membro informem o número estimado de pessoas que vivem em habitações expostas a cada faixa de ruído estabelecido na EU (DIRETIVA,2002/49/EC, 2002).

Normas internacionais são importantes na avaliação do ruído ambiental porque são amplamente utilizadas para prover normas nacionais. Entretanto, cabe destacar que esse mesmo fator leva as normas nacionais a considerar o ruído desses países no momento de definir seus limites de referência, e não especificamente a realidade brasileira, caracteristicamente mais ruidosa, o que tais torna tais limites por muitas vezes inatingíveis.

Dessa forma, em relação a legislação nacional, destacam-se três resoluções estabelecidas pelo CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. São elas:

- A RESOLUÇÃO Nº 001/1990 (CONAMA): que marca o início da regulamentação nacional da legislação voltada ao ruído. Estabelecendo "critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política". E usa como parâmetro para definição de ruídos prejudiciais à saúde e

ao sossego público os padrões de ruído ambiental fixados por outra normativa fundamental, a NBR 10.151, da ABNT (BRASIL, 1990a).

- **A RESOLUÇÃO Nº 002/1990 (CONAMA):** que dispõe sobre a instituição do Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora (Programa "Silêncio") (BRASIL, 1990b).

- **A RESOLUÇÃO Nº 272/2000 (CONAMA):** referente ao ruído de tráfego, que define limites máximos de emissão de ruídos por veículos automotores (BRASIL, 2000).

Já em relação as normas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, destacam-se três. São elas:

- **A NBR 10.151/2019:** que estabelece valores de referência de níveis de pressão sonora para ambientes externos a edificações, em áreas habitadas. Também especifica um método para avaliação do ruído, baseado em uma comparação entre o nível de pressão sonora corrigido (Lc) e o nível de critério de avaliação (NCA), que varia por tipo de área e horário, conforme tabela 03 (ABNT, 2019)

Cabe ressaltar que, em relação ao ruído, essa é a única norma com caráter punitivo.

Tabela 03 - Limites de NPS em função dos tipos de áreas habitadas e do período

| TIPOS DE ÁREAS HABITADAS | LIMITES DE NPS (DB) | |
|---|---------------------|-----------------|
| | período diurno | período noturno |
| de residências rurais | 40 | 35 |
| estritamente residencial urbana, de hospitais ou de escolas | 50 | 45 |
| mista predominantemente residencial | 55 | 50 |
| mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativas | 60 | 55 |
| mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo | 65 | 55 |
| predominantemente industrial | 70 | 60 |

Fonte: Elaborada pela autora segundo informações contidas na NBR 10151/2019

- **A NBR 10.152/2017:** que estabelece valores de referência de níveis de pressão sonora para projetos acústicos de ambientes internos em edificações, em função de sua finalidade de uso e compatíveis com o conforto acústico (ABNT, 2017).

A tabela 04 apresenta um resumo dos valores em dB (A) e NC, focando em usos estratégicos para o presente trabalho, como será visto adiante no tópico "caracterização das áreas de intervenção".

Tabela 04 – Valores referência em dB (A) e NC

| LOCAIS | | dB (A) | NC |
|-------------|--|---------|---------|
| HOSPITAIS | apartamentos, enfermaria, berçários e centros cirúrgicos | 35 - 45 | 30 - 40 |
| | laboratórios e áreas para uso do público | 40 - 50 | 35 - 45 |
| | serviços | 45 - 55 | 40 - 50 |
| ESCOLAS | bibliotecas, salas de música e salas de desenho | 35 - 45 | 30 - 40 |
| | salas de aula e laboratórios | 40 - 50 | 35 - 45 |
| | circulação | 45 - 55 | 40 - 50 |
| RESIDÊNCIAS | dormitórios | 35 - 45 | 30 - 40 |
| | salas de estar | 40 - 50 | 35 - 45 |

Fonte: Elaborada pela autora segundo informações contidas na NBR 10152/2017

- A **NBR 15.575/2013**: que trata, de maneira geral, sobre critérios de desempenho para novas edificações habitacionais.

No requisito de habitabilidade, constam critérios de desempenho acústico. Dentre eles, no que concerne a acústica urbana, destaca-se a exigência de níveis mínimos de isolamento acústico para fachadas e coberturas, contemplados nas partes 4 e 5 da norma (ABNT, 2013).

Considerando as fachadas como parte integrante do espaço urbano, o isolamento acústico dessas superfícies passa a

ser exigido em função do ruído local externo, de acordo com classes de ruído (ABNT, 2013). Assim, no que diz respeito ao sistema de vedações verticais externas, composto por paredes e esquadrias, a norma estabelece os seguintes limites de isolamento acústico ao ruído aéreo (tabela 05):

Tabela 05 – Isolamento ao ruído aéreo de sistemas de vedações externas

| Parâmetro | Ruído Externo | | Desempenho | | | |
|---|----------------------|-------------|--|---------|---------|---------|
| | Classe de ruído | Localização | MÍN | INT | SUP | |
| Diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada | D _{2m,nT,w} | I | Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas | ≥ 20 dB | ≥ 25 dB | ≥ 30 dB |
| | | II | Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III | ≥ 25 dB | ≥ 30 dB | ≥ 35 dB |
| | | III | Habitação sujeita ao ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação | ≥ 30 dB | ≥ 35 dB | ≥ 40 dB |

Fonte: manual da ProAcústica sobre a norma de desempenho (2017)

OBS.: valores em negrito são obrigatórios e os demais informativos.

NOTA 1: Para vedação externa de salas, cozinhas, lavanderias e banheiros, não há requisitos específicos.

NOTA 2: Em regiões de aeroportos, estádios, locais de eventos esportivos, rodovias e ferrovias, há necessidade de estudos específicos.

A título informativo, segundo o manual da ProAcústica sobre a norma de desempenho (2017), os níveis de pressão sonora equivalentes (LAeq) incidentes nas fachadas das

edificações para cada classe de ruído considerada, foram os seguintes (tabela 06):

Tabela 06 – L_{Aeq} para cada classe de ruído considerada

| Classe de Ruído | Nível de pressão sonora equivalente L_{Aeq} - dB |
|-----------------|--|
| I | ≤ 60 |
| II | 61 a 65 |
| III | 66 a 70 |

Fonte: Manual da ProAcústica sobre a norma de desempenho (2017)

Em relação a legislação municipal, cabe destacar a Lei nº 29, de 05 de agosto de 2002, regulamentada pelo Decreto nº 4.793/2003.

- **DECRETO 4793/2003**: determina padrões de emissão e imissão de ruídos e vibrações e estabelece a competência à Secretária do Meio Ambiente (SEMAM) do controle, da prevenção e da redução da emissão de ruídos no município de João Pessoa (JOÃO PESSOA, 2002).

Vale destacar que essa lei também se ampara nas recomendações estabelecidas nas normas da ABNT, a NBR 10.151 e NBR 10.152, no que diz respeito aos níveis de pressão sonora fixados, bem como aos equipamentos utilizados para medição e avaliação (JOÃO PESSOA, 2002).

3.
ESTUDOS
DE CASO

3.1. ESTUDO INTERNACIONAL: MAPA DE RUÍDO DE LISBOA/PT

O mapa de ruído de Lisboa, capital de Portugal, teve sua primeira versão lançada em 2000, antes mesmo da instituição da diretiva europeia 2002/49/CE, demonstrando que, diferentemente do Brasil, na Europa, a preocupação com o ruído já é algo bem mais consolidado.

Os mapas apresentados no presente trabalho correspondem a última atualização lançada, representando os níveis de ruído ambiente referentes ao ano de 2008, a uma altura de 4 metros, onde cada classe de ruído, expressa em dB (A), é representada por uma cor (figuras 24 e 25) (LISBOA, 2008, p.1).

Nesse mapeamento foi utilizado o software Cadna-A, e foram geradas cartográficas de acordo com dois indicadores, o L_n que representa o ruído médio durante o período noturno (das 23h às 7h) e o L_{den} que representa uma média ponderada das 24 horas do dia (LISBOA, 2008, p.1).

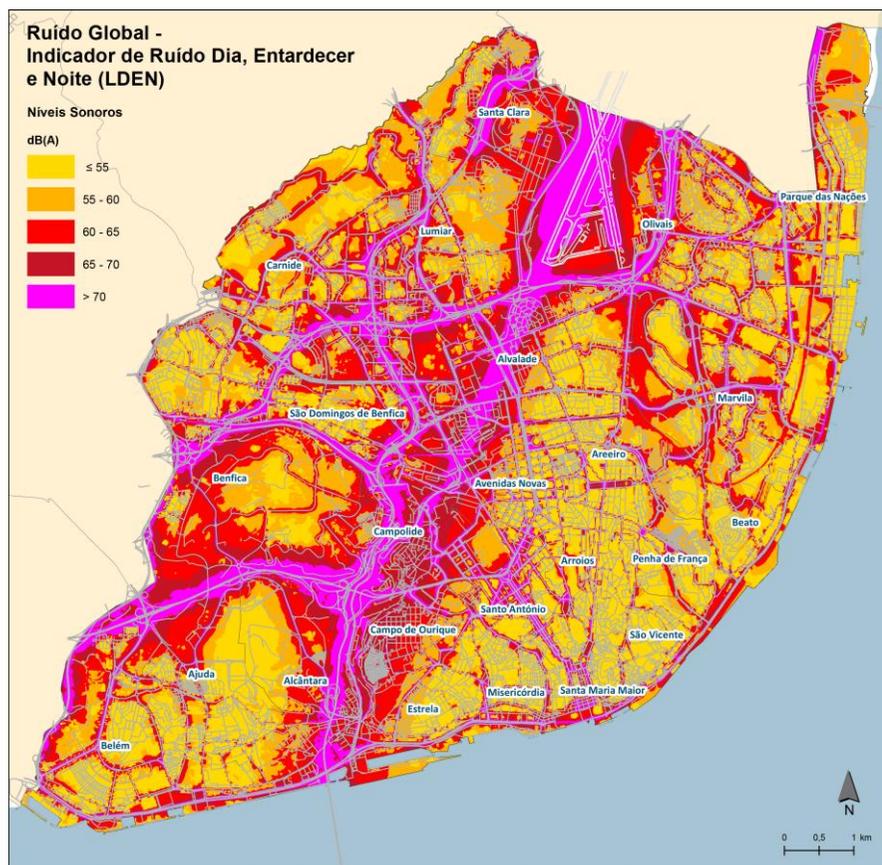
Para a simulação, foi criado um modelo tridimensional, que incluiu o terreno e todos os obstáculos à propagação do som (edifícios, muros e barreiras acústicas). Nesse modelo, também foi introduzida toda a malha viária da cidade de Lisboa, incluindo estradas, caminhos-de-ferro, linhas de elétrico e rotas de aproximação e decolagem, já que na elaboração dos mapas foram considerados como fontes de ruído não só o tráfego

rodoviário, como também o aéreo e o ferroviário, além de algumas fontes fixas (LISBOA, 2008, p.2).

Sobre o tráfego rodoviário, é interessante destacar que, seguindo as orientações da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e a metodologia aplicada na elaboração do mapa de ruído de 2000, foram consideradas como fontes de ruído apenas as rodovias cujo tráfego médio diário anual é superior a 8.000 veículos (LISBOA, 2008, p.2). Para o tráfego rodoviário, o modelo de cálculo utilizado foi o NMPB – Routes -96, método francês para previsão do ruído proveniente desse tipo de fonte.

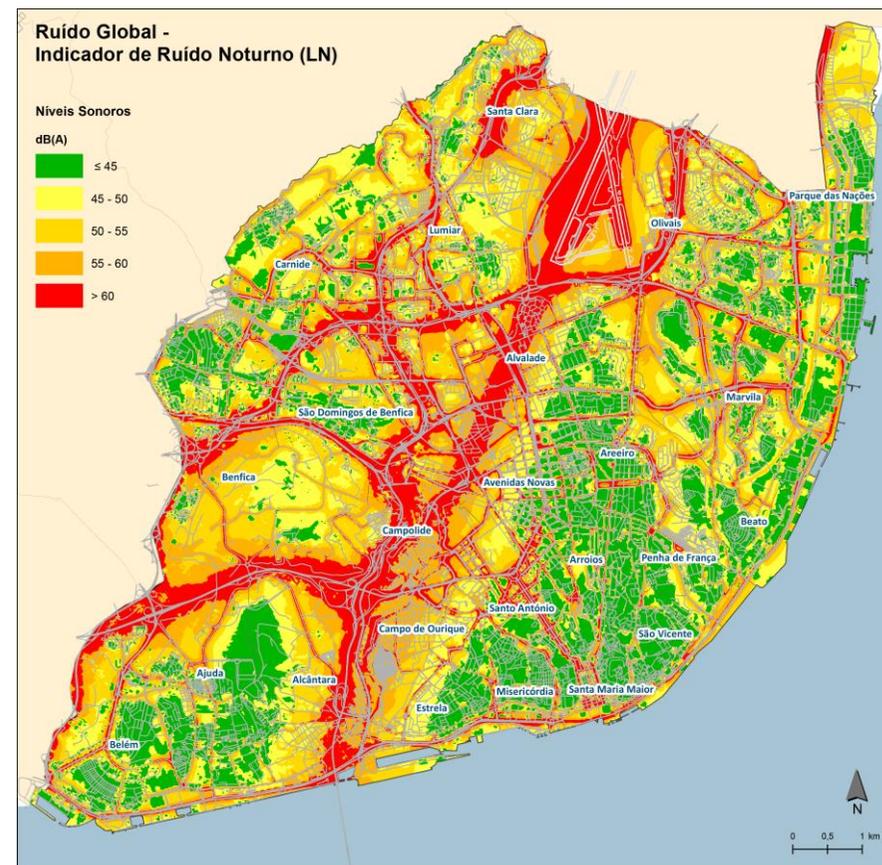
Para a validação dos mapas de ruído simulados, foram realizadas medições em pontos considerados importantes, no intuito de verificar a semelhança ou não dos valores medidos em comparação aos valores simulados. Para o indicador L_{den} e para o indicador L_n , a semelhança se confirmou em 85% e 77% dos casos, respectivamente (LISBOA, 2008, p.5).

Figura 24 – Mapa de ruído Dia, Entardecer, Noite (Lisboa)



Fonte: LISBOA,2008 (adaptado)

Figura 25 – Mapa de ruído Noturno (Lisboa)



Fonte: LISBOA,2008 (adaptado)

Analisando o resultado dos mapas, o governo português constatou, como já afirma a literatura sobre acústica urbana, que a principal fonte de ruído realmente encontra-se associada ao tráfego rodoviário. Observando que, ao longo das vias principais encontram-se os valores mais elevados, que reduzem significativamente no interior dos quarteirões e em ruas com tráfego reduzido (LISBOA, 2008, p.5).

Tratando então das intervenções propostas, inicialmente são ressaltadas estratégias voltadas justamente ao nível de tráfego rodoviário na cidade, como a diminuição do número de veículos em circulação e a redução da sua velocidade.

E posteriormente, em documento derivado dos mapas de ruído, denominado "Plano de Ação de Ruído de Lisboa", do ano de 2014, foram definidas zonas prioritárias de intervenção (29 ao todo) e zonas tranquilas (12 ao todo) (figura 26), e estudadas as possíveis medidas de redução de ruído e de preservação e extensão de áreas calmas a serem aplicadas, utilizando novamente o programa de simulação CadnaA, dessa vez para quantificar a eficácia das medidas propostas (LISBOA,2014).

Figura 26 – Mapa de localização das zonas prioritárias de intervenção (29 manchas coloridas) e zonas tranquilas (números de 1 a 12)



Fonte: LISBOA,2014

Os critérios adotados para identificação de zonas prioritárias de intervenção foram os seguintes:

- Número de habitantes expostos ao ruído rodoviário;
- Valores de Ln superiores a 60 dB(A) (ou seja, 5 dB(A) acima do limite para zona mista) ;

- Intervenção ao nível do quarteirão ou bairro: agregação de várias vias interligadas entre si;
- Intervenção nos eixos principais: zona habitacional na envolvente desse eixo.

Já as medidas de redução foram divididas em duas categorias:

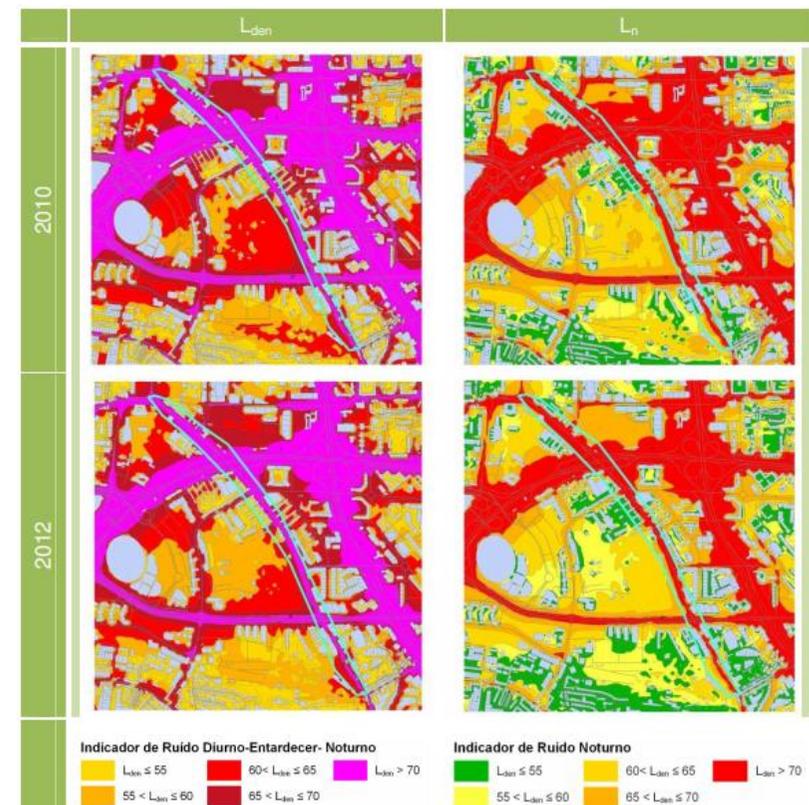
- **medidas simuladas** (alteração do recobrimento, limitação de velocidade e barreiras acústicas/taludes)
- **medidas não simuladas** (renovação do parque automóvel, reperfilamento, controle de velocidade, promoção da utilização de transportes públicos/transportes alternativos, uso do solo, reforço do isolamento de fachada e desenho urbano e arquitetónico.

Exemplificando, para a zona 04 – Estrada da Luz, foram previstas as seguintes medidas: a repavimentação com recobrimento poroso de características absorventes sonoros da Estrada da Luz; a introdução de taludes com alturas compreendidas entre 1m e 5m, a cerca de 13m do eixo da via; o reperfilamento da Estrada da Luz, pela introdução de uma rotunda, na zona sul desta artéria; o controlo da velocidade de circulação de 50 km/h (LISBOA, 2014).

A figura 27 ilustra os resultados da aplicação das medidas que puderam ser simuladas, no caso a alteração do

recobrimento e o controle da velocidade. Com a aplicação dessas duas medidas, verificou-se uma redução de 26% para os habitantes expostos a valores de L_{den} superiores a 70 dB(A) e de 30% para habitantes expostos valores de L_n superiores a 60 dB(A) (LISBOA,2014).

Figura 27 – Mapas de ruído com e sem medidas de mitigação do ruído



Fonte: Lisboa, 2014

3.2. ESTUDO NACIONAL: MAPA DE RUIDO DE SÃO PAULO/SP

O mapa de ruído de São Paulo/SP partiu da iniciativa da ProAcústica, de entidades da sociedade civil e de vereadores, que atuaram de forma intensa pela aprovação do projeto de lei do Mapa de Ruído, posteriormente sancionada como lei municipal nº 16499/2016, que determinou um prazo de sete anos para a Prefeitura de São Paulo desenvolver e implantar o mapa de ruído urbano da cidade (SÃO PAULO, 2016).

De acordo com a lei, o mapa será uma ferramenta de apoio às decisões para o planejamento e ordenamento urbano com vistas à gestão de ruído na cidade (SÃO PAULO, 2016).

A primeira etapa de elaboração do mapa, contou com o desenvolvimento de um mapa piloto, compreendendo uma região localizada entre as avenidas Paulista, Brasil, 9 de julho e 23 de maio (figura 28) (MAPA DE RUIDO SP, 2018).

Posteriormente, foi desenvolvido o mapa de ruído urbano do centro da cidade, abrangendo o Centro Velho, Novo e regiões históricas da cidade de São Paulo – área de aproximadamente 6,6 Km², indicada na lei como prioritária para início do mapeamento (figura 29) (MAPA DE RUIDO SP, 2018).

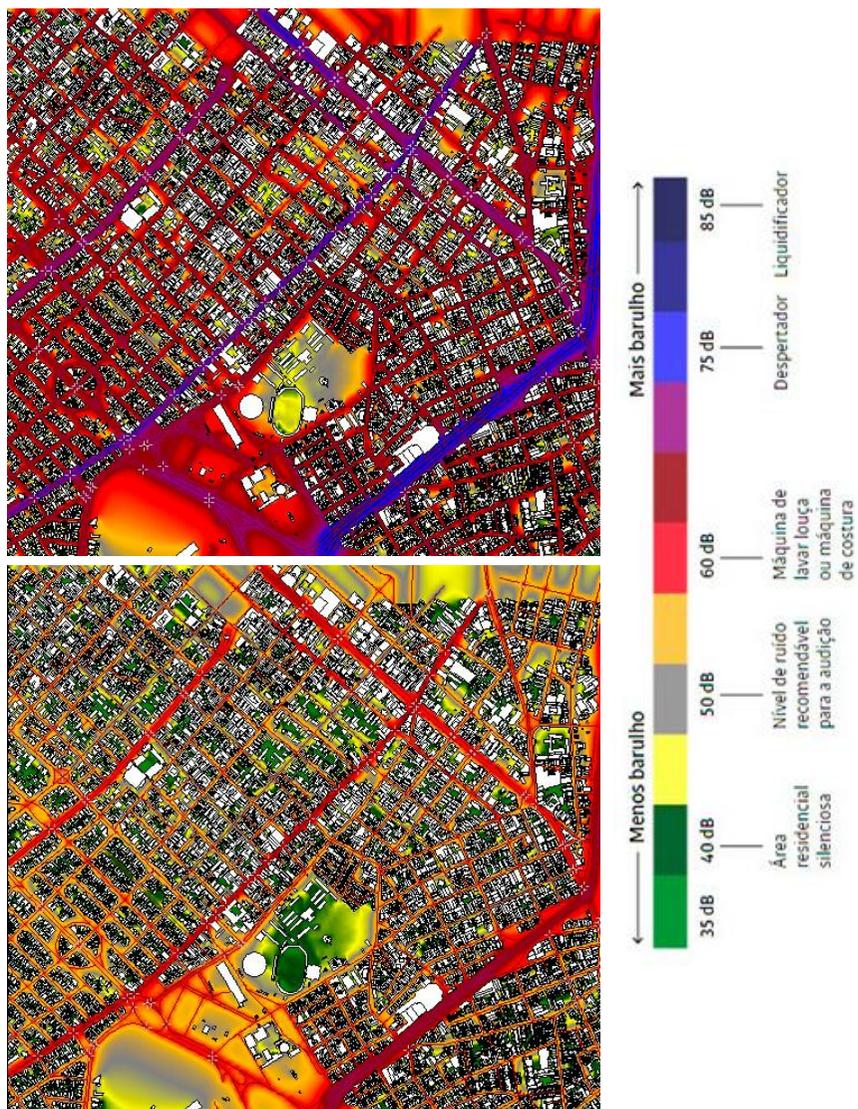
Os dados de entrada, para ambos os mapas, foram definidos por meio de estudos realizados pelos participantes do

GT que, também, colaboraram com medições para a calibração dos mapas, ocorridas em 62 pontos. Essas medições tiveram como base o Guia de Boas Práticas europeu com adaptação de cada parâmetro à realidade brasileira (MAPA DE RUIDO SP, 2018).

A partir da realização de diversos estudos, a equipe de trabalho identificou a metodologia CNOSSOS - cujos dados de entrada incluem número de veículos por hora, veículos pesados e leves, além da velocidade das vias e tipo de recobrimento – como mais adequada a realidade brasileira, tendo sido essa a adotada (MAPA DE RUIDO SP, 2018).

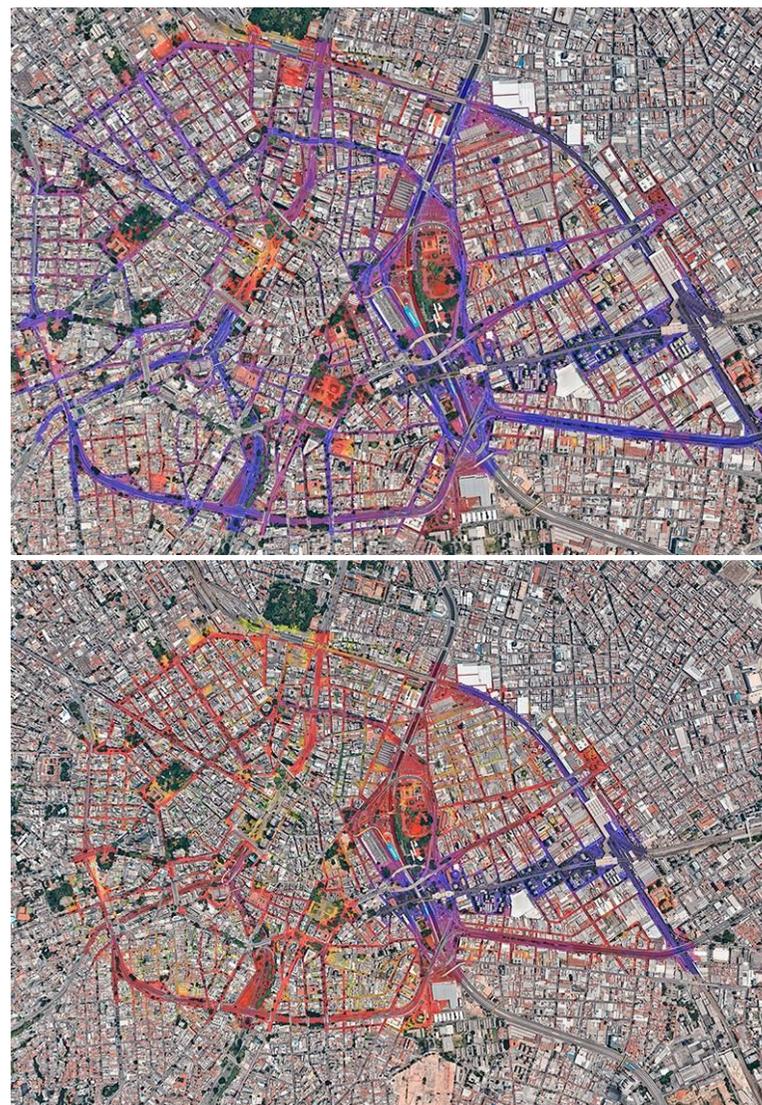
No Mapa Piloto foram identificadas as fontes de ruído de tráfego urbano, que é o maior causador de problemas de ruído nas metrópoles. No Mapa Centro, que apresenta um cenário acusticamente mais complexo, com muitas avenidas, elevados, cruzamentos, túneis, passarelas, além do ruído de tráfego urbano, foram considerados como fontes de ruído os metrô, terminais de ônibus e áreas de circulação de pedestres (MAPA DE RUIDO SP, 2018). Vale destacar, que os dois mapas possuem versão para os períodos diurno e noturno e já estão disponíveis para consulta online.

Figura 28 – Mapa Piloto (diurno e noturno, respectivamente)



Fonte: www.mapaderuidosp.org.br (2018)

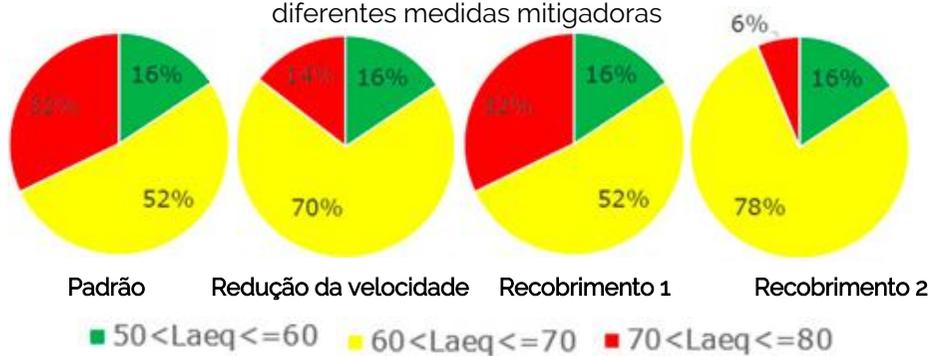
Figura 29 – Mapa do centro (diurno e noturno, respectivamente)



Fonte: www.mapaderuidosp.org.br (2018)

A partir dos resultados dos mapas, foram apresentadas algumas análises estratégicas que proporcionariam melhorias através de ações efetivas, conforme figura 31. Nessa figura, a coluna 1 representa a situação real, a coluna 2 ilustra a situação com a medida aplicada e a coluna 3 representa o mapa de diferenças (uma situação menos a outra), esta última que facilita a percepção acerca de qual das medidas causa maior efeito, nesse caso a redução foi maior ao se utilizar o recobrimento 2. Ainda sobre essas medidas, é interessante destacar o paralelo que foi feito com o número de pessoas impactadas com cada intervenção, de acordo como faixas de nível de pressão sonora (figura 30). Sobre o mapa de ruído de São Paulo, cabe destacar que ele ainda se encontra em desenvolvimento, tendo apenas essas duas áreas apresentadas com seus mapas concluídos até então.

Figura 30 – Número de pessoas impactadas com a aplicação de diferentes medidas mitigadoras



Fonte: www.mapaderuidosp.org.br (2018 - adaptado)

Figura 31 – Impacto de NPS na fachada de um edifício aplicando diferentes medidas mitigadoras

REDUÇÃO DA VELOCIDADE



ALTERAÇÃO DE RECOBRIMENTO 1



ALTERAÇÃO DE RECOBRIMENTO 2

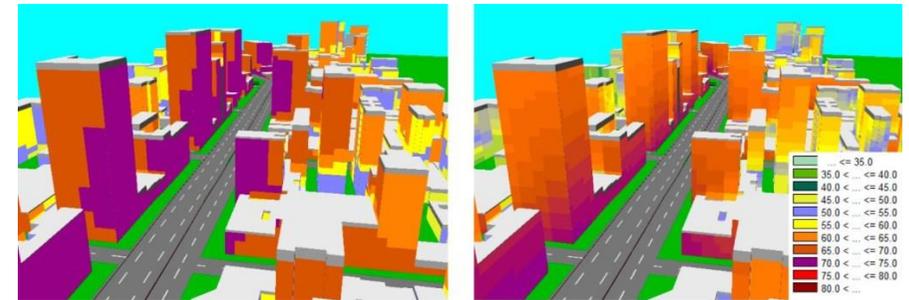


Fonte: www.mapaderuidosp.org.br (2018)

Além disso, sobre o mapa de ruído urbano do centro, foi apresentado um estudo específico acerca do Elevado Presidente João Goulart (Minhocão), onde estima-se que diariamente circulam em média 70 mil veículos. Trata-se de um estudo comparativo que apresenta uma estimativa do potencial de redução de ruído do elevado caso o Minhocão estivesse inativo, chegando a atingir até 10 dB em algumas fachadas, o que em termos de sensação humana, seria equivalente a reduzir pela metade a sensação de volume sonoro (figura 32) (MAPA DE RUIDO SP, 2018).

Além da proibição da circulação de veículos, o estudo também sugere algumas outras estratégias de redução do ruído, como: a inserção de materiais fonoabsorventes de baixo do Minhocão; a inserção de túneis acústicos; mudança do asfalto da via e proibição buzinas no local (MAPA DE RUIDO SP, 2018).

Figura 32 - Redução sonora nas residências lindeiras ao Elevado (na esquerda: situação de trânsito atual; na direita: situação na ausência do tráfego do Minhocão)



Fonte: www.mapaderuidosp.org.br

3.3. ESTUDO REGIONAL: MAPA DE RUÍDO DE NATAL/RN

O mapa de ruído de Natal, capital do Rio Grande do Norte, foi desenvolvido a partir de iniciativa acadêmica, pela doutoranda Débora Florêncio, no programa de pós-graduação da UFRN, em 2018. Na tese, a autora realiza o diagnóstico da qualidade do ambiente sonoro e sua relação com a malha viária no município de Natal/RN, por meio do mapeamento do ruído de tráfego de toda a cidade, utilizando o software SoundPLAN®, o mesmo que utilizado nesta pesquisa (FLORÊNCIO,2018).

A metodologia adotada consistiu na coleta e análise dos dados de tráfego, acústicos e mapas dos condicionantes físico-ambientais, que reunidos, formaram uma base de dados utilizada posteriormente para elaboração do mapa sonoro. Cabe destacar que o mapa foi processado através do software de simulação computacional, com base na categorização das vias arteriais, coletoras e locais (FLORÊNCIO,2018).

Tal metodologia serviu de apoio para o presente trabalho, uma vez que foi utilizado o mesmo software computacional e os procedimentos empregados mostraram-se atualizados, podendo ser adotados para o presente trabalho.

Quanto aos resultados, a pesquisa constatou que o fluxo veicular segue um padrão de crescimento com base em variáveis como largura e comprimento da via. E que existe forte correlação entre o fluxo veicular e os níveis de pressão sonora (FLORÊNCIO, 2018).

Chama atenção que 75,4% do município de Natal/RN, apresenta nível de pressão sonora diurno (LAeq, 7 – 22h) acima dos 55dB recomendados pela NBR 10151 para uso misto residencial, evidenciando que todo o município se encontra afetado por elevados níveis de pressão sonora, conforme representado no mapa acústico (figura 33) (FLORÊNCIO,2018).

Como era esperado, os valores mais altos foram encontrados nas vias arteriais e coletoras, cujo tráfego veicular é mais intenso, em especial nas proximidades de viadutos. As áreas mais adensadas, quando comparadas com área de menor adensamento, também apresentaram níveis de pressão sonora mais elevados (FLORÊNCIO,2018).

Esses apontamentos se fazem relevantes para o presente trabalho pois indicam situações comuns as duas capitais, identificando os principais componentes que influenciam na acústica ambiental, contribuindo para os elevados índices de poluição sonora verificados.

3.4. SÍNTESE DAS ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO

Como forma de sintetizar as estratégias de mitigação mais relevantes identificadas ao longo do referencial teórico e, principalmente, na análise dos estudos de caso, foi elaborado o quadro abaixo (quadro 03), no qual essas medidas também foram classificadas de acordo com sua área de atuação. Nesse sentido, para a construção desse capítulo foram adotadas cores para cada área de atuação a fim de guiar o leitor, uma vez que, essas mesmas cores serão revisitadas no capítulo dedicado as intervenções.

Quadro 03 – Síntese das estratégias de mitigação do ruído

| AÇÕES LIGADAS A FONTE | | AÇÕES LIGADAS AO MEIO | | AÇÕES LIGADAS AO RECEPTOR | |
|-----------------------|--|-----------------------|---|---------------------------|--|
| 1 | Limitação da velocidade de circulação dos veículos | 7 | Preferência por vias com perfil "L" (evitar vias com perfil "U") | 17 | Implantação das edificações considerando a acústica (visando reduzir a área de fachada exposta ao ruído intenso) |
| 2 | Restrições a circulação de veículos (leves ou pesados) | 8 | Rebaixamento das vias (especialmente em cruzamentos muito movimentados) | 18 | Proposição de edificações escalonadas (aumento do gabarito em função do afastamento da via) |
| 3 | Coordenação dos semáforos | 9 | Preferência por vias planas e com curvas homogêneas (evitar declives acentuados) | 19 | Estudo da morfologia e revestimento das fachadas (para que sejam acusticamente adequados) |
| 4 | Incentivo ao uso de transporte não motorizado | 10 | Utilização de pavimentos com absorção acústica | 20 | Setorização dos ambientes voltado a acústica (disposição considerando seu nível de sensibilidade ao ruído) |
| 5 | Incentivo ao uso de transporte coletivo | 11 | Aproveitamento de barreiras acústicas naturais (aterros e taludes) | 21 | Utilização de janelas acústicas |
| 6 | Proibição do uso de buzinas em determinadas áreas | 12 | Construção de coberturas (totais ou parciais) (túneis) | 22 | Utilização de vedações com baixa capacidade de transmissão |
| | | 13 | Manutenção/implantação de áreas verdes densas (entre fonte sonora e receptor) | | |
| | | 14 | Zoneamento urbano sensível a acústica | | |
| | | 15 | Utilização de barreiras acústicas | | |
| | | 16 | Mascaramento através de sons agradáveis (som da água corrente, canto dos passáros e farfalhar das folhas) | | |

Fonte: elaborado pela autora, 2020

4.

METODOLOGIA

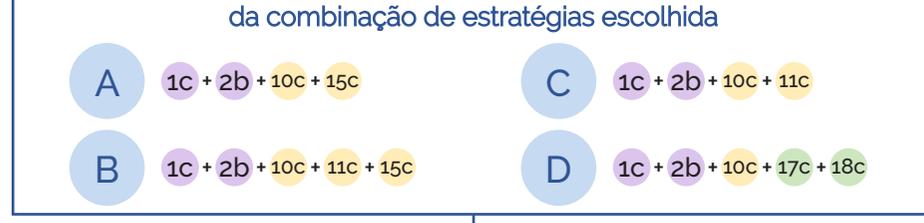
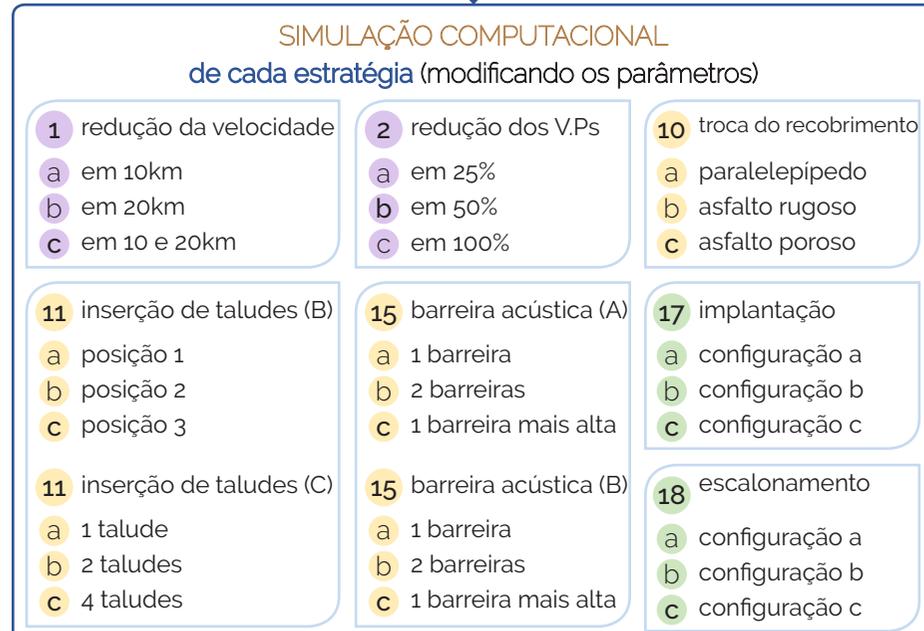
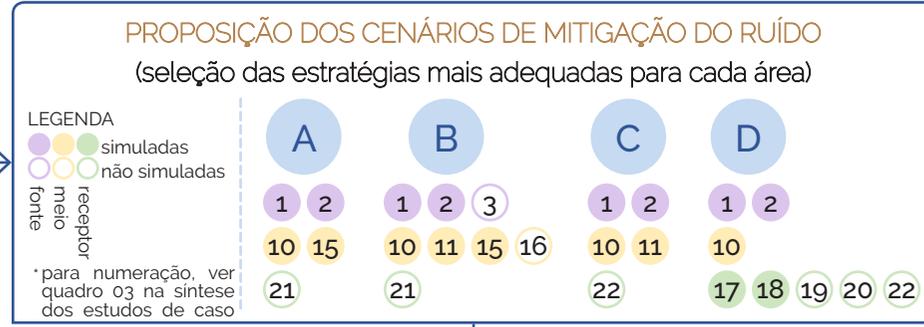
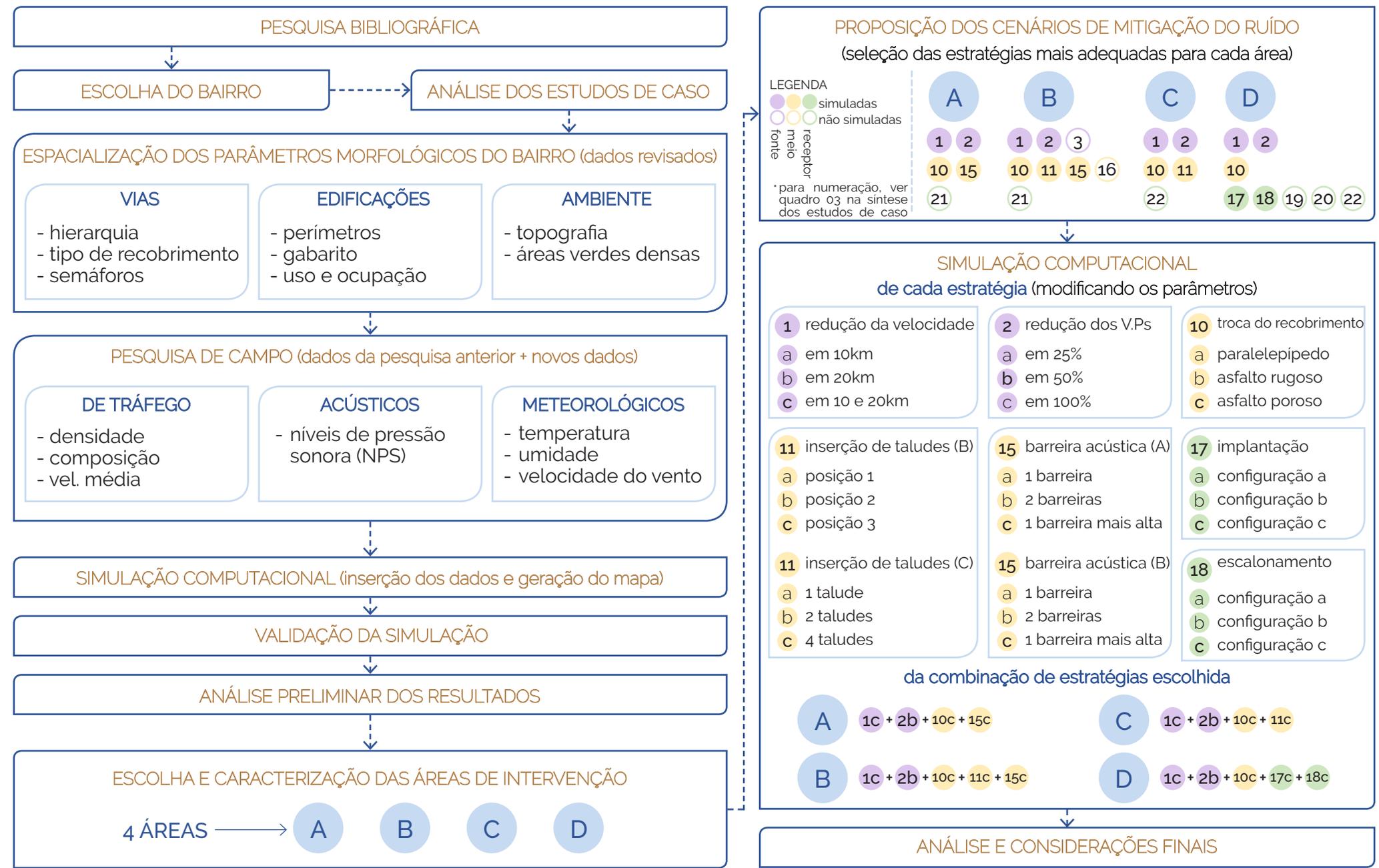


METODOLOGIA

Este capítulo trata do percurso metodológico adotado neste trabalho, conforme exposto no fluxograma ao lado.

Os procedimentos metodológicos consistiram na coleta e análise dos dados de tráfego, acústicos e mapas dos condicionantes físico-ambientais. Em seguida, foram elaborados os mapas de ruído, processados através do software de simulação computacional e validados com base em dados quantitativos de medição acústica in loco. Os mapas produzidos foram analisados e então partiu-se para a escolha das áreas de intervenção, conforme critérios previamente estabelecidos. Cada área escolhida foi caracterizada, ressaltando os aspectos mais relevantes do ponto de vista da acústica. Por conseguinte, foram propostos cenários de mitigação do ruído baseados em estratégias de mitigação identificadas ainda no referencial teórico e nos estudos de caso. Tais estratégias foram simuladas através do software de modelagem SoundPLAN®, processo no qual foram geradas e testadas diversas alternativas, até se chegar em uma combinação de estratégias considerada adequada para cada área. Finalmente, partiu-se para a análise e considerações finais sobre todo o trabalho.

A seguir, serão melhor detalhadas as especificidades mais relevantes de cada etapa.

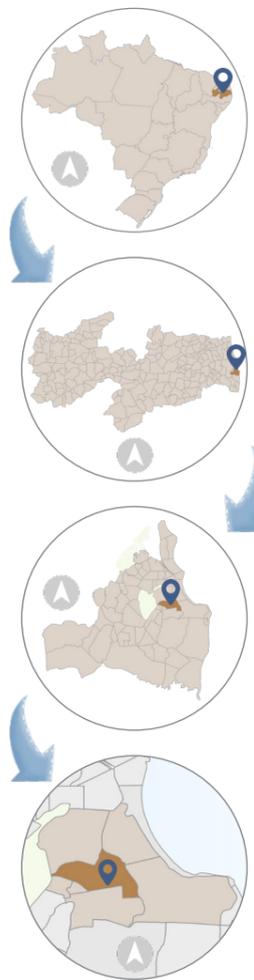


ANÁLISE E CONSIDERAÇÕES FINAIS

METODOLOGIA

4.1 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO BAIRRO

BANCÁRIOS



O bairro Bancários, área objeto de estudo desta pesquisa, possui aproximadamente 2,18 km² de extensão, correspondente a cerca de 1,03% da área total da cidade de João Pessoa e situa-se no setor sul da cidade.

Projetado em 1978, com a denominação de Loteamento Itubiara, o conjunto foi o primeiro a ser inserido logo após o Campus Universitário, situando-se próximo ao anel rodoviário, e constituindo até então a região mais periférica da cidade.

Foi financiado pelo Instituto de Orientação às Cooperativas Habitacionais – INOCOOP –, evoltava-se para a classe média, mais especificamente para contemplar trabalhadores vinculados às instituições bancárias e aos servidores da UFPB.

Trata-se de um bairro já mapeado acusticamente em trabalho anterior, no qual apresentou diversos pontos com níveis sonoros muito acima dos parâmetros estabelecidos nas normas, ou seja, nocivos à saúde da população (LIMA, 2019).

Além de ser uma área de caráter predominantemente residencial, tipo de uso bastante sensível ao ruído, vem passando por crescente processo de verticalização voltado justamente ao uso residencial multifamiliar (ANDRADE, 2017). Esse adensamento populacional contribui para o aumento considerável do número de habitantes atingidos pelo problema do ruído, agravando ainda mais a situação se considerarmos o provável aumento da circulação de veículos.

No que diz respeito à caracterização morfológica, o bairro possui malha urbana predominantemente ortogonal, com vias principais asfaltadas e a maioria das demais em paralelepípedo, contando com pequena quantidade em solo natural, essas destinadas apenas a tráfego de pedestres.

Em relação ao gabarito, embora passe por um processo de verticalização, ainda é predominantemente composto por edificações térreas, seguidas por edificações com 2 e 3 pavimentos, já em número bastante inferior.

A topografia é pouco acidentada em sua maior parte, excetuando-se as áreas mais próximas ao Rio Timbó e seus afluentes.

Figura 34 - Mapas de topografia e áreas verdes densas



Fonte: mapa elaborados pela autora, 2020

Figura 35 - Mapas de hierarquia viária

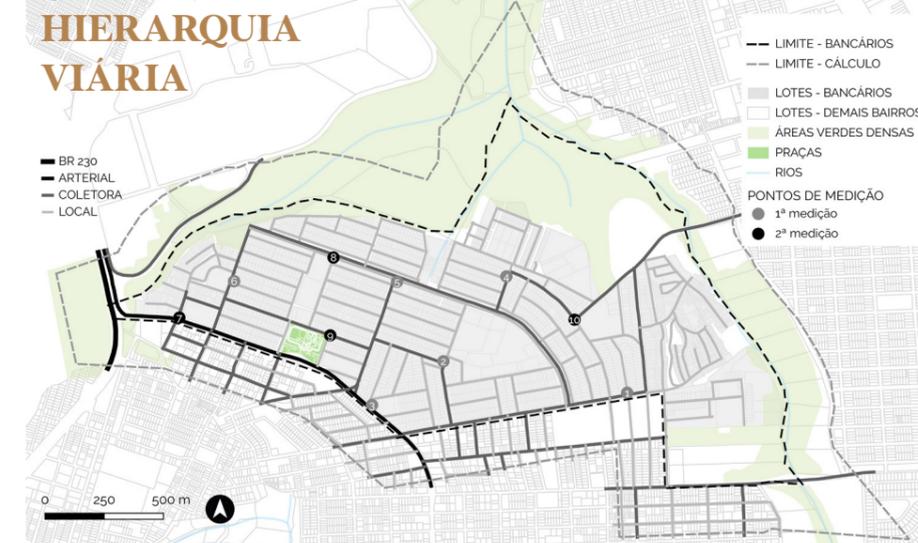


Figura 36 - Mapa de recobrimento das vias e localização dos semáforos



Fonte: mapas elaborados pela autora, 2020

Figura 37 - Mapa de uso do solo



Figura 38 - Mapa de gabarito das edificações



Fonte: mapas elaborados pela autora, 2020

- PARÂMETROS MORFOLÓGICOS

Nessa etapa foram levantadas informações cartográficas da área em estudo utilizando o Quantum GIS (QGIS), através de imagens de satélite e do Google Street View. Todas essas informações serão requisitadas no momento de geração do modelo tridimensional do bairro no SoundPLAN. As cartografias são: perímetro edificado; uso do solo; gabarito; localização dos semáforos; topografia; áreas verdes densas; hierarquia e recobrimento viário.

Nesse caso, como o bairro já tinha sido anteriormente mapeado (LIMA *et al*, 2019 a) essas informações já tinham sido levantadas pela autora, de modo que, nesse trabalho, houve o esforço da atualização dos dados, principalmente os referentes a uso e ocupação do solo e gabarito das edificações, além da ampliação do limite de cálculo em 200 m em relação ao limite anteriormente estabelecido, que seguia exatamente a divisão de bairros. Com essa ampliação, fez-se necessário o levantamento de todos esses parâmetros morfológicos para essa nova área.

Tal ampliação foi realizada a fim de melhor representar a propagação do ruído nas bordas do bairro, em especial na principal via, que é do tipo perimetral.

- PONTOS DE MEDIÇÃO

Após levantamento, mapeamento e análise das características morfológicas do bairro, são definidos os pontos nos quais serão medidos os parâmetros acústicos, ambientais e de tráfego. Para isso, são identificados os cruzamentos que caracterizem os mais distintos comportamentos da área em estudo, pontuando locais de encontro de vias principal-coletora, principal-local, coletora-local, coletora-coletora e local-local.

Nesse caso, como o foco do trabalho são as estratégias de mitigação do ruído, considerando também o quadro de pandemia/quarentena que se instalou, e o fato de os dados disponíveis não serem tão desatualizados, optou-se por aproveitar os pontos de medição já definidos, de modo a se aproveitar também os parâmetros acústicos e ambientais já levantados anteriormente. Posteriormente, com a flexibilização da quarentena (set. 2020), foram definidos mais 4 pontos de medição (P7, p8, P9 e P10 - apenas com a contagem do nº de veículos), localizados justamente nas áreas escolhidas para intervenção (determinadas mais adiante no tópico 5.2, que trata da seleção e caracterização das áreas de intervenção), de modo a caracterizar mais precisamente o ruído nesses locais, considerando evidentemente a influência do cenário de pandemia nesses resultados (figura 34).

Figura 39 – Mapa dos pontos de medição



- | | | | |
|---|---|----|--|
| 1 | A - R. Rosa Lima dos Santos B - R. Gonçalo de Souza Pontes | 7 | A - R. Emp. João Rodrigues Alves B - R. Antônio Miguel Duarte C - R. Com. Severiano Toscano de Brito |
| 2 | A - R. M ^a Eliete de Coutinho Fabricio B - R. Luis Primola da Silva | 8 | A - R. Banc. Sérgio Guerra B - R. Banc. Waldemar de M. Accioly C - R. Banc. Waldemar de M. Accioly |
| 3 | A - R. Banc. Sérgio Guerra B - R. Guilherme Pessoa Serrano C - R. Hercilio Alves de Souza | 9 | A - R. Emp. João Rodrigues Alves B - R. Derlópidas Gomes Neves C - R. Carlos da Silva Brandão |
| 4 | A - R. Luiz Gonzaga de Andrade B - R. M ^a das Dores Espinola | 10 | A - R. Ten. Francisco de A. Moreira B - R. Eugênio Carneiro Monteiro C - R. Banc. José Alexandre de Farias |
| 5 | A - R. Banc. Waldemar de M. Accioly B - R. Banc. Antônio Jacinto de Souza | | |
| 6 | A - R. José Alexandre de Lira B - R. Manoel Firmino do Nascimento | | |

Fonte: elaborado pela autora, 2020

- PARÂMETROS ACÚSTICOS E AMBIENTAIS:

Embora no presente trabalho não se tenha realizado o levantamento desses parâmetros, para melhor entendimento das etapas necessárias a elaboração de um mapa de ruído optou-se por manter este tópico. Assim, destaca-se que, nessa etapa do trabalho se iniciam os levantamentos in loco, que podem ser realizados simultaneamente ao registro dos parâmetros de tráfego. Para isso, são seguidos os procedimentos estabelecidos pela NBR 10.151:2019. O medidor multifuncional (sonômetro) é posicionado em cada ponto afastado 1,2 metros do nível do solo e pelo menos 2 metros de qualquer outra superfície refletora, como muros e paredes. Após isso, foram registrados os níveis de pressão sonora (NPS) de cada ponto a cada 15 segundos, em um intervalo de tempo de 10 minutos. Ao final desse registro, também foram coletadas informações climáticas, como temperatura e umidade relativa do ar.

Para aferição do NPS, Lima *et al* (2019 a) utilizou o Medidor Multifuncional ITMP-600, disponibilizado pelo Laboratório de Conforto Ambiental da UFPB e devidamente calibrado. Vale destacar ainda que esse medidor não apresenta a função de gravação dos dados aferidos e não calcula o nível de pressão sonora equivalente (LA_{eq}). Por esse motivo, efetuaram-se anotações manuais dos valores apresentados a cada 15

segundos, posteriormente organizados em tabelas no Excel, nas quais aplicou-se o método alternativo para a determinação do LA_{eq} , também como descrito na NBR 10151:2019. A tabela 07 apresenta os dados obtidos após esse procedimento.

Tabela 07 - Níveis Sonoros Equivalentes, em dB (A) coletados em campo

| NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES - LA_{eq} - dB (A) - medição em campo | | | | | | |
|---|-------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
| PONTOS | DIA 01 [12/02/19] | | DIA 02 [14/02/19] | | DIA 03 [20/02/19] | |
| | matutino | vespertino | matutino | vespertino | matutino | vespertino |
| 1 | 73 | 72 | 70 | 72 | 70 | 72 |
| 2 | 68 | 65 | 68 | 62 | 67 | 64 |
| 3 | 77 | 74 | 75 | 75 | 73 | 71 |
| 4 | 68 | 74 | 68 | 76 | 67 | 69 |
| 5 | 67 | 66 | 66 | 79 | 66 | 67 |
| 6 | 66 | 67 | 66 | 66 | 67 | 67 |

Fonte: LIMA *et al.*, 2019 a

Segundo Lima *et al.* (2019 a), esses parâmetros foram obtidos em pesquisa de campo realizada no bairro dos Bancários durante os dias 12, 14 e 20 de fevereiro de 2019 (correspondentes a terça, quarta e quinta feira), que contou com auxílio de uma equipe de 12 voluntários, em sua maior parte alunos do curso de graduação de arquitetura e urbanismo da UFPB, previamente treinados.

Ainda segundo a autora, como o propósito da pesquisa era registrar os maiores níveis de ruído de tráfego em diferentes áreas do bairro, optou-se por realizar as medições em horários de

pico do tráfego, em dias típicos de semana. Assim, elas ocorreram nos dias mencionados anteriormente, das 06:30 às 7:30h (período matutino) e das 17:30 às 18:30h (período vespertino), com duração de 10 minutos por ponto, por turno (matutino e vespertino) e por dia.

Cabe ressaltar que os níveis de pressão sonora não são inseridos diretamente no software de geração dos mapas, mas são necessários para a validação do mapa gerado pelo simulador, pois o desvio entre o nível sonoro medido e o calculado não deve ultrapassar o intervalo de $\pm 4,6$ dB (A), para se ter 95% de confiabilidade dos resultados, segundo Licitra e Memoli (2008).

- PARÂMETROS DE TRÁFEGO:

O fluxo de veículos também é registrado in loco, utilizando contadores manuais, e é categorizado em: veículos leves (motos e carros) e veículos pesados (ônibus, caminhões, van, etc.). Esses dados abastecem a ferramenta computacional, que, através de equações matemáticas e da sobreposição das cartografias levantadas, resultará no mapa de ruído de tráfego da área estudada.

A tabela 08 apresenta o volume de tráfego contabilizado por Lima *et al.* (2019 a) nos três dias de medição, em ambos os períodos, assim como os dados de tráfego obtidos no presente

trabalho, coletados em setembro de 2020, ainda durante período de pandemia do Coronavírus.

Destaca-se que os valores contidos na tabela referentes aos dias 1, 2 e 3 correspondem à contagem realizada nos dez minutos de medição. Para introduzi-los no SoundPLAN® foi necessário corrigi-los, visto que o software necessita da quantidade de veículos por hora, conforme indica a tabela 08 no campo MÉDIA (3 dias x 1 hora).

Vale destacar ainda que o software acústico necessita que sejam inseridos dados referentes ao volume de tráfego de todas as vias da área em estudo. Assim, como a contagem de veículos aconteceu inicialmente em apenas seis pontos de medição, foi necessário realizar uma análise estatística para complementar os dados não coletados, e assim, caracterizar a área de forma mais precisa. Utilizou-se o método estatístico de vizinhança, buscando "suprir os dados ausentes e caracterizar o ruído da área de forma confiável e precisa" (BRASILEIRO, 2017, p.76).

- ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MAPAS DE RUÍDO:

Após a atualização e tratamento dos dados, com a geração de novos mapas e tabelas, subsidiando os dados de entrada no software acústico, finalmente iniciou-se a etapa de elaboração do mapa de ruído.

Tabela 08 - Dados de volume do tráfego coletados em campo

Legenda: VL (veículos leves – automóveis e motos);
VP (veículos pesados – ônibus, caminhões e vans).

| CONTAGEM DE VEÍCULOS - leves e pesados | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|----|------------|-------------------|-------------------|----|------------|-------------------|-------------------|----|------------|-------------------------|-------------------------|-----|------------|-----|
| PONTOS | DIA 01 [12/02/19] | | | | DIA 02 [14/02/19] | | | | DIA 03 [20/02/19] | | | | MÉDIA [3 dias x 1 hora] | | | |
| | matutino | | vespertino | | matutino | | vespertino | | matutino | | vespertino | | matutino | | vespertino | |
| | VL | VP | VL | VP | VL | VP | VL | VP | VL | VP | VL | VP | VL | VP | VL | VP |
| 1a | 212 | 4 | 194 | 5 | 157 | 8 | 163 | 4 | 187 | 4 | 197 | 5 | 1112 | 32 | 1108 | 28 |
| 1b | 70 | 0 | 66 | 1 | 52 | 2 | 58 | 0 | 57 | 0 | 55 | 0 | 358 | 4 | 358 | 2 |
| 2a | 43 | 0 | 63 | 2 | 32 | 0 | 85 | 4 | 30 | 2 | 80 | 0 | 210 | 4 | 456 | 12 |
| 2b | 86 | 1 | 26 | 1 | 55 | 1 | 36 | 2 | 58 | 0 | 27 | 0 | 398 | 4 | 178 | 6 |
| 3a | 467 | 25 | 602 | 17 | 413 | 16 | 605 | 17 | 500 | 22 | 577 | 13 | 2760 | 126 | 3568 | 94 |
| 3b | 7 | 0 | 2 | 0 | 7 | 0 | 9 | 0 | 4 | 0 | 10 | 0 | 36 | 0 | 42 | 0 |
| 3c | 3 | 0 | 12 | 0 | 7 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 13 | 0 | 20 | 0 | 76 | 0 |
| 4a | 137 | 7 | 153 | 2 | 163 | 11 | 143 | 4 | 129 | 6 | 155 | 6 | 858 | 48 | 902 | 24 |
| 4b | 8 | 0 | 3 | 0 | 9 | 0 | 5 | 0 | 3 | 0 | 1 | 0 | 40 | 0 | 18 | 0 |
| 5a | 247 | 16 | 209 | 11 | 215 | 10 | 232 | 6 | 269 | 15 | 206 | 4 | 1462 | 82 | 1294 | 42 |
| 5b | 103 | 1 | 114 | 1 | 94 | 3 | 90 | 1 | 110 | 0 | 112 | 1 | 614 | 8 | 632 | 6 |
| 6a | 87 | 4 | 114 | 3 | 85 | 5 | 116 | 5 | 104 | 5 | 129 | 1 | 552 | 28 | 718 | 18 |
| 6b | 5 | 1 | 4 | 0 | 8 | 0 | 3 | 0 | 4 | 0 | 7 | 0 | 34 | 2 | 28 | 0 |
| DIA 01 [15/09/20] | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DIA 01 [15/09/20] | | | | DIA 02 [16/09/20] | | | | DIA 03 [17/09/20] | | | | MÉDIA [3 dias x 1 hora] | | | | |
| 7a | 430 | 12 | 714 | 18 | 477 | 19 | 714 | 14 | 463 | 17 | 721 | 11 | 2740 | 96 | 4298 | 86 |
| 7b | 44 | 0 | 84 | 2 | 45 | 1 | 94 | 1 | 50 | 2 | 93 | 1 | 278 | 6 | 542 | 8 |
| 7c | 3 | 0 | 69 | 2 | 5 | 0 | 60 | 1 | 9 | 0 | 61 | 0 | 34 | 0 | 380 | 6 |
| 8a | 64 | 3 | 117 | 4 | 83 | 3 | 114 | 2 | 104 | 4 | 149 | 2 | 502 | 20 | 760 | 16 |
| 8b | 20 | 0 | 72 | 0 | 13 | 0 | 26 | 0 | 22 | 0 | 33 | 0 | 110 | 0 | 262 | 0 |
| 8c | 8 | 0 | 14 | 0 | 4 | 0 | 6 | 0 | 3 | 0 | 9 | 0 | 30 | 0 | 58 | 0 |
| 9a | 563 | 21 | 670 | 24 | 415 | 16 | 595 | 20 | 526 | 15 | 615 | 18 | 3008 | 104 | 3760 | 124 |
| 9b | 44 | 1 | 56 | 0 | 47 | 1 | 81 | 1 | 43 | 0 | 93 | 2 | 268 | 4 | 460 | 6 |
| 9c | 24 | 2 | 38 | 0 | 19 | 1 | 22 | 0 | 21 | 1 | 39 | 1 | 128 | 8 | 198 | 2 |
| 10a | 73 | 3 | 130 | 9 | 73 | 3 | 107 | 4 | 87 | 3 | 111 | 3 | 466 | 18 | 696 | 32 |
| 10b | 70 | 0 | 119 | 9 | 66 | 3 | 100 | 4 | 75 | 3 | 123 | 2 | 422 | 12 | 684 | 30 |
| 10c | 24 | 1 | 36 | 0 | 29 | 0 | 35 | 1 | 33 | 0 | 42 | 0 | 172 | 2 | 226 | 2 |

Fonte: elaborada pela autora, 2020
(parte dos dados obtida em LIMA,2019)

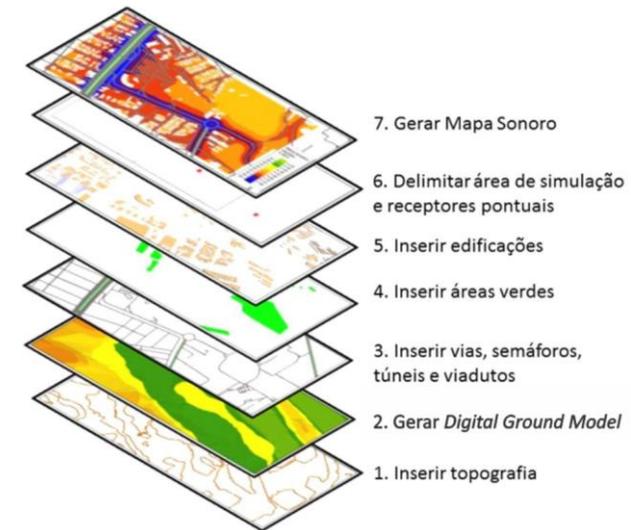
Nesse estudo, utilizou-se para elaboração dos mapas de ruído e para as simulações das estratégias de mitigação o *software* alemão SoundPLAN®, destinado tanto a elaboração de mapas acústicos, como a avaliação de impactos acústicos, comparações entre cenários ambientais e análise de poluentes atmosféricos.

O *software* foi utilizado em sua versão essencial (SoundPLAN Essencial 5.1), com licença adquirida pela autora para a realização da pesquisa.

Inicialmente, os mapas produzidos no programa computacional QGis®, foram exportados no formato (*.dxf) e então inseridos no *software* SoundPLAN®, em que receberam acréscimo de informações, como a atribuição dos dados de volume de tráfego.

Assim, para a geração dos mapas sonoros, foram seguidas as etapas de inserção de dados apresentadas por Florêncio (2018), conforme figura 35.

Figura 40 - Esquema de inserção de dados no Software de simulação computacional



Fonte: FLORÊNCIO, 2018

Como visto, as áreas verdes são importantes para a atenuação sonora ao ar livre. Como o bairro Bancários apresenta grande área de cinturão verde, foi necessário avaliar a inserção de dados conforme as características da vegetação local. Dessa forma, consideraram-se apenas as áreas verdes densamente arborizadas.

Considerando o extenso tempo de cálculo no *software* SoundPLAN®, principalmente para o mapeamento de grandes áreas territoriais, como um bairro, e para a realização de muitas

simulações, como é o caso dessa pesquisa, foram adotadas algumas configurações que permitem que o processamento de dados seja acelerado, sem que haja redução da qualidade de representação dos mapas de ruído.

Através de estudos-teste, Florêncio (2018) identificou que a espacialização apresentou representatividade com malha de cálculo 20x20m, considerada adequada para a representação de áreas na escala de bairro, raio de busca máximo de 1000m e uma reflexão.

Considerando essas recomendações, a tabela 09 resume os principais parâmetros de cálculo adotados para todas as simulações realizadas neste trabalho.

Tabela 09 – Parâmetros de cálculo adotados para as simulações

| MODELO DE CÁLCULO | RLS-90 | |
|---------------------------|-------------------------|-----------|
| CONDIÇÕES AMBIENTAIS | Temperatura | 30°C |
| | Umidade Relativa | 74% |
| PROPAGAÇÃO SONORA (mapas) | Raio Máximo | 1000m |
| | Reflexão | 1 |
| | Malha de Cálculo | 20m X 20m |
| | Altura do nível do solo | 1,5m |

Fonte: elaborado pela autora ,2020

Aplicando esses parâmetros, foi realizada a calibragem do modelo no software, a partir da comparação entre os dados medidos in loco e os dados simulados com tais parâmetros.

Segundo Licitra e Memoli (2008), para o meio urbano a diferença ideal entre os dados medidos in loco e os simulados não deve ultrapassar $\pm 4,6$ dB, para se ter 95% de confiança.

A tabela 10 expõe os níveis sonoros equivalentes resultantes das medições em campo, dos cálculos do software e a diferença entre eles. Afirma-se que a diferença máxima presente na área foi de 3,4dB dB (A) (ponto 4), comprovando então que os mapas estão calibrados e representam a realidade sonora da área em estudo,

Tabela 10 - Comparativo entre os Níveis Sonoros Equivalentes - dB (A), obtidos em campo e através de cálculo computacional

| PONTOS | NÍVEIS SONOROS EQUIVALENTES (Laeq) - média dos 3 dias | | | | | |
|--------|---|------------|-----------------|------------|----------|------------|
| | MEDIÇÃO | | CÁLCULO COMPUT. | | DESVIO | |
| | matutino | vespertino | matutino | vespertino | matutino | vespertino |
| 1 | 71,00 | 72,00 | 71,70 | 71,40 | 0,70 | -0,60 |
| 2 | 67,67 | 63,67 | 65,20 | 66,40 | -2,47 | 2,73 |
| 3 | 75,00 | 73,33 | 74,10 | 74,20 | -0,90 | 0,87 |
| 4 | 67,67 | 73,00 | 71,00 | 69,60 | 3,33 | -3,40 |
| 5 | 66,33 | 70,67 | 69,00 | 68,10 | 2,67 | -2,57 |
| 6 | 66,33 | 66,67 | 66,70 | 66,30 | 0,37 | -0,37 |

Fonte: elaborada pela autora,2020

Essa diferença ocorre devido às incertezas experimentais, como o período temporal dos dados, já que parte dos mapas foi elaborada com base em dados do Googlemaps®, que apresentam variação de período; dados de entrada simplificados devido a extensão da área, como os muros dos lotes; e formas em bloco, já que o software considera todas as edificações como um bloco, sendo a elevação a partir do limite das edificações nos lotes, desconsiderando detalhes de aberturas como varandas, garagens, marquises dentre outros elementos.

- **ESCOLHA DOS PONTOS DE INTERVENÇÃO E SIMULAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS DE MITIGAÇÃO DO RUÍDO**

Com a geração dos mapas finais referentes aos turnos matutino e vespertino, ocorreu sua análise a fim de determinar os pontos que receberiam as intervenções. Para isso, foram adotados critérios referentes a densidade demográfica dos setores do bairro, a localização dos usos mais sensíveis, que segundo a NBR 10151/2019 são áreas estritamente residenciais urbanas, de hospitais ou de escolas, e evidentemente, e as áreas com níveis de pressão sonora mais elevados.

Assim, foram escolhidas 4 áreas, sendo cada uma caracterizada, ressaltando os aspectos mais relevantes do ponto de vista da acústica. Por conseguinte, foram propostos cenários de mitigação do ruído baseados em estratégias de mitigação

identificadas ainda no referencial teórico e nos estudos de caso, considerando as possibilidades e limitações do software utilizado. Tais estratégias foram simuladas através do software de modelagem SoundPLAN®, processo no qual foram geradas e testadas diversas alternativas de acordo com os parâmetros editáveis apresentados no programa computacional, que variavam de acordo com cada medida, até se chegar em uma combinação de estratégias considerada adequada para cada área. Finalmente, partiu-se para a análise e considerações finais sobre todo o trabalho.

5.
DIAGNÓSTICO
DO RUÍDO
NO BAIRRO

O RUÍDO NO BAIRRO BANCÁRIOS

5.1 ANÁLISE GERAL

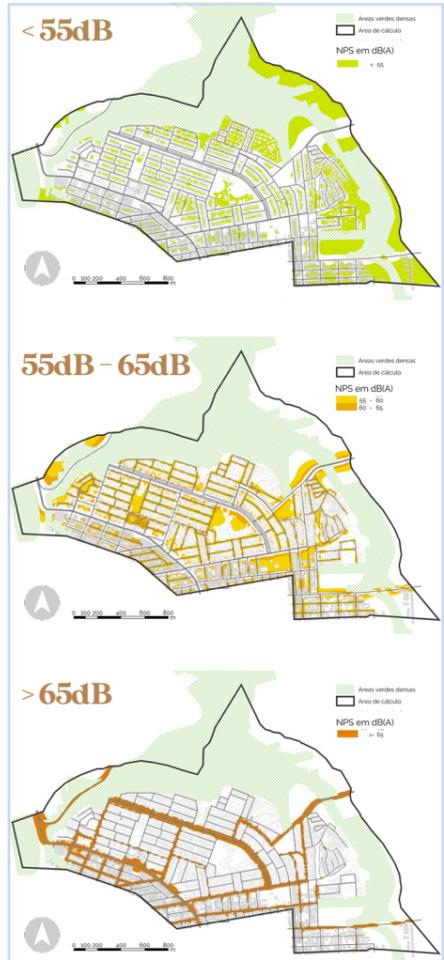
Observando os mapas de ruído (figuras 00 e 00), percebe-se que grande parte do bairro está exposto diariamente a níveis de ruído acima de 55dB (A) em ambos os períodos, matutino e vespertino, níveis já considerados nocivos à saúde humana pela OMS.

Explorando as faixas de ruído, verifica-se que níveis de pressão sonora abaixo de 55dB foram encontrados em vias de baixo fluxo veicular (locais) e principalmente em meios de quadras, distantes de vias arteriais e coletoras (figura 00). Não obstante, os menores níveis de pressão sonora foram identificados em zonas de proteção ambiental, nas quais a vegetação densa cumpre em grande parte o papel de atenuação do ruído.

Em relação a faixa que compreende o intervalo entre 55dB e 65db (figura 00), observa-se sua distribuição por grande parte do território do bairro, com destaque para a Praça da Paz, que apresenta praticamente metade de sua área exposta a esse nível de ruído.

Por fim, os níveis sonoros acima de 65dB se localizam ao longo das vias de alto fluxo, sejam arteriais ou coletoras, revestidas por asfalto.

Figura 41 - Mapas de ruído por faixa (período matutino)



Fonte: elaborados pela autora, 2020

Correlacionando esses dados com a contagem de tráfego veicular, nota-se que as vias arteriais, em geral, possuem maior número de faixas e fluxo veicular maior, em seguida as vias coletoras, e por fim as vias locais, com tráfego veicular reduzido.

Assim, dentre as áreas com níveis mais elevados destacam-se as avenidas Empresário João Rodrigues Alves e Bancário Sérgio Guerra, que compõem a grande via arterial do bairro, apresentando tráfego intenso de veículos nos horários de pico. Conseqüentemente, nelas, que cabe ressaltar são asfaltadas, o LAeq se mantém constante nos cenários matutino e vespertino, variando em sua maior parte entre 75 e 80dB (A), com intensificação em cruzamentos semaforizados, onde esse nível atinge a faixa entre 80 e 85dB (A), já dentro do limite do som lesivo, que corresponde ao intervalo definido pela OMS entre 80 e 90 dB (A).

Analisando a malha urbana do bairro, do ponto do posicionamento das ruas, nota-se que essas vias arteriais são do tipo perimetral, ou seja, constituem um dos limites do bairro. Sendo assim, o ruído de tráfego gerado por elas acaba afetando não só o bairro dos Bancários como também alguns de seus bairros limítrofes, são eles: Jardim São Paulo e Anatólia. Tal situação também ocorre com a rua Rosa Lima dos Santos, uma via coletora, que também propaga

o ruído de seu tráfego para o bairro Jardim Cidade Universitária.

Considerando a ocupação do solo, predominam no bairro os espaços urbanos fechados, com edificações margeando as vias de grande fluxo de veículos. Nesses casos, ocorre certo confinamento das ondas sonoras que acaba impactando com níveis de pressão sonora mais elevados os usuários das edificações lindeiras. No entanto, essas edificações se comportam também como edifícios-barreira, dificultando a livre propagação das ondas para as edificações posteriores, e formando áreas de sombra acústica nos meios de quadras.

Assim, fica evidente a importância de se pensar em um zoneamento urbano voltado também a acústica, que considere ocupar as áreas lindeiras de vias arteriais e coletoras com edificações de usos menos sensíveis ao ruído, como as voltadas ao comércio e aos serviços. Todavia, é fundamental destinar atenção ao ordenamento do tráfego, de modo a minimizar os conflitos de circulação como os que ocorrem hoje em dia no entorno dessas áreas.

A respeito da implantação dos edifícios, cabe ressaltar que a configuração mais comumente encontrada no bairro é aquela na qual as menores fachadas se voltam para a via de grande fluxo. Tal configuração, que inicialmente pode

transparecer a ideia de menor área exposta ao ruído, na verdade contribui para a elevação dos níveis de pressão sonora, pois cria corredores que favorecem a dissipação das ondas sonoras. Comparando os dois períodos apresentados, os mapas de ruído revelam resultados bastante semelhantes, ou seja, críticos. Ainda assim, o mapa referente ao turno matutino, de maneira geral, apresenta níveis sonoros levemente mais elevados. É interessante destacar que no turno vespertino foram contabilizados 924 veículos leves a mais que no turno matutino. Em compensação, pela manhã o número de veículos pesados superou em 106 o número contabilizado a tarde, demonstrando maior influência desse tipo de veículo para o acréscimo do ruído.

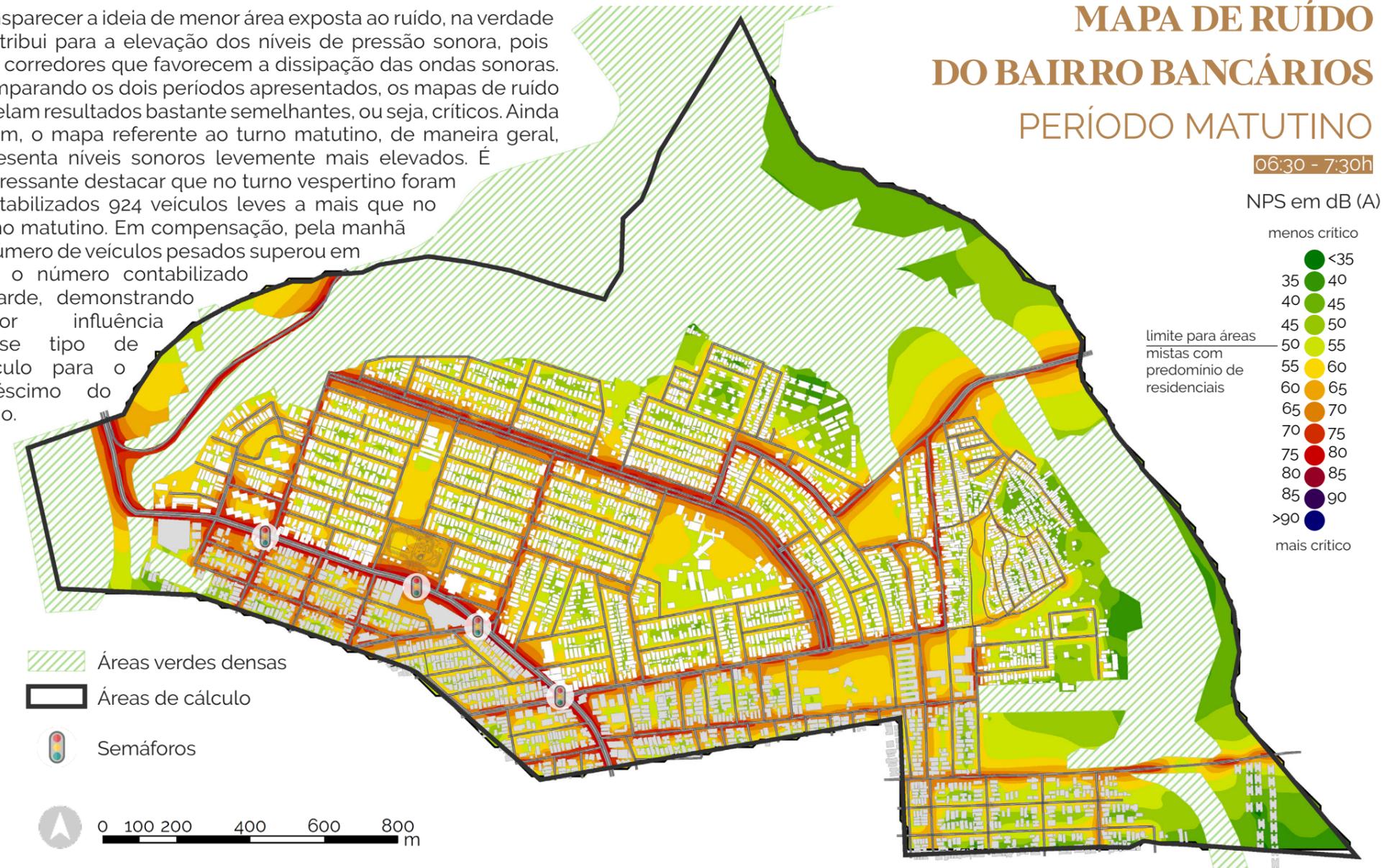


Figura 42 - Mapa de ruído do bairro Bancários para o período matutino (06:30 - 07:30 h)

MAPA DE RUÍDO DO BAIRRO BANCÁRIOS PERÍODO MATUTINO

06:30 - 7:30h

- NPS em dB (A)
- menos crítico
 - <35
 - 35
 - 40
 - 40
 - 45
 - 45
 - 50
 - 55
 - 55
 - 60
 - 60
 - 65
 - 65
 - 70
 - 70
 - 75
 - 75
 - 80
 - 80
 - 85
 - 85
 - 90
 - >90
 - mais crítico
- limite para áreas mistas com predominio de residenciais

Fonte: elaborado pela autora, 2020

5.2 SELEÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE INTERVENÇÃO

Considerando o exposto na análise geral, observando também alguns critérios a seguir detalhados, foram selecionadas 4 áreas de intervenção para aplicação das medidas de mitigação do ruído, destacando em cada área o edifício de uso mais sensível a fim de utilizá-lo como referência em relação ao limite de nível de pressão sonora indicado na NBR 10.151 (ABNT,2019)(figura 00).

A escolha da **área A** foi motivada pelos elevados níveis de pressão sonora identificados no local, representando um dos pontos mais críticos em relação ao ruído no bairro. Como também, pelo fato da área abrigar a edificação mais alta do bairro (24 pavimentos), que além disso é de uso residencial e foi a destacada como uso mais sensível nessa área.

Então, observando o zoneamento da cidade, identificou-se que essa área pertence a zona axial 5, que embora permita o uso residencial, apresenta predomínio de atividades comerciais e de serviços, usos tipicamente mais ruidosos e menos sensíveis ao ruído. Assim, despertou interesse

avaliar o nível de ruído ao qual os numerosos moradores da edificação multifamiliar residencial já citada estão expostos, bem como, enxergou-se o potencial da edificação para aplicação de algumas medidas mitigadoras.

A **área B**, por sua vez, também foi selecionada pelos altos níveis de pressão sonora encontrados no local, ainda mais críticos que na área anterior por conta do limite mais restritivo imposto pela presença de uma instituição hospitalar, a Unidade de Pronto Atendimento (UPA - Bancários), destacada como uso mais sensível nessa área, e de uma instituição de ensino, o Centro de Referência em Educação do Infantil (CREI) Arthur Antonio Belarmino Ferreira.

A escolha também se deu pela relevância do local para o bairro, já que a área contempla um dos principais pontos de encontro dos moradores, a Praça da Paz, que por estar localizada logo ao lado do principal eixo ruidoso e próxima a um semáforo apresenta ruído local variando entre 55 e 75 dB (A) em ambos os períodos. Nesse caso, vislumbrou-se a oportunidade de aplicar medidas

mitigadoras distintas, bem como de avaliar o comportamento do ruído e a eficácia das medidas em espaço urbano aberto.

Já a **área C** foi escolhida por estar localizada em uma via coletora também bastante ruidosa e principalmente, de características singulares. Trata-se da via popularmente conhecida como "3 ruas", que é assim denominada por comportar em grande parte de sua extensão 3 vias paralelas intercaladas por canteiros com vegetação, sendo as duas laterais, locais em paralelepípedo e a central, coletora em asfalto.

Diferentemente das duas áreas anteriores, a área C integra a zona residencial 3, que embora permita a implantação de comércios e serviços (de bairros e locais), apresenta predomínio do uso residencial. E nesse recorte em específico, apresenta uma instituição de ensino, a E.M.E.F. Aruanda, edifício destacado como uso mais sensível nessa área. Assim, optou-se por classificar a área como estritamente residencial urbana, de hospitais ou de escolas, com limite de NPS diurno em 50dB e noturno em 45dB.

Considerando que nessa área há certo distanciamento entre as edificações e a via principal, especialmente no lado que abriga a escola, observou-se a possibilidade da utilização desses espaços de canteiro para aplicação de medidas mitigadoras.

Por fim, tem-se a **área D**, que foi escolhida por abrigar um lote de grandes dimensões ainda não edificado, abrindo possibilidade para a aplicação de medidas mitigadoras até então não utilizadas nas demais áreas.

Enquanto nas áreas A, B e C as medidas mitigadoras a serem aplicadas tem que adaptar-se a tudo o que já foi edificado, atuando para corrigir uma situação, na área D, pretende-se expor estratégias a serem pensadas ainda em fase de projeto, prevenindo possíveis problemas e garantindo que a edificação não contribua para a elevação dos níveis de poluição sonora da região.

A área D também se destaca por situar-se bem próxima aos setores de maior densidade demográfica (habitantes/km²) do bairro, segundo dados do último censo realizado pelo IBGE (IBGE, 2010). Assim, medidas mitigadoras aplicadas na área tem potencial de impactar um número maior de pessoas.

Cabe destacar, que a área em questão, assim como a anterior integra a zona residencial 3, e abriga a E.E.E.F. Dom Carlos Coelho, edifício destacado como referência de uso mais sensível

USOS DESTACADOS COMO SENSÍVEIS AO RUÍDO

- * residencial multifamiliar limites - área mista com predominância de comércio (diurno - 60dB) (noturno - 55dB)
- * instituições hospitalares limites (diurno - 50dB) (noturno - 45dB)
- * instituições de ensino limites (diurno - 50dB) (noturno - 45dB)

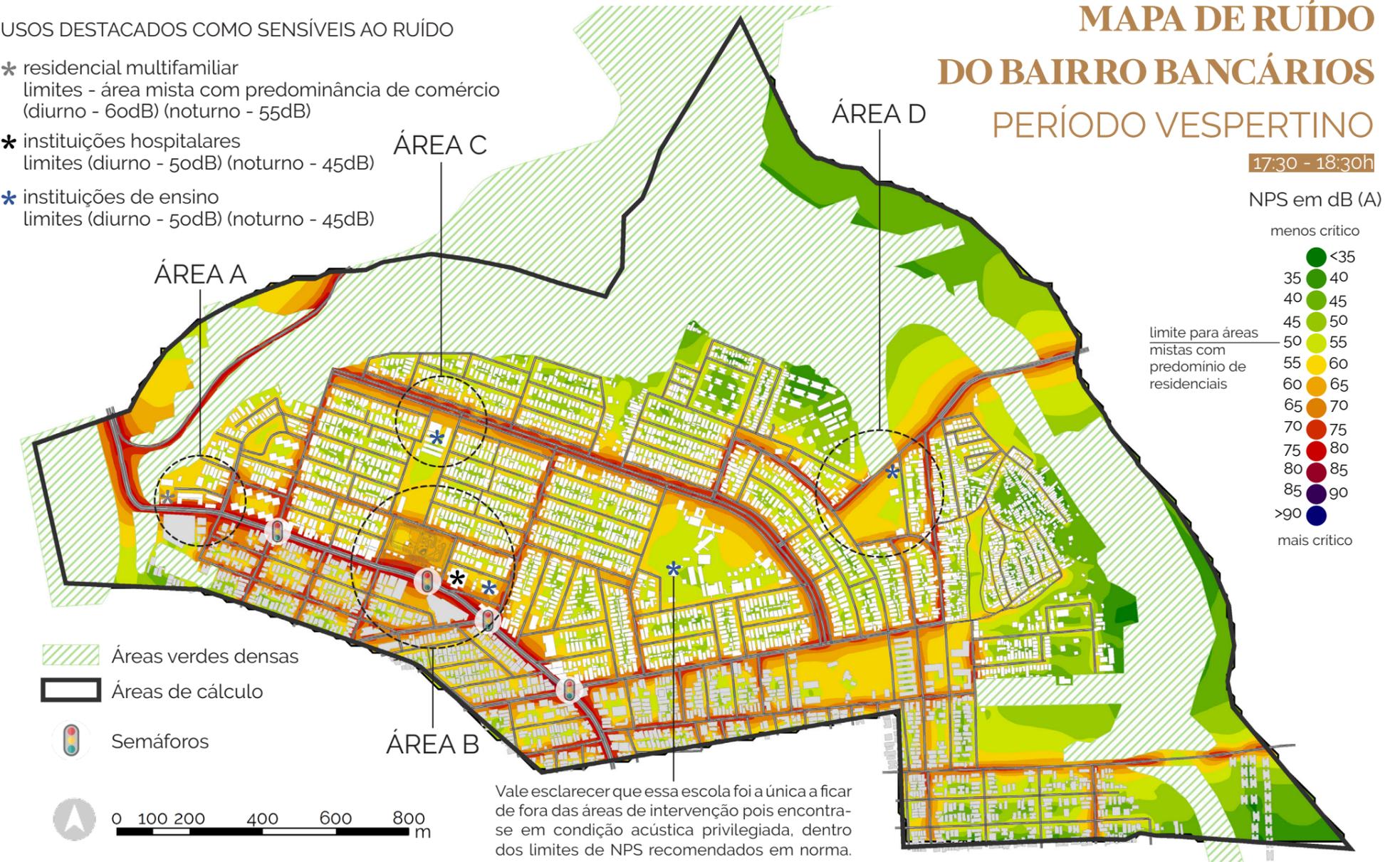


Figura 43 - Mapa de ruído do bairro Bancários para o período vespertino (17:30 - 18:30 h)

Fonte: elaborado pela autora, 2020

ÁREA A

A área A está situada na principal via arterial do bairro, a avenida Empresário João Rodrigues Alves, próxima a rotatória que interliga o bairro ao campus da UFPB, constituindo assim, porta de entrada para quem vem do centro ou de bairros mais ao norte (ver mapa-chave).

Interceptada por essa importante via, que é do tipo perimetral, ou seja, delimita uma região, a área A apresenta-se no limite entre os bairros Bancários e Jardim São Paulo.

Trata-se de uma área que concentra edificações de grande porte, tanto de uso residencial, a exemplo do edifício utilizado como parâmetro de uso mais sensível, o mais alto do bairro, como também ligadas

Figura 44 - vista ao solo da área A



Fonte: acervo da autora, 2020

CARACTERIZAÇÃO

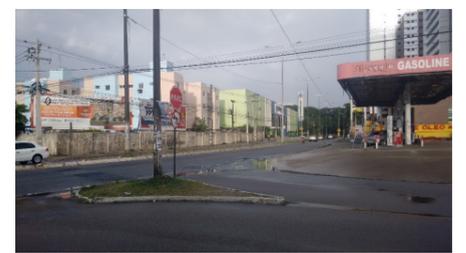


Fonte: elaborado pela autora, 2020

ao comércio e aos serviços, a exemplo do hipermercado Carrefour e do Empresarial Delta Center.

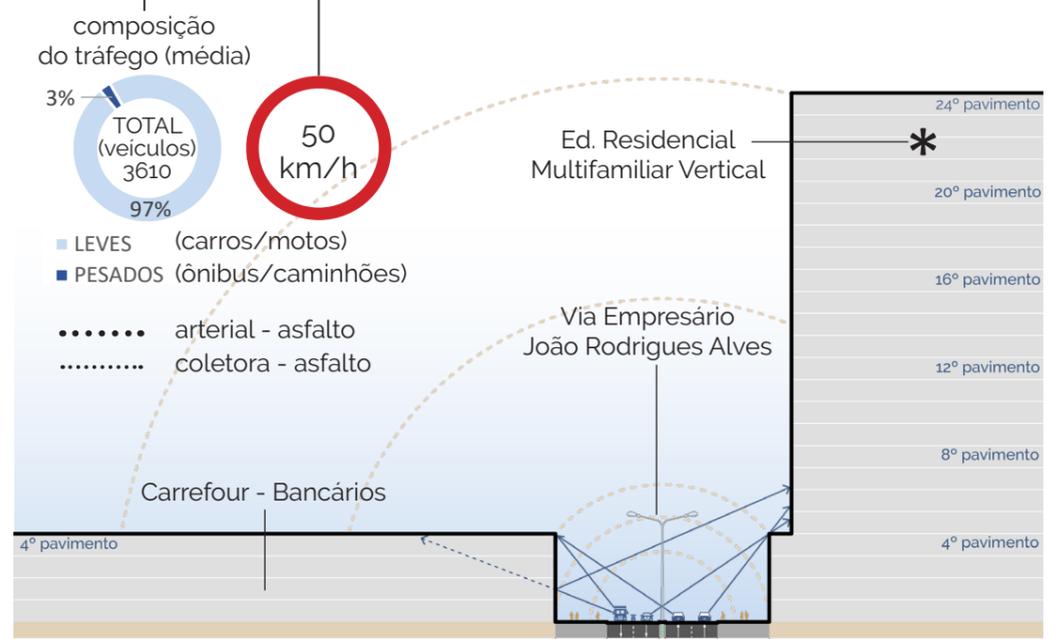
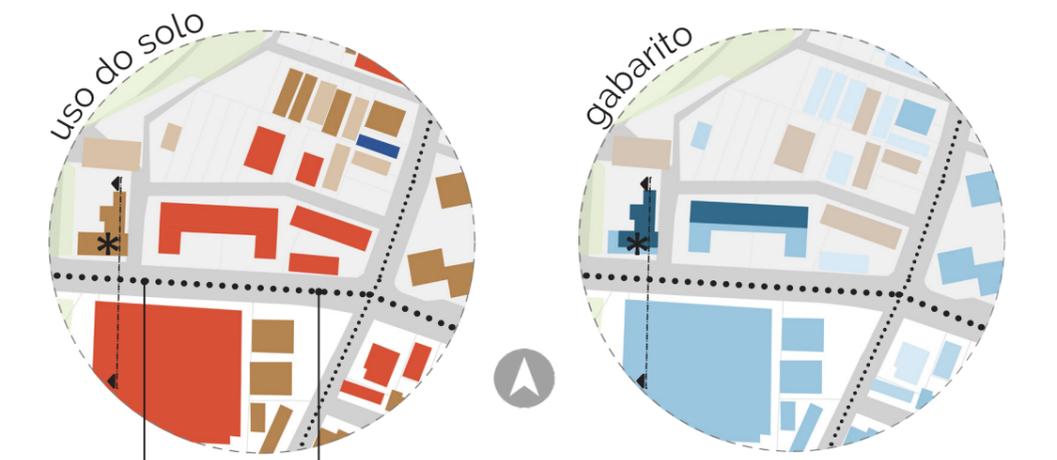
Em relação ao ruído, caracteriza-se como uma das áreas mais críticas, com níveis de pressão sonora chegando ao pico de 81,6 dB, quando o recomendado pela NBR 10.151 (ABNT, 2019) para zonas mistas predominantemente comerciais/administrativas é de 60 dB no período diurno.

Figura 45 - vista aérea da área A aproximada

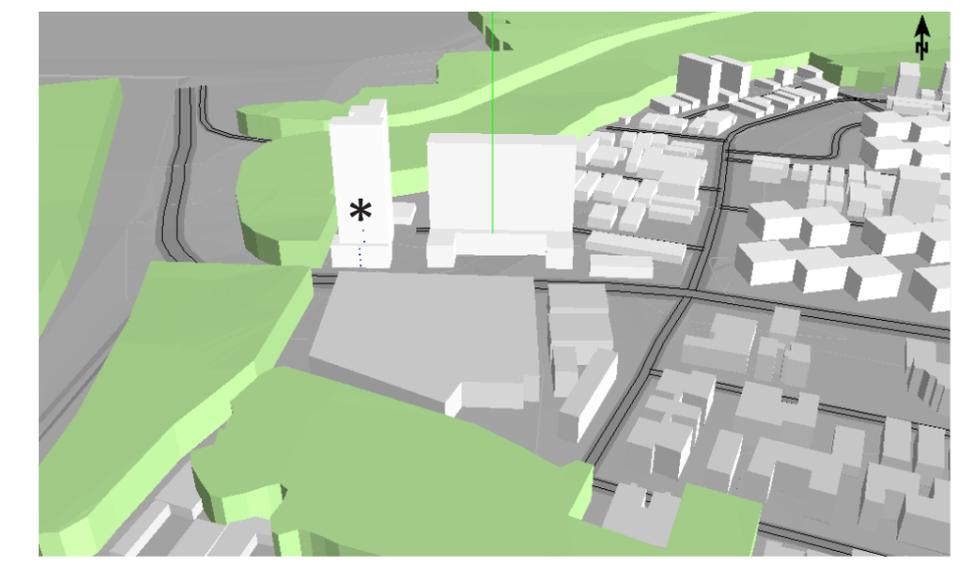
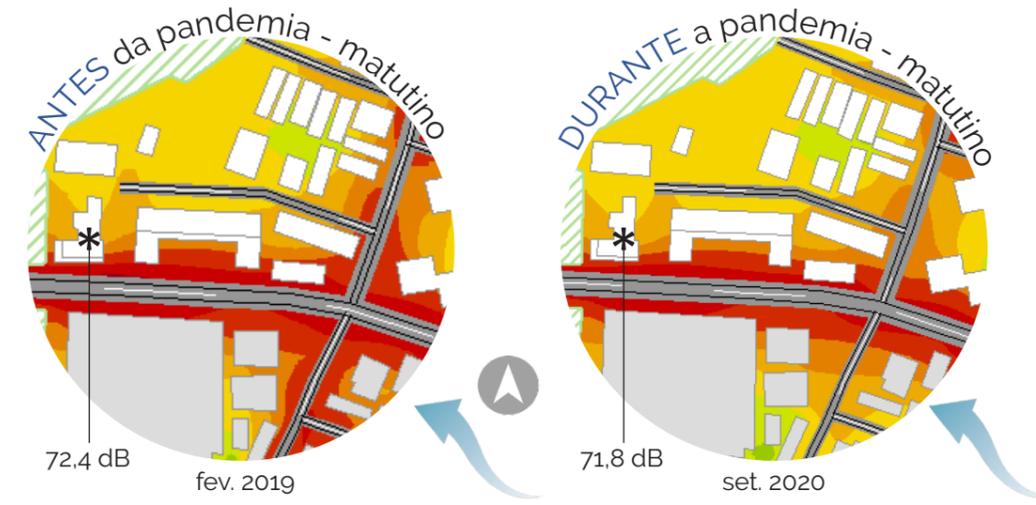
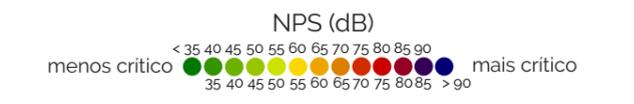


Fonte: acervo da autora, 2020

- residencial unif. (brown)
- residencial unif. (red)
- térreo (tan)
- térreo + 2 pav. (light blue)
- 19 pav. (dark blue)
- residencial multif. (orange)
- residencial multif. (dark blue)
- térreo + 1 pav. (light blue)
- térreo + 3 pav. (medium blue)
- 24 pav. (dark blue)



CORTE ESQUEMÁTICO Fonte (mapas, esquemas e cortes): elaborados pela autora, 2020



VISTA 3D DO MODELO NO SOUNDPLAN Fonte (mapas de ruído e vista 3d: elaborados pela autora, 2020

Tal situação tem fundamento nas seguintes características: a via principal, que é asfaltada e apresenta grande fluxo de veículos, já que se trata de uma via arterial com 4 faixas de rolamento, também é muito próxima de edificações de uso sensível, como o uso residencial.

Além disso, no trecho representado em corte esquemático, a via apresenta perfil U, e os edifícios são revestidos por materiais reflexivos, como pastilhas cerâmicas, vidro e concreto, propiciando a ocorrência de reverberação, devido às múltiplas reflexões das ondas sonoras nas fachadas paralelas, amplificando o ruído.

Cabe ressaltar também, que o edifício Empresarial Delta Center, localizado logo ao lado do residencial destacado, representa exemplo de implantação desfavorável em termos de exposição ao ruído, já que apresenta forma concava voltada para a via, que tende a concentrar o som, além de expor maior superfície de fachada ao ruído.

Traçando uma comparação entre os mapas de ruído antes e durante a pandemia, afirma-se que houve diminuição do ruído na área, principalmente nas vias coletoras destacadas, que antes apresentavam NPS entre 70 e 75 dB e durante apresentaram NPS entre 55 e 70 dB.

No edifício utilizado como parâmetro de uso mais sensível, constatou-se através das simulações uma redução de 0,6 dB no receptor mais crítico, localizado no 1° pavimento da fachada mais exposta a fonte de ruído. Considerando que o tecido urbano se manteve, atribui-se essa pequena redução a alteração no fluxo de veículos ocorrida nesse período, predominantemente a redução do número de veículos pesados (redução de 0,72% dos veículos leves e 23,8% dos veículos pesados, ambos para o turno matutino), situação que demonstra ser necessário reduções bem maiores para se obter diminuição significativa do ruído.

ÁREA B

A área B também está situada na principal via arterial do bairro, a avenida Empresário João Rodrigues Alves (ver mapa-chave), abrigando vários equipamentos importantes, a exemplo da Praça da Paz, relevante ponto de encontro do bairro, além da UPA-Bancários e do Shopping Sul, esse último já na porção pertencente ao bairro Anatólia.

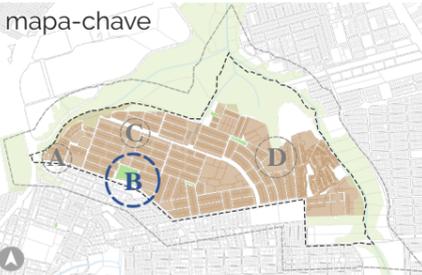
Quando ao gabarito das edificações, ainda predominam as construções térreas, mas já se observa início do processo de verticalização.

Em relação ao ruído, a situação também é crítica, com níveis de pressão sonora chegando ao pico de 84,5 dB, quando o recomendado pela norma para zonas mistas



Fonte: Google Earth

CARACTERIZAÇÃO



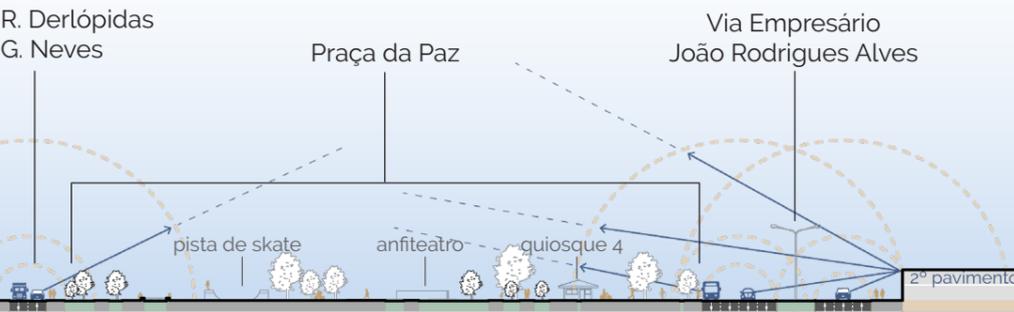
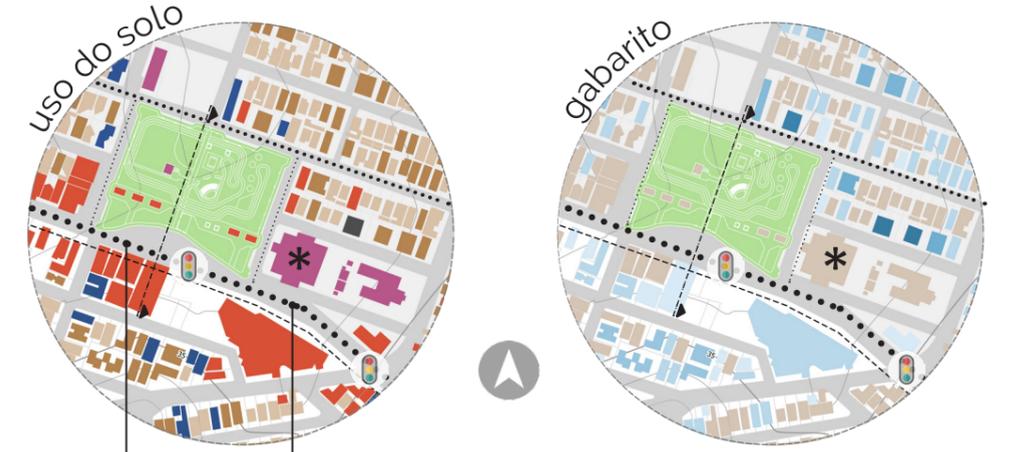
Fonte: elaborado pela autora, 2020

predominantemente comerciais/administrativas é de 60 dB no período diurno. Na UPA, se considerarmos o uso hospitalar, para o qual a norma determina o limite de 50dB no período diurno, o NPS que chega na fachada mais exposta encontra-se 9,1 dB acima disso. Entretanto, ponderando que a área integra a zona axial 5 e é predominantemente ocupada por atividades comerciais, nas simulações adotou-se o limite de 60dB já citado.

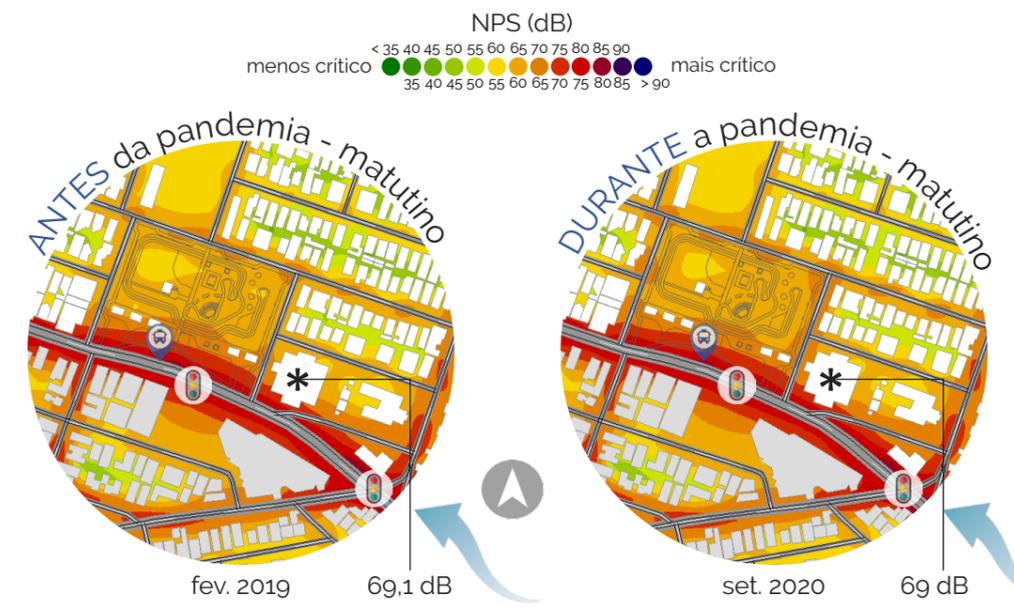


Fonte: acervo da autora, 2020

- residencial unif.
- comércio/serviço
- térreo
- térreo + 3 pav.
- 7 pav.
- residencial multif.
- institucional
- térreo + 1 pav.
- 5 pav.
- 13 pav.
- misto
- praça da paz
- térreo + 2 pav.
- 6 pav.
- 15 pav.



Fonte (mapas, esquemas e cortes): elaborados pela autora, 2020



Fonte (mapas de ruído e vista 3d: elaborados pela autora, 2020)

No trecho representado em corte esquemático, a via apresenta perfil L, justamente pelo campo aberto proporcionado pela praça. Essa configuração, embora não propicie a ocorrência de reverberação, favorece a propagação do ruído no momento em que não oferece muitos obstáculos capazes de refletir ou absorver os raios sonoros e assim atenuar o ruído, que nesse caso depende principalmente da atenuação com a distância, mais lenta.

Além disso, a posição dos edifícios em relação a fonte de ruído considerando a orientação dos ventos também é desfavorável, fazendo com que o ruído adentre ainda mais na praça.

Outro agravante é a presença de uma parada de ônibus bem movimentada logo em frente a praça, que contribui para a elevação dos níveis de ruído principalmente através do som estridente emitido pelos freios desses veículos pesados.

A área ainda apresenta dois semáforos, pontos de aceleração e desaceleração dos veículos, que em conjunto com as demais características explicitadas contribuem para os altos níveis de pressão sonora identificados na área.

Traçando uma comparação entre os mapas de ruído antes e durante a pandemia, afirma-se que no geral houve um pequeno aumento do ruído na área, uma vez que constatou-se aumento do fluxo de veículos nas três vias em que foi realizada nova contagem.

Analisando os mapas, em específico a área que compreende a Praça da Paz, é perceptível uma diminuição da zona entre 55 e 60dB, com avanço da zona entre 60 e 65dB, sendo esta última a zona predominante em ambos os cenários.

Sobre o edifício utilizado como parâmetro de uso mais sensível, nessa área representado pela UPA (uso hospitalar), constatou-se através das simulações uma manutenção do NPS no receptor mais crítico, posicionado no térreo da fachada mais exposta a fonte de ruído. Considerando que o tecido urbano se manteve, mas houve aumento no fluxo de veículos nesse período, observa-se que essa modificação não provocou ampliação significativa do nível de ruído no edifício em questão, afetando mais a área da praça.

ÁREA C

A área C, por sua vez, está situada nas proximidades da Zona Especial de Preservação 2 (ZEP2) que circunda o bairro a norte e leste, mais especificamente na principal via coletora do bairro, a avenida Bancário Waldemar de Mesquita Accioly, mais conhecida como 3 ruas (ver mapa-chave).

Caracteriza-se por abrigar majoritariamente edificações residenciais térreas, embora também venham surgindo na área pequenos edifícios multifamiliares de até 4 pavimentos (com exceção do edifício de 11 pavimentos representado no mapa de gabarito).

Em relação ao ruído, no geral, os níveis de pressão sonora encontrados são mais baixos que nas áreas anteriores, e observa-se nitidamente uma concentração

Figura 48 - vista aérea da área C



Fonte: Google Earth

CARACTERIZAÇÃO



Fonte: elaborado pela autora, 2020

dos níveis mais elevados na extensão da via coletora, que é asfaltada e permite velocidade de até 50km/h, com pico de ruído atingindo 80.4dB.

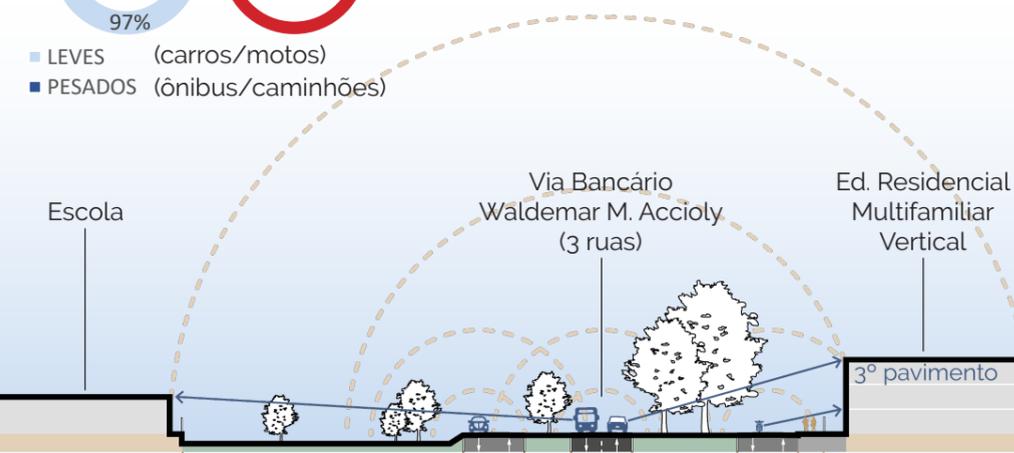
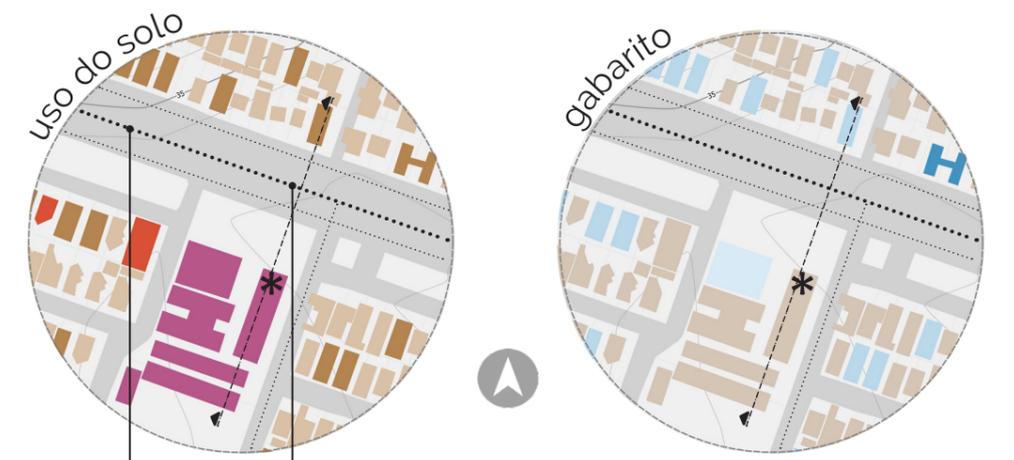
Entretanto, como trata-se de uma zona escolar, com limites mais restritivos (50dB para o período diurno), afirma-se que o NPS que chega na fachada mais exposta da escola encontra-se 11 dB acima desse valor, necessitando de redução maior que na área B, por exemplo.

Figura 49 - vista ao solo da área C

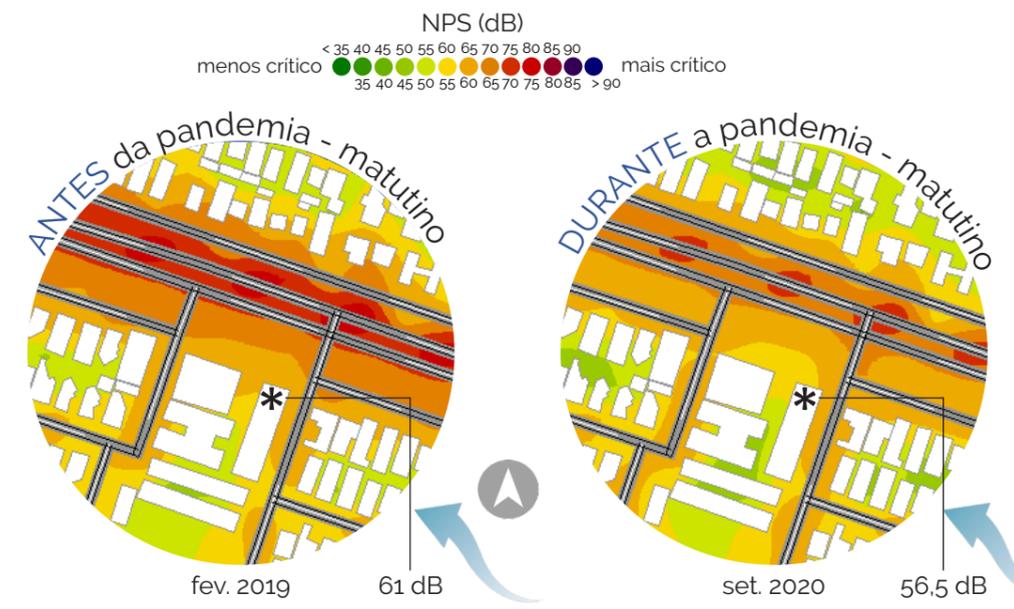


Fonte: acervo da autora, 2020

- residencial unif. (brown circle)
- residencial multif. (orange circle)
- comércio/serviço (red circle)
- institucional (purple circle)
- térreo (light brown circle)
- térreo + 1 pav. (light blue circle)
- térreo + 2 pav. (medium blue circle)
- térreo + 3 pav. (dark blue circle)
- 11 pav. (blue circle)



CORTE ESQUEMÁTICO Fonte (mapas, esquemas e cortes): elaborados pela autora, 2020



VISTA 3D DO MODELO NO SOUNDPLAN Fonte (mapas de ruído e vista 3d: elaborados pela autora, 2020)

No trecho representado em corte esquemático, a via apresenta perfil L, justamente pelo considerável distanciamento existente entre a escola e a via coletora (aproximadamente 45,6 m), além do gabarito reduzido apresentado pelas duas edificações cortadas.

Aqui, cabe ressaltar que mesmo com esse distanciamento, a atenuação decorrente não foi suficiente para que a escola se enquadrasse dentro dos limites fixados na NBR 10.151 (ABNT, 2019). Fato que além de alertar para os altos níveis de ruído na área, demonstra a necessidade de se implantar um conjunto de medidas mitigadoras, e não apenas uma ação isolada.

Outra questão pertinente, não só a essa área mas a todo o bairro, diz respeito a implantação das edificações que, condicionadas pelo loteamento, são locadas em sua maioria com a menor fachada voltada para a principal fonte de ruído (a via mais movimentada), formando corredores de som.

Traçando uma comparação entre os mapas de ruído antes e durante a pandemia, afirma-se que houve diminuição do ruído na área, principalmente nas imediações da via coletora, que antes encontravam-se em grande parte na faixa de 70 a 75dB, e durante passaram a integrar a faixa anterior, que vai de 65 a 70dB.

Sobre o edifício utilizado como parâmetro de uso mais sensível, nessa área representado pela E.M.E.F. Aruanda, as simulações demonstraram queda de 4,5dB durante a pandemia, resultando em 56,5dB chegando a fachada mais exposta.

Assim, considerando que o tecido urbano se manteve, novamente atribui-se essa redução principalmente a considerável diminuição do fluxo veicular na via coletora, que registrou redução de 65,6% dos veículos leves e 75,6% dos veículos pesados, ambos para o turno matutino.

ÁREA D

Por fim, a área D situa-se na via coletora R. Eugênio Carneiro Monteiro, também próxima da Zona Especial de Preservação 2 (ZEP2), no entanto já no acesso ao bairro do Altiplano Cabo Branco (ver mapa-chave). Ficando também perto das Comunidades Timbó I e II (ver mapa-chave).

Caracteriza-se por ser ocupada em sua maioria por um lote não edificado, que tem parte tomada por vegetação baixa e parte utilizada pelos moradores da região como campo de futebol improvisado.

Entre as edificações, predominam as residências, dividindo-se em unifamiliares térreas e multifamiliares verticais de até 5 pavimentos.

Em relação ao ruído, registrou-se como pico de nível de

Figura 50 - vista aérea da área D



Fonte: Google Earth

CARACTERIZAÇÃO



Fonte: elaborado pela autora

pressão sonora 77,8dB, o menor entre as áreas de intervenção estudadas.

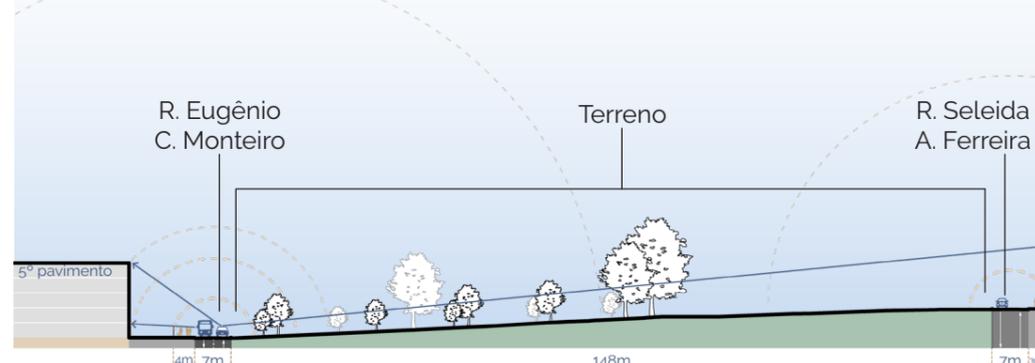
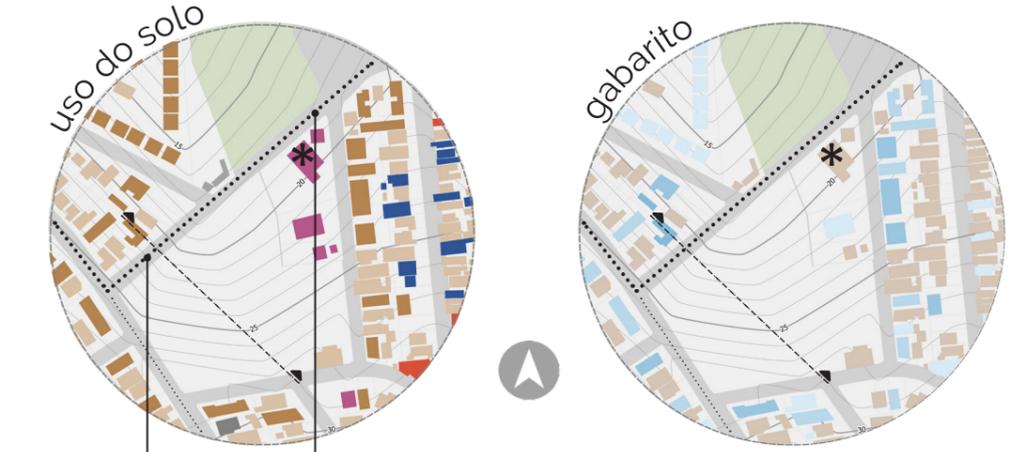
Apesar disso, na E.E.E.F. Dom Carlos Coelho, edifício escolar utilizado como parâmetro de uso mais sensível, foi registrado NPS de 65,7dB na fachada mais exposta, ou seja, 15,7dB acima do recomendado pela norma para zonas estritamente residenciais urbanas, de hospitais ou escolas, que é de 50 dB no período diurno, configurando o maior desvio.

Figura 51 - vista ao solo da área D

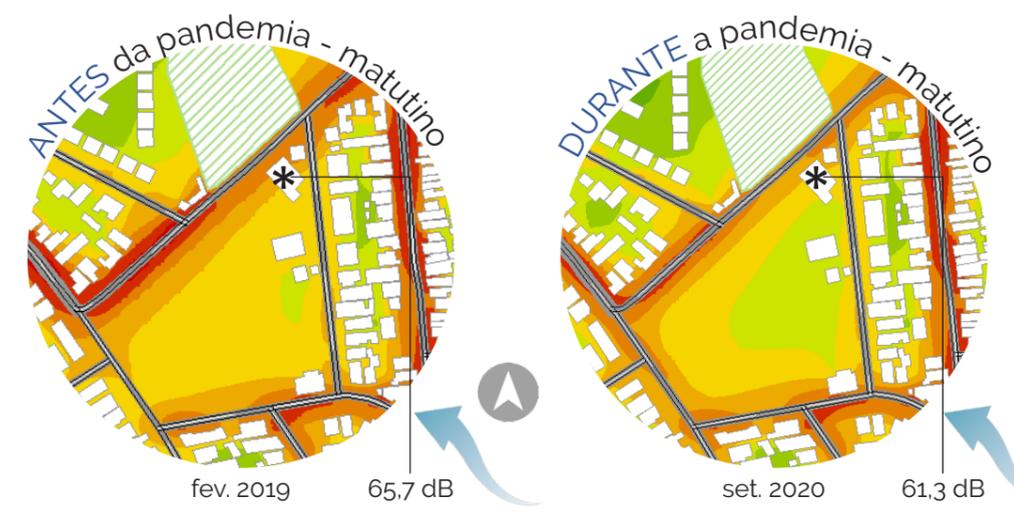


Fonte: acervo da autora, 2020

- residencial unif. (brown)
- residencial multif. (orange)
- misto (dark blue)
- comércio/serviço (red)
- institucional (purple)
- Indefinido (grey)
- térreo (light brown)
- térreo + 1 pav. (light blue)
- térreo + 2 pav. (medium blue)
- térreo + 3 pav. (dark blue)
- 5 pav. (blue)



Fonte (mapas, esquemas e cortes): elaborados pela autora, 2020



Fonte (mapas de ruído e vista 3d: elaborados pela autora, 2020)

No trecho representado em corte esquemático, a via coletora, embora possua edificações bem próximas a uma de suas margens, ainda apresenta perfil L, justamente pelo campo aberto proporcionado pelo lote não edificado. Assim, quando da construção de edificações nessa outra margem, o ideal seria manter esse perfil, já que o perfil U propicia a ocorrência de reverberação.

Vale salientar também, que como a vegetação existente no lote não constitui massa densa, não apresenta atenuação significativa. Logo, é notável como o ruído se propaga mais facilmente pela ausência de obstáculos, fazendo com que a maior parte do terreno se encontre na faixa entre 50 e 55dB, e não sejam formadas áreas de sombra acústica, como ocorre em quadras já ocupadas.

Traçando uma comparação entre os mapas de ruído antes e durante a pandemia, afirma-se que houve perceptível diminuição do ruído na área, em particular na via coletora.

Analisando, em específico, a área que compreende o lote não edificado, é perceptível uma diminuição das zonas entre 55 e 75dB, com grande avanço da zona entre 50 e 55dB, sendo esta última representada pelo tom mais claro de verde.

Desse modo, considerando que o tecido urbano se manteve, novamente atribui-se essa redução principalmente a considerável diminuição do fluxo veicular na via coletora, que registrou redução de 50,8% dos veículos leves e 75% dos veículos pesados, ambos para o turno matutino.

Ainda assim, na escola Dom Carlos Coelho, implantada a poucos metros da principal fonte de ruído da área (a via coletora), constatou-se através das simulações redução de apenas 4,4dB durante a pandemia, resultado insuficiente para que a escola se enquadrasse nos limites previstos nas normas.

6.

**PROPOSTAS DE
INTERVENÇÃO**

6.1 ÁREA A

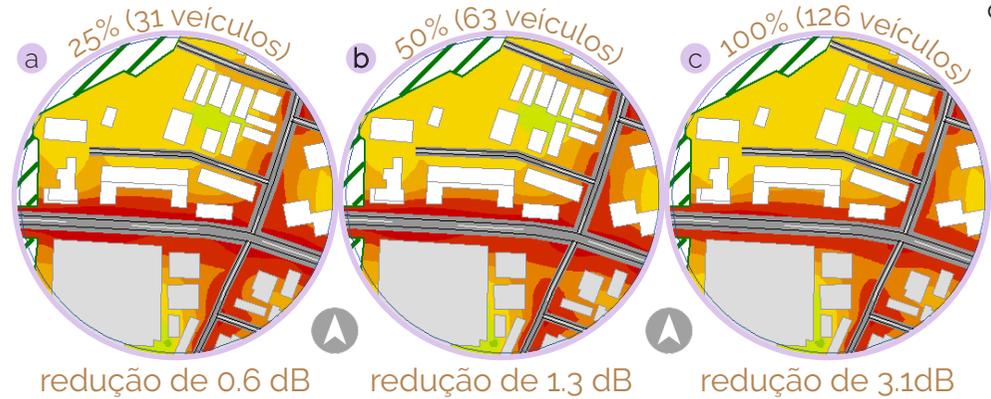


Fonte: elaborado pela autora, 2020

Para a área A, a partir do que foi discutido no diagnóstico do ruído, foram selecionadas 5 estratégias de mitigação, relacionadas a ações na fonte, no meio e no receptor, que a seguir serão melhor detalhadas.

2 REDUÇÃO DO Nº DE VEÍCULOS PESADOS Na via Empresário João Rodrigues Alves

Estratégia adotada pois a avenida apresenta fluxo intenso desse tipo de veículo nos dois turnos, com pontos recorrentes de congestionamento, indicando sobrecarga do sistema viário da região e contribuindo bastante para o elevado nível de ruído da área. Além disso, analisando a comparação realizada entre os cenários antes e durante a pandemia, observou-se que a redução dos veículos pesados foi mais eficaz na atenuação do ruído do que a redução dos veículos leves, justificando sua escolha para as simulações. Assim, foram simuladas algumas possibilidades de redução, destacando-se as 3 representadas nos recortes abaixo. Dentre essas simulações, a opção "b", que reduziu em 50% os veículos pesados, resultando em diminuição de 1,3dB (em todos os pavimentos), mostrou-se a mais viável, sendo escolhida. Destaca-se que a opções "a" e "c" não foram selecionadas pela diminuição inexpressiva e pela dificuldade de implantação, respectivamente.



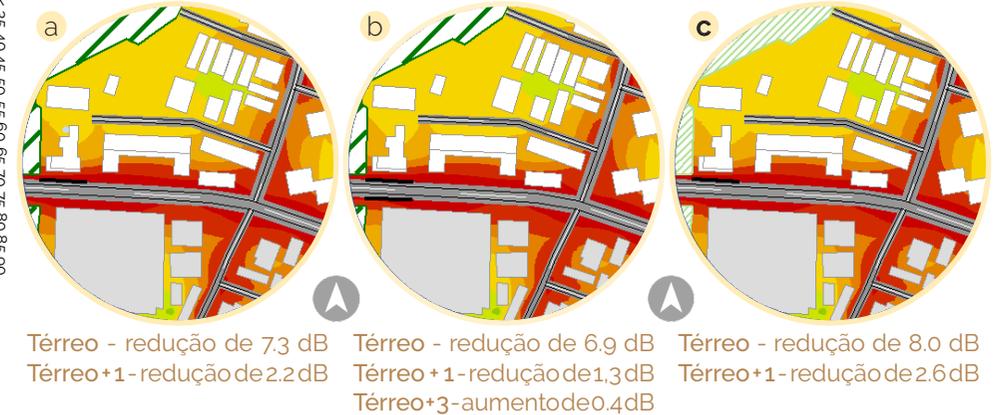
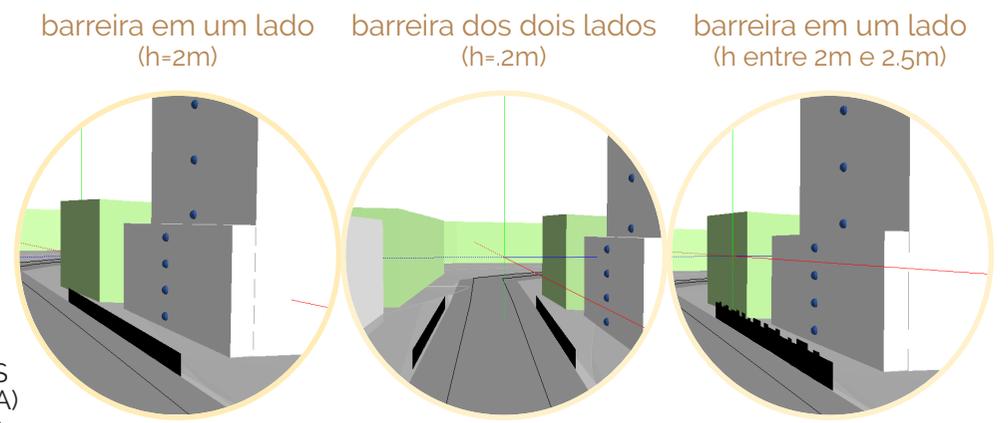
Fonte: elaborado pela autora, 2020

15 INSERÇÃO DE BARREIRA ACÚSTICA

Em frente ao edifício multifamiliar residencial (uso sensível)

Já a inserção de barreira acústica foi adotada pois a área em questão apresentou níveis de pressão sonora muito elevados, necessitando de estratégias mais efetivas, como é o caso das barreiras. Visto que nessa área as edificações não apresentam grande distanciamento da via, a barreira acústica, como um elemento esbelto, se mostrou uma boa opção.

Como já explicado, a eficácia da barreira depende basicamente de 3 fatores, sua altura, seu material e sua massa. Entretanto, a versão do software utilizado não permitiu a edição de materiais, possibilitando apenas alterações relacionadas ao posicionamento e a altura. Assim, dentre as várias opções simuladas para essa estratégia, destacam-se a 3 situações seguintes:



Fonte: elaborado pela autora, 2020

- a. Na primeira, a barreira com 2m de altura foi posicionada apenas em um lado da via, nesse caso, do lado do edifício residencial destacado.
- b. Na segunda, foram posicionadas 2 barreiras, ambas com 2m de altura, nos dois lados da via, opção que se mostrou menos eficaz que a primeira, proporcionando inclusive um pequeno aumento de ruído.
- c. E finalmente, na terceira, foi posicionada barreira apenas em um lado da via, no entanto, com altura variando entre 2m e 2.5m, buscando trazer movimento para esse elemento. Além disso, a fim de minimizar o impacto visual negativo que uma barreira dessa altura sem nenhum tratamento poderia ocasionar, propõe-se que os módulos com altura de 2,5m possam ser utilizados como jardim vertical, que embora não contribua diretamente para grandes reduções físicas do ruído, diminui a percepção das pessoas acerca desse tipo de poluição (VAN RENTERGHEM, 2019) . E os demais módulos utilizados como mural urbano,

Figura 52 - Exemplo de barreira acústica com vegetação integrada



Fonte: Noise Barrier Design Guidelines

Ressalta-se que a área apresenta grande fluxo de pedestres, o que indicaria o uso de barreira em material transparente, como vidro ou policarbonato. No entanto, o custo desses materiais ainda é elevado, assim como o risco de depredação.

Além dessas duas estratégias já detalhadas, foram simuladas na área mais duas outras medidas, citadas abaixo. No entanto, como essas medidas também foram adotadas em outras áreas, a fim de não tornar o trabalho repetitivo, optou-se por não detalhá-las aqui e sim, posteriormente.

1c REDUÇÃO DA VELOCIDADE DE CIRCULAÇÃO Nas vias Emp. João Rodrigues Alves e demais asfaltadas

10c TROCA DO ASFALTO COMUM POR POROSO Nas vias Emp. João Rodrigues Alves e demais asfaltadas

6.1 ÁREA A COMBINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS

Retomando o que foi exposto no diagnóstico da área A, no edifício destacado como mais sensível, o NPS máximo encontrado na fachada chega a **72,4dB (p. matutino - térreo + 1 pav.)**, sendo necessária redução de **12,4dB** para atender ao limite diurno de 60dB previsto na NBR 10151 (2019) para áreas mistas com predominância de atividades comerciais/administrativas ¹.

Assim, devido a grande redução exigida, fica claro a necessidade de se adotar uma combinação das estratégias de mitigação anteriormente detalhadas, visto que suas reduções individuais, expostas no gráfico ao lado, não seriam suficientes.

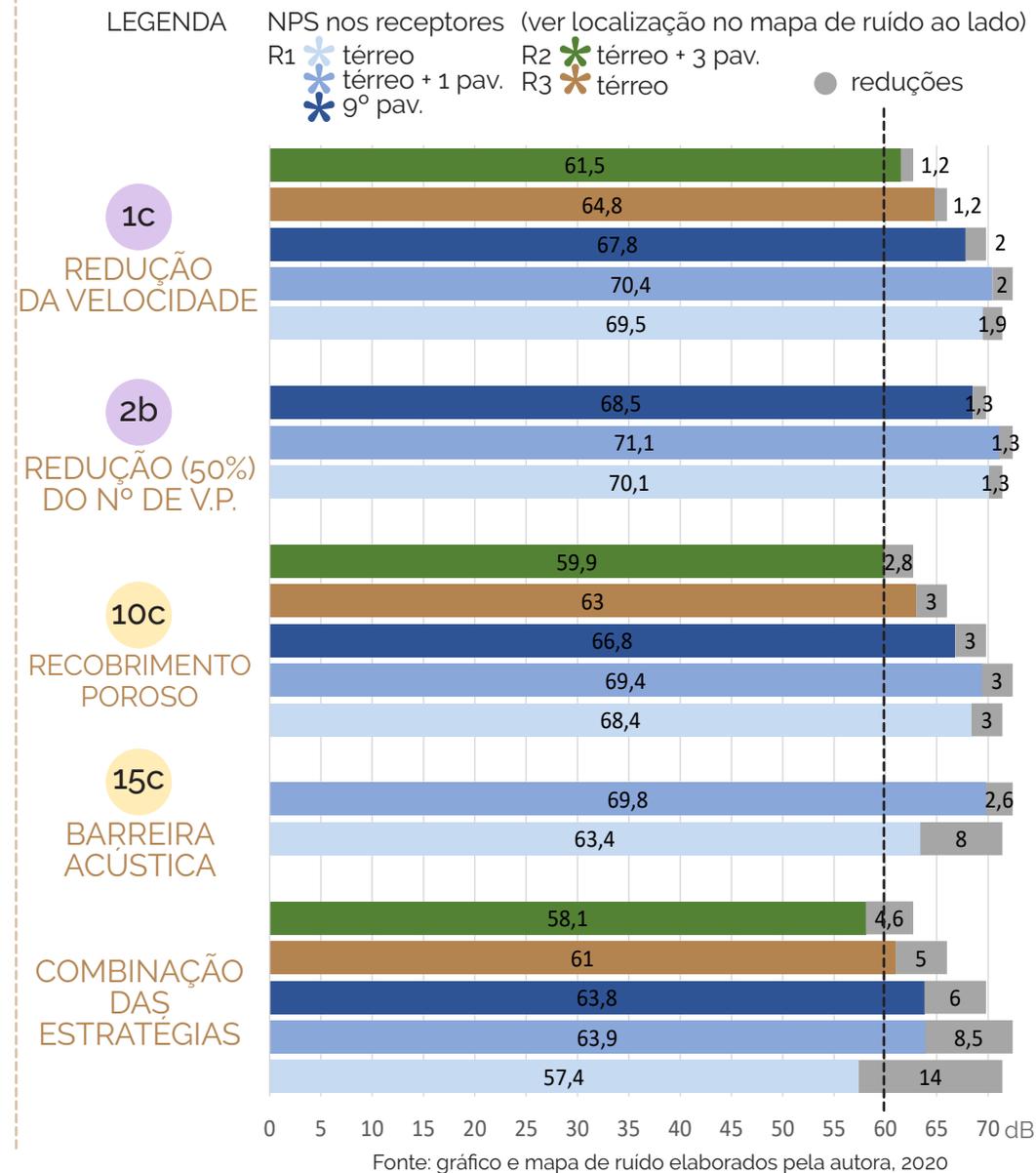
Então, combinando as 4 estratégias apresentadas, como também exposto no gráfico e no mapa de ruído ao lado, obteve-se redução satisfatória no térreo da edificação mais sensível (R1) e no pavimento mais crítico de outra edificação residencial (R2). Nos outros receptores ilustrados no gráfico a redução não alcançou o limite destacado (60dB), mas chegou bem próximo.

Conclui-se ainda que, dentre as estratégias simuladas, a inserção de barreira acústica foi a que apresentou maior atenuação, no entanto, pelo posicionamento, só atenuou o ruído na edificação sensível.

Relacionando esses valores de NPS que chegam nas fachadas com as classes de ruído apresentadas na NBR 15575 (2013), tem-se que a fachada mais exposta de R1 passou classe de ruído III para a classe II, (entre 61 e 65dB), na qual o nível mínimo de isolamento acústico deve ser maior ou igual a 25dB.

¹ Nas análises dessa e das demais áreas de intervenção, os valores referentes ao período vespertino (17:30h - 18:30h) não foram comparados com as normas, pois essas, na verdade, estabelecem limites período noturno (22:00h - 07:00h).

NPS ALCANÇADO COM A IMPLEMENTAÇÃO DA ESTRATÉGIA E RESPECTIVA REDUÇÃO



MAPA DE RUÍDO COM A COMBINAÇÃO DE ESTRATÉGIAS

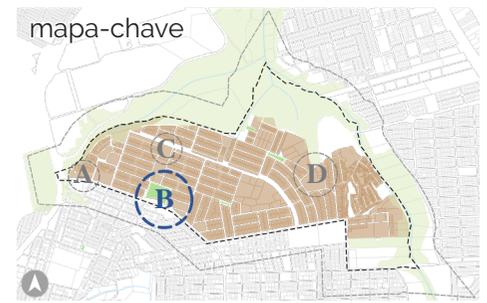
Considerando o exposto no gráfico e no mapa de ruído ao lado, que apresenta o resultado da combinação das estratégias propostas para a área que puderam ser simuladas, conclui-se que não só o edifício de uso mais sensível foi beneficiado com a atenuação do ruído, como todo o recorte, que teve sua zona limite (entre 60 e 65dB) ampliada e sua zona crítica (entre 70 e 75dB) bastante reduzida, não avançando para muito além dos limites da via.



21 UTILIZAÇÃO DE JANELAS ACÚSTICAS

Na fachada mais exposta do edifício destacado como sensível No entanto, como as medidas simuladas não foram suficientes para atenuar o nível de ruído em todos os pavimentos, propõe-se como medida extra a utilização de janelas acústicas. Essas deverão ter seu nível índice de redução sonora ponderado (Rw) variando de acordo com a necessidade de redução de cada pavimento, evitando superdimensionamento.

6.2 ÁREA B



Fonte: elaborado pela autora, 2020

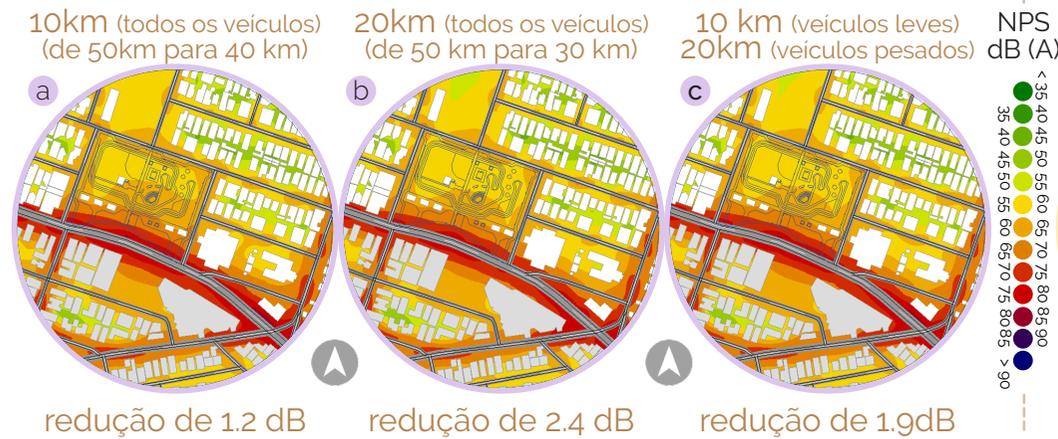
Para a área B, a partir do que foi discutido no diagnóstico do ruído, foram selecionadas 8 estratégias de mitigação, relacionadas a ações na fonte, no meio e no receptor, que a seguir serão melhor detalhadas

1 REDUÇÃO DA VELOCIDADE DE CIRCULAÇÃO Na via Empresário João Rodrigues Alves

Estratégia adotada pois, como visto na literatura, os veículos, em conjunto, constituem a maior fonte de poluição sonora em meio urbano. Assim, atuando diretamente na fonte, reduzindo somente a velocidade de circulação, sem alterar o fluxo, já se consegue certa atenuação.

Nesse sentido, considerando que a principal via da área é arterial, asfaltada e tem limite de velocidade fixado em 50km/h, destaca-se as 3 situações abaixo ilustradas.

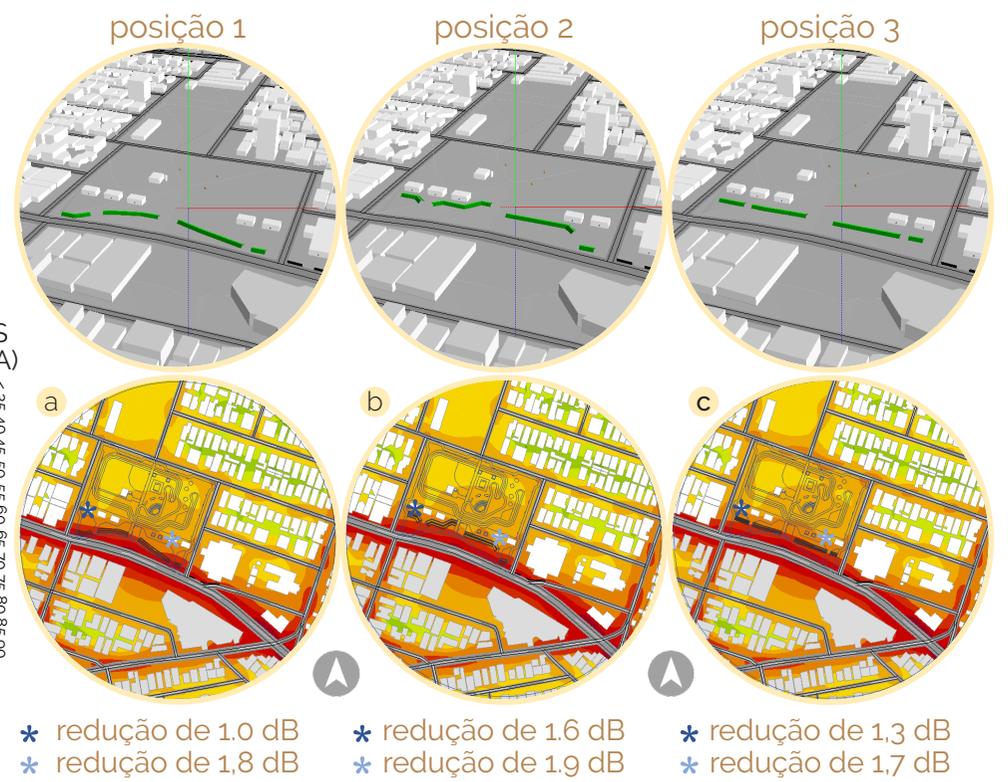
A solução "c", intermediária que combina as duas anteriores foi a alternativa escolhida.



Cabe ressaltar que na solução "c" também foi reduzida a velocidade da via coletora atrás da praça, de modo que não fosse superior a da via principal, evitando ocasionar um desvio de fluxo indesejado. A solução "a" não foi escolhida pela pouca eficácia, e a solução "b", embora tenha reduzido 2,4dB, também não foi escolhida pois implicaria numa velocidade de apenas 30km/h, considerada baixa para veículos leves em uma via arterial, podendo ocasionar lentidão devido ao alto fluxo contabilizado na via.

11 INSERÇÃO DE TALUDES

Na Praça da Paz
Trabalhando com uma área de praça, consideravelmente mais ampla, foi possível testar uma estratégia até então não simulada, a inserção de taludes. Estratégia essa, que se mostrou bastante adequada para a área por se integrar ao ambiente natural mais facilmente. Assim, considerando a via arterial como a principal fonte de ruído da área, foram simuladas diversas opções, dentre as quais destacam-se as 3 seguintes:



- a. Na primeira opção, foram posicionados taludes de 2m de altura, seguindo o traçado da calçada externa frontal da praça, que é mais sinuoso. Essa configuração, embora tenha gerado boa atenuação nos quiosques, entrou em conflito com a vegetação existente na praça.
- b. Na segunda opção, foram posicionados taludes também de 2m de altura, no entanto agora seguindo os caminhos internos já existentes na própria praça, o que tornou o posicionamento mais geométrico. A configuração também apresentou boa atenuação na área dos quiosques, no entanto, durante a análise percebeu-se que ela poderia prejudicar a ventilação da área, por conta da proximidade com os quiosques.
- c. Por fim, já na terceira opção, os taludes, também com 2m de altura, agora foram posicionados ao meio das áreas gramadas, e não nas bordas, como feito nas duas situações anteriores. Essa disposição, que foi a escolhida, além de não prejudicar tanto a ventilação da área, conseguiu desviar de várias árvores já existentes no local, o que, na prática, facilitaria sua implantação.

Ressalta-se que a altura de 2m foi adotada após testes de simulação com alturas inferiores apresentaram atenuação irrelevante. Acerca da largura do topo, as simulações revelaram que o parâmetro não tem grande influência na atenuação gerada, assim, por questões estéticas e de sustentação, a medida utilizada foi de 1m. No que diz respeito aos declives, os mais acentuados, como o de 1m, adotado na opção escolhida, mostrou-se mais eficaz que o de 2m, também simulado.

Além dessas duas estratégias já detalhadas, foram simuladas na área mais três outras medidas, citadas abaixo. No entanto, como essas medidas também foram adotadas em outras áreas, a fim de não tornar o trabalho repetitivo, optou-se por não detalhá-las aqui.

- 2b REDUÇÃO DO Nº DE VEÍCULOS PESADOS
Na via Empresário João Rodrigues Alves
- 10c TROCA DO ASFALTO COMUM POR POROSO
Nas vias Emp. João Rodrigues Alves e Derlópidas G. Neves
- 15 INSERÇÃO DE BARREIRA ACÚSTICA
Em frente a UPA - Bancários, com 2m de altura

6.2 ÁREA B

COMBINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS

Retomando o que foi exposto no diagnóstico da área B, no edifício destacado como mais sensível, o NPS máximo encontrada na fachada chega a **69,1 dB (p. matutino - térreo)**, sendo necessária redução de **9,1dB** para atender ao limite diurno de 60dB previsto na NBR 10151 (2019) para áreas mistas com predominância de atividades comerciais/administrativas.

Novamente, como a redução exigida é significativa, foi adotado um conjunto de estratégias de mitigação, citadas anteriormente, visto que suas reduções individuais, expostas no gráfico ao lado, não seriam suficientes.

Dessa forma, combinando as estratégias apresentadas, como também exposto no gráfico e no mapa de ruído, verifica-se que obteve-se redução satisfatória em 4 dos 5 receptores posicionados. O único receptor que ainda ultrapassou o limite de 60dB foi o localizado na fachada mais expostas da UPA.

Considerando isso, propõe-se a adoção 3 medidas extras, que não puderam ser simuladas em software, mas que auxiliariam nessa redução. São elas

03 COORDENAÇÃO DOS SEMÁFOROS

No semáforo logo em frente a praça

De modo a criar uma "onda verde", melhorando a fluidez da circulação, e evitando acelerações e desacelerações desnecessárias que implicam em aumento do ruído

16 MASCARAMENTO ATRAVÉS DE SONS AGRADÁVEIS

Na área da Praça da Paz

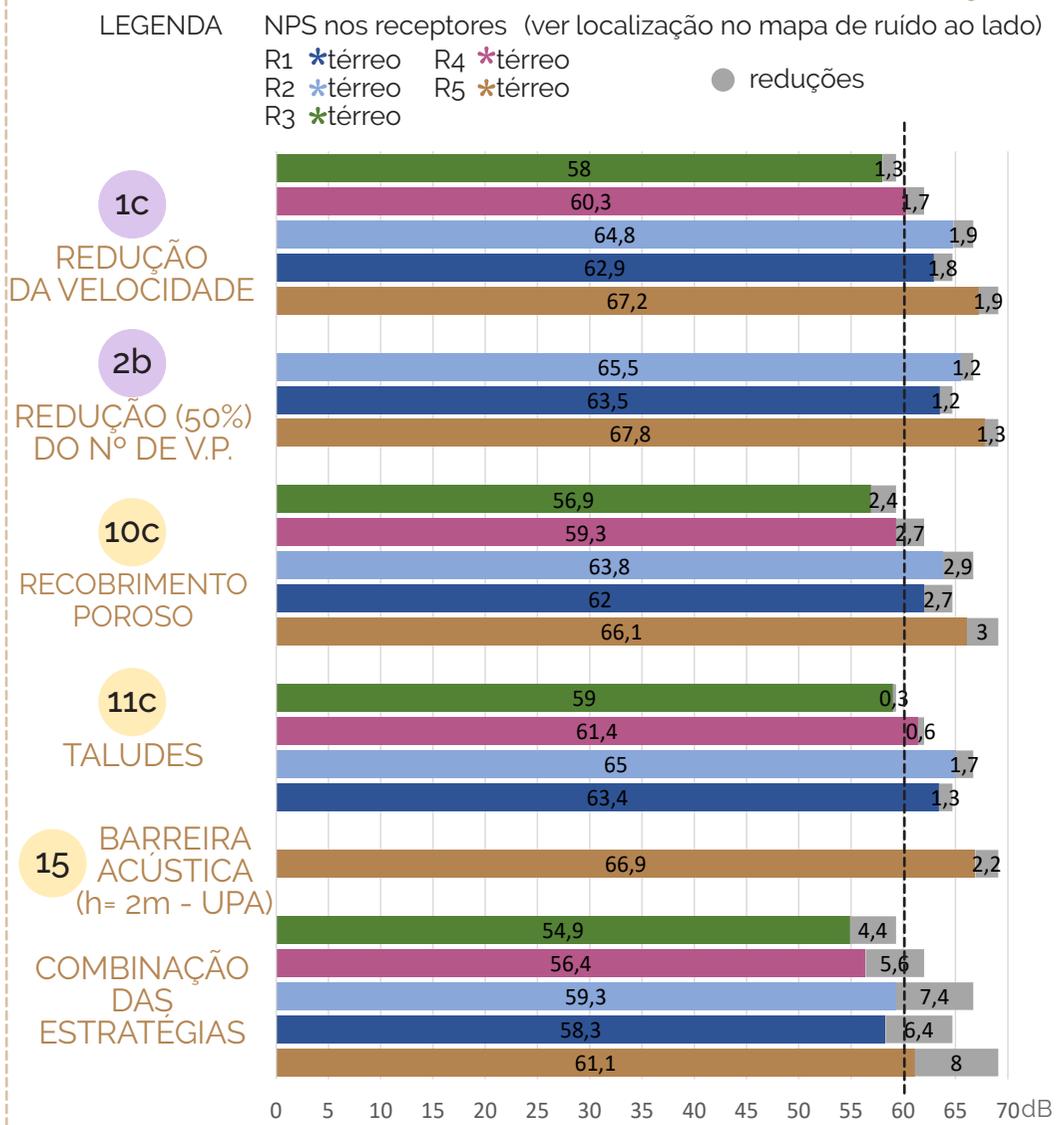
Através da implantação de fontes com água corrente, de modo que esse som agradável possa mascarar os ruídos incômodos.

21 UTILIZAÇÃO DE JANELAS ACÚSTICA

No edifício da UPA

Ao menos na fachada diretamente exposta e também em áreas de enfermaria e cirúrgicas, de forma a respeitar limites da NBR 10152.

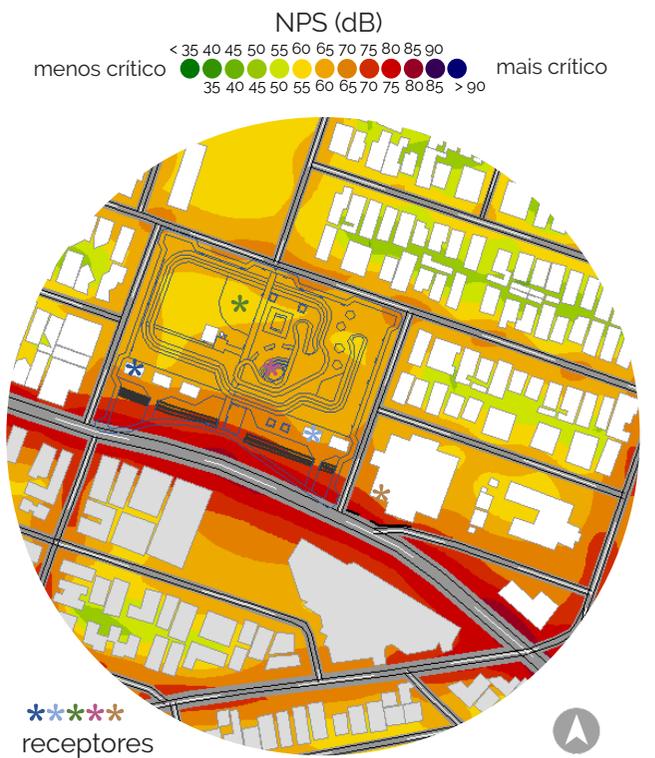
NPS ALCANÇADO COM A IMPLEMENTAÇÃO DA ESTRATÉGIA E RESPECTIVA REDUÇÃO



Fonte: gráfico e mapa de ruído elaborados pela autora, 2020

MAPA DE RUÍDO COM A COMBINAÇÃO DE ESTRATÉGIAS

Considerando o exposto no gráfico e no mapa de ruído ao lado, que apresenta o resultado da combinação das estratégias propostas para a área que puderam ser simuladas, conclui-se que a área sofreu redução do nível de ruído, com ampliação da zona entre 55 e 60dB (representada em amarelo). Destaca-se ainda que inserção dos taludes visivelmente conseguiu barrar a propagação do ruído mais intenso para o interior da praça, contribuindo para a construção de um ambiente acústico mais agradável. Mas ainda assim, identificam-se níveis de pressão sonora bastante elevados nas zonas imediatamente



adjacentes a via arterial. Dessa maneira, espera-se que as medidas extras sugeridas possam contribuir para a diminuição do ruído na área, que ainda é preocupante.

6.3 ÁREA C



Fonte: elaborado pela autora, 2020

Para a área C, a partir do que foi discutido no diagnóstico do ruído, foram selecionadas 5 estratégias de mitigação, relacionadas a ações na fonte, no meio e no receptor, que a seguir serão melhor detalhadas.

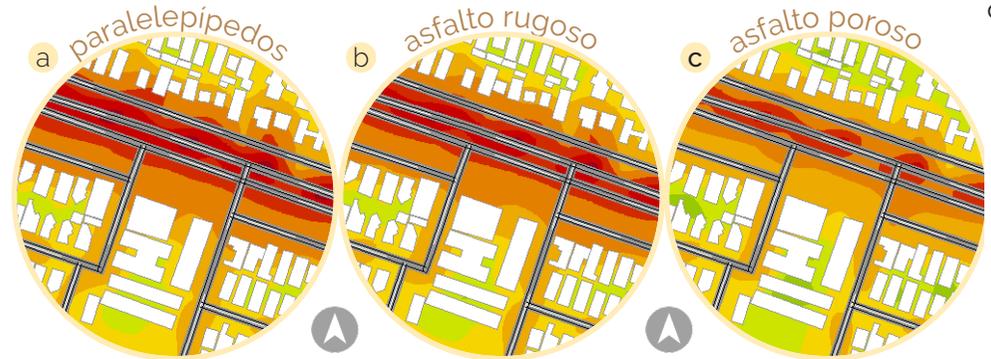
10 TROCA DO ASFALTO COMUM POR RECOBRIMENTO POROSO

Na via Bancário Waldemar de Mesquita Accioly - central

Estratégia adotada pois, como visto na literatura, o ruído advindo da interação entre pneus e superfície da via é um dos principais

Dessa forma, como já é claro que o recobrimento poroso é o mais eficaz dentre os recobrimentos disponíveis para utilização no software, optou-se por apresentar aqui também o comportamento de outros dois tipos de recobrimentos bastante comuns nas cidades brasileiras, a fim de compará-los, além de quantificar sua influência no ruído.

Assim, a situação "a" representa o ruído da área com a troca do recobrimento asfáltico comum da via coletora por paralelepípedos, mantendo-se inalteradas as demais condições, o que resultou em acréscimo de 2.8dB.



aumento de 2.8 dB aumento de 1.9 dB redução de 2.6 dB

Já a situação "b" representa o ruído da área com a utilização de recobrimento asfáltico rugoso, também mantendo todas as demais características, o que resultou em um acréscimo de 1,9dB, mostrando-se quase 1dB menos ruidoso que os paralelepípedos.

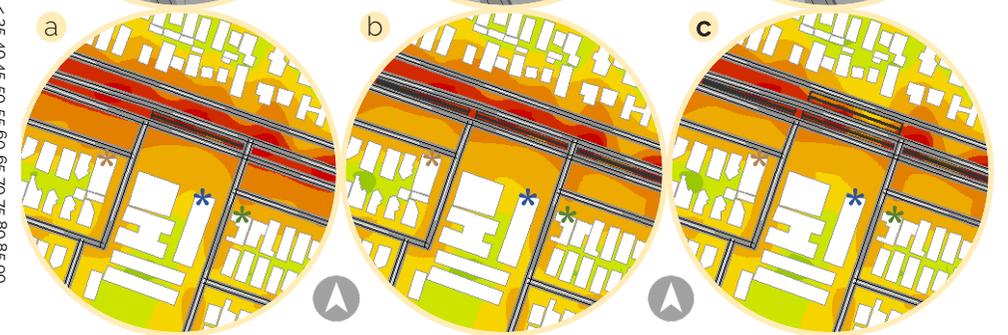
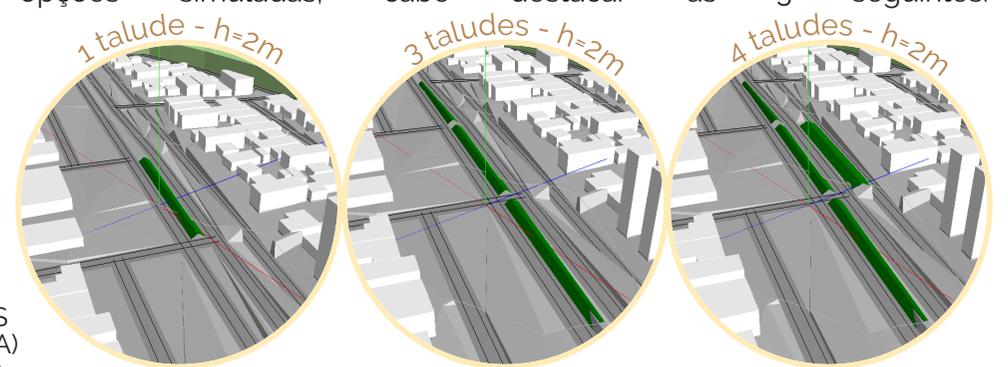
E por fim a situação "c", que representa o ruído na área com a utilização do recobrimento poroso, na qual se verificou atenuação de 2,6dB em todos os receptores locados, demonstrando a eficácia da solução tanto em comparação ao asfalto comum encontrado na área quanto em relação aos outros dois recobrimentos simulados.

11 INSERÇÃO DE TALUDES

Entre as 3 vias

Considerando o bom espaço de canteiro que separa as 3 vias entre si e também as edificações do entorno, novamente aplicou-se a estratégia de inserção de taludes, no entanto, dessa vez margeando as vias.

Acerca dessa estratégia, dentre as opções simuladas, cabe destacar as 3 seguintes:



* redução de 1.5 dB * redução de 2.6 dB * redução de 2.9 dB
* redução de 0.7 dB * redução de 1.9 dB * redução de 2.1 dB
* redução de 0.5 dB * redução de 2.1 dB * redução de 2.2 dB

- a. Na primeira, foi posicionado exatamente em frente a fachada mais exposta da escola apenas 1 talude, entre a via principal e a local, com 2m de altura, declives de 1,25m e topo com largura de 1m. A solução atenuou em 1,5dB o ruído que chegava na fachada da escola, no entanto não foi muito eficaz em relação aos outros receptores (representados pelos asteriscos marrom e verde).
- b. Na segunda, foram acrescentadas a esse talude dois outros com as mesmas características, no entanto posicionados em frente aos receptores até então desprotegidos. Nessa situação, houve aumento da atenuação em todos os receptores.
- c. E finalmente, na terceira, foi acrescentado mais um talude aos três já posicionados, também com 2m de altura, no entanto posicionado no canteiro do lado oposto, mas seguindo o alinhamento do primeiro talude proposto. Nessa configuração, foi criada uma zona de amortecimento na área que concentra os dois taludes, acarretando aumento da atenuação em todos os receptores, e pela análise do mapa, beneficiando também as edificações do lado oposto ao da escola.

Ressalta-se que essa estratégia implicaria em um remanejamento das espécies arbóreas existentes na área, uma vez que as simulações revelaram que o posicionamento dos taludes o mais próximo da via se faz necessário para sua melhor eficácia acústica. No entanto, como mesmo com a implantação dessa estratégia ainda resta grande distância entre as vias e as edificações, toda essa área poderia ser arborizada

Além dessas duas estratégias já detalhadas, foram simuladas na área mais duas outras medidas, citadas abaixo, que por terem sido adotadas e explicadas nas áreas anteriores, optou-se por não detalhá-las aqui.

1c REDUÇÃO DA VELOCIDADE DE CIRCULAÇÃO
Na via Bancário Waldemar de Mesquita Accioly - central

2b REDUÇÃO DO Nº DE VEÍCULOS PESADOS
Na via Bancário Waldemar de Mesquita Accioly - central

6.3 ÁREA C

COMBINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS

Retomando o que foi exposto no diagnóstico da área C, no edifício destacado como mais sensível, o NPS máximo encontrado na fachada chega a **61dB** (p. matutino - térreo), sendo necessária redução de **11dB** para atender ao limite diurno de 50dB previsto na NBR 10151 (2019) para áreas estritamente residenciais urbanas, de hospitais ou escolas.

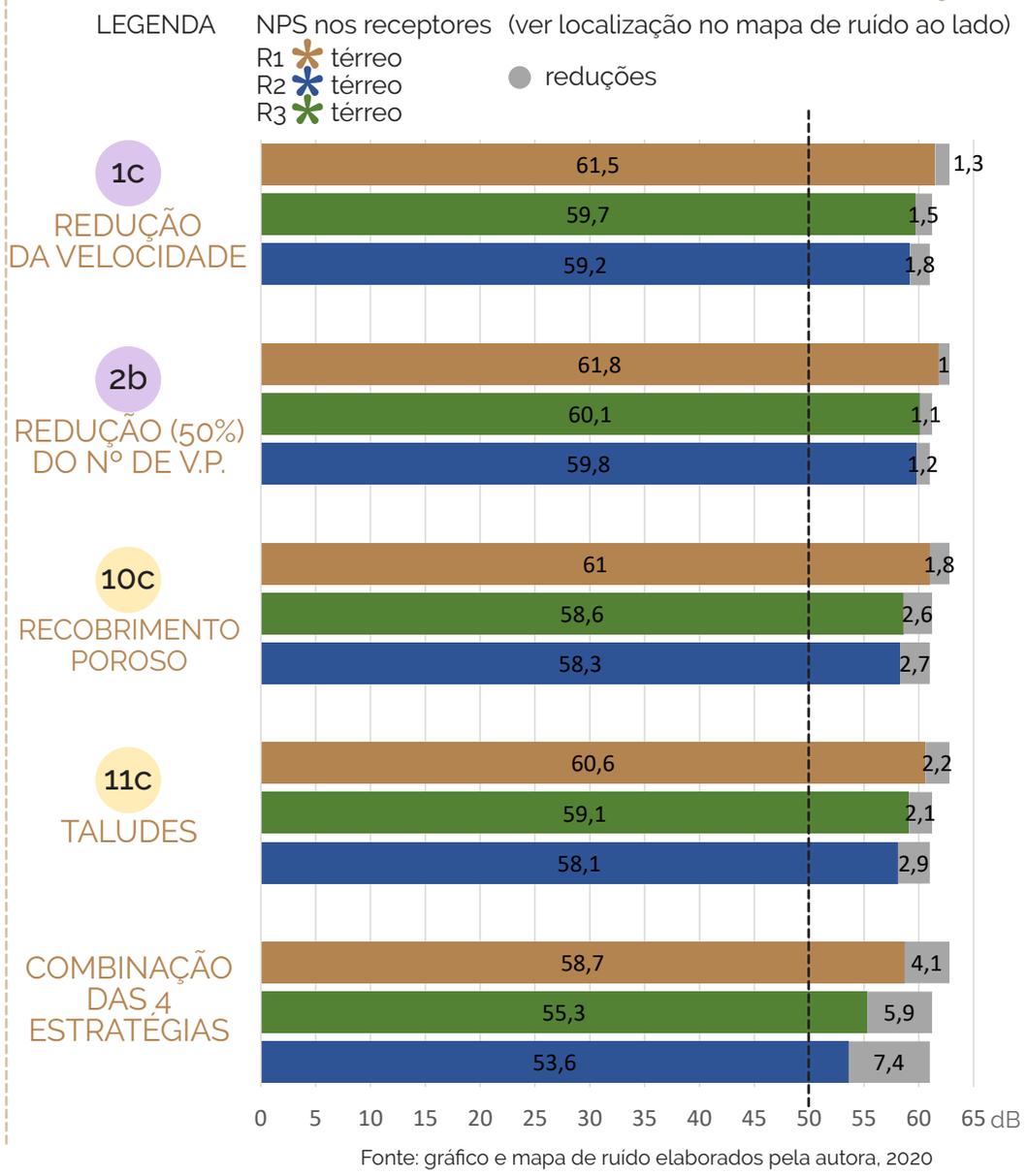
Assim, devido a grande redução exigida, fica claro a necessidade de se adotar uma combinação das estratégias de mitigação anteriormente detalhadas, visto que suas reduções individuais, expostas no gráfico ao lado, não seriam suficientes.

Então, combinando as 4 estratégias apresentadas, como também exposto no gráfico e no mapa de ruído ao lado, obteve-se redução satisfatória no térreo da edificação mais sensível (R1) e no pavimento mais crítico de outra edificação residencial (R2). Nos outros receptores ilustrados no gráfico a redução não alcançou o limite destacado (60dB), mas chegou bem próximo.

Conclui-se ainda que, dentre as estratégias simuladas, a inserção de taludes e a troca do revestimento existente por revestimento poroso foram as estratégias que apresentaram maior atenuação na área. Ainda assim, é interessante perceber que, como o fluxo da principal via da área, que é uma coletora, é quase metade do fluxo da principal via arterial do bairro, vista nas duas áreas de intervenção anteriores, a capacidade de atenuação da estratégia de colocação do revestimento poroso também foi reduzida, demonstrando clara relação entre esses dois aspectos.

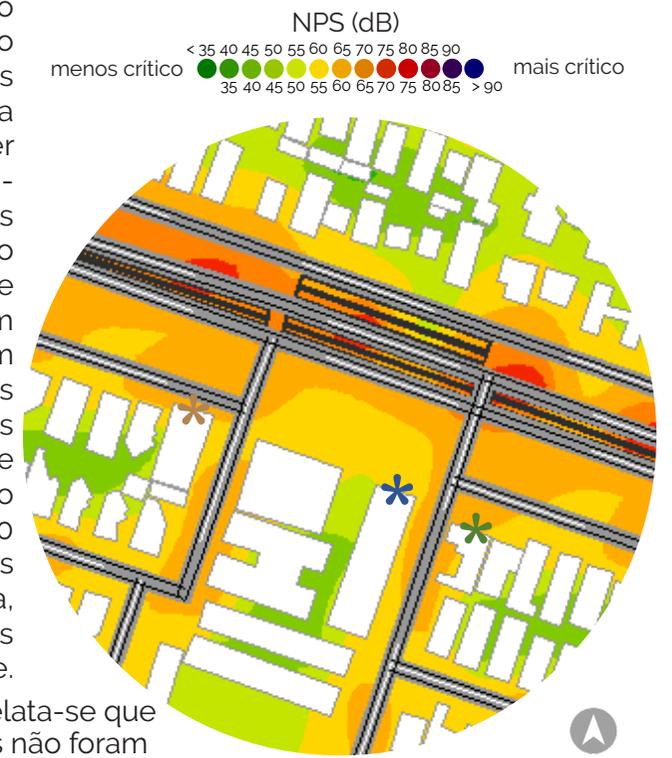
Relacionando esses valores de NPS que chegam nas fachadas com as classes de ruído apresentadas na NBR 15575 (2013), tem-se que a fachada mais exposta de R2 passou da classe de ruído II para a classe I, (menor ou igual a 60dB), na qual o nível mínimo de isolamento acústico deve ser maior ou igual a 20dB.

NPS ALCANÇADO COM A IMPLEMENTAÇÃO DA ESTRATÉGIA E RESPECTIVA REDUÇÃO



Considerando o exposto no gráfico e no mapa de ruído ao lado, que apresenta o resultado da combinação das estratégias propostas para a área que puderam ser simuladas, conclui-se que as zonas críticas (nesse caso entre 70 e 75dB) que antes englobavam as três vias foram visivelmente reduzidas a pequenas manchas isoladas. Nota-se também, avanço das zonas entre 50 e 55 dB e das zonas de sombra acústica, representadas pelos tons de verde.

MAPA DE RUÍDO COM A COMBINAÇÃO DE ESTRATÉGIAS

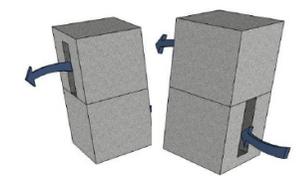


Ainda assim, relata-se que as medidas simuladas não foram suficientes para atenuar o nível de ruído desejado para que a escola se enquadrasse dentro do limite normativo. Dessa maneira, propõe-se a adoção da medida extra abaixo, que não pode ser simulada.

22 VEDAÇÕES COM BAIXA CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO

No edifício da escola, na fachada mais exposta

Substituição dos tradicionais cobogós existentes na fachada mais exposta da escola por cobogós acústicos, elementos vazados, mas que tiveram seu formato alterado, permitindo isolamento acústico semelhante ao das paredes fechadas de alvenaria.



Fonte: ARAÚJO, 2010

6.4 ÁREA D



Fonte: elaborado pela autora, 2020

Para a área D, a partir do que foi discutido no diagnóstico do ruído, foram selecionadas 8 estratégias de mitigação, relacionadas a ações na fonte, no meio e no receptor, que a seguir serão melhor detalhadas.

Nessa área, optou-se por intervir principalmente através da utilização do lote vazio, com a proposição de ocupação por edificações de múltiplos pavimentos, considerando que

vários lotes próximos tem sido ocupados de tal forma, no entanto, sem observar questões relacionadas a acústica urbana. Assim, destaca-se ao lado as duas estratégias escolhidas que permitiram simulação computacional, são elas a implantação das edificações considerando a acústica local e a proposição de edificações escalonadas.

Sobre essa área, cabe salientar que, pertencendo a zona residencial 3, dentre os usos permitidos, identificou-se que o uso R5 (2) era o que permitia o maior nº de pavimentos, 6 ao total, divididos em pilotis, 4 pavimentos tipo e cobertura. Assim, esse foi o uso que balizou as estratégias de mitigação simuladas, tendo seus parâmetros urbanísticos respeitados em todas as configurações propostas (figura 00).

Além dessas duas estratégias detalhadas ao lado, foram simuladas na área mais três outras medidas, citadas abaixo.

Figura 46 - índices do lote
Área Total = 20.605 m²
Ocupação Máxima = 40%
Aproveitamento Máximo = 1,5
Afastamentos mínimos - frente: 5m - lateral: 4m - fundos: 3m



Fonte: elaborado pela autora, 2020

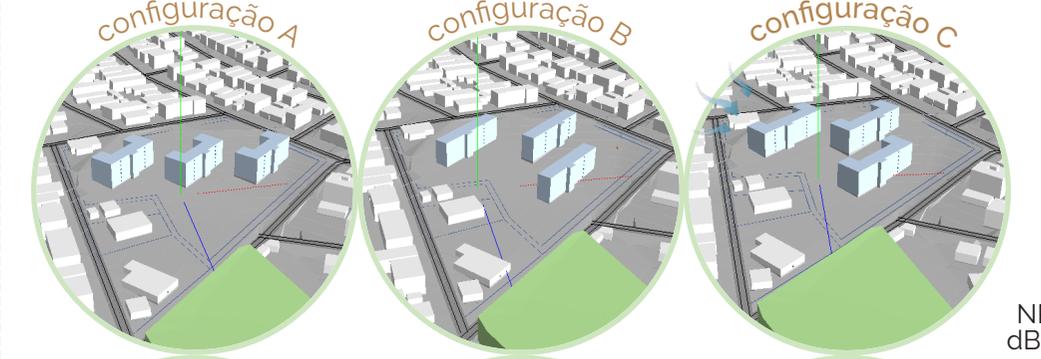
- 1C REDUÇÃO DA VELOCIDADE DE CIRCULAÇÃO**
Em 10km/h para V.L. e em 20km/h para V.P
- 2b REDUÇÃO DO Nº DE VEÍCULOS PESADOS**
Em 50%, que representa redução dos V.P. contabilizados de 48 para 24
- 10C TROCA DO ASFALTO COMUM POR POROSO**

A 1ª estratégia foi aplicada apenas na via Ten. Francisco de Assis Moreira, pois a via Eugênio Carneiro Monteiro já apresenta vel. reduzida. As outras duas estratégias foram aplicadas nessas duas vias.

17 IMPLANTAÇÃO CONSIDERANDO A ACÚSTICA Nas edificações propostas

Para essa estratégia, propõe-se a implantação de 3 edificações com 6 pavimentos cada (h=18m), seguindo as configurações ilustradas abaixo (A, B e C). Vale frisar que por questões de simplificação do próprio software, o pavimento térreo, que deveria ser pilotis, foi representado fechado, assim como os demais pavimentos tipo e a cobertura.

Na configuração "A", os edifícios foram posicionados paralelamente a maior fonte de ruído da área, criando uma fachada calma na parte posterior. No entanto, nessa implantação nem um dos edifícios fica na frente do outro, o que possibilita aproveitar melhor a ventilação predominante, mas dificulta o aproveitamento da sombra acústica pelos edifícios de trás. Assim, na configuração "B", o modo como os edifícios foram implantados favoreceu a formação de sombra acústica no meio do lote, protegendo os dois blocos mais recuados, que apresentaram NPS menos elevados. Além disso, com o distanciamento do primeiro bloco da área de esquina, mais ruidosa, houve redução de 1dB na fachada do térreo. Por fim, a configuração "C" seguiu a mesma disposição da "B", diferenciando-se apenas pela rotação dos apartamentos das extremidades. Modificação essa que resultou na ampliação da zona de sombra acústica entre 45 e 50dB.



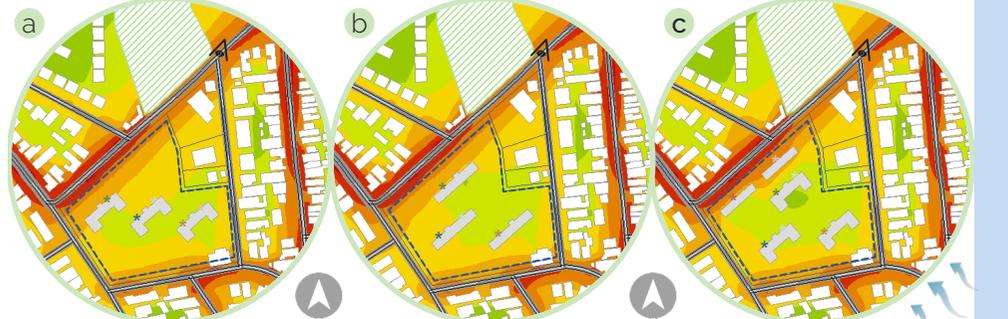
| | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| * NPS no térreo = 60.4 dB | * NPS no térreo = 59.4 dB | * NPS no térreo = 59.4 dB |
| * NPS no térreo = 52.0 dB | * NPS no térreo = 55.0 dB | * NPS no térreo = 55.1 dB |
| * NPS no térreo = 54.8 dB | * NPS no térreo = 52.8 dB | * NPS no térreo = 52.0 dB |
| * NPS no térreo = 49.9 dB | * NPS no térreo = 48.4 dB | * NPS no térreo = 47.9 dB |
| * NPS no térreo = 51.1 dB | * NPS no térreo = 48.7 dB | * NPS no térreo = 48.7 dB |

18 ESCALONAMENTO - Nas edificações propostas

Nessa estratégia, a intenção inicial era intervir diretamente em cada bloco, trabalhando com andares mais e menos recuados para formar o escalonamento. No entanto, novamente por limitações de modelagem do software, isso não foi possível.

Como alternativa, optou-se por seguir as implantações anteriormente simuladas, agora adicionando alturas variadas para cada bloco, a fim de verificar sua influência com relação as implantações.

Nas configurações A e B, foram adotadas as seguintes alturas: 12m para o bloco menos recuado, 15m para o intermediário e 18m para o mais recuado. Em ambas os resultados mostraram aumento do NPS nos últimos andares, comprovando que os edifícios mais recuados se beneficiavam da barreira formada pelos menos recuados e também que não foi atingido o posicionamento correto para que o gradiente de gabaritos funcionasse protegendo os edifícios através das sombras acústicas. Assim, na configuração C, optou-se por posicionar dois blocos de dois pavimentos (6m de altura) destinados a comércio/serviço, ou seja, menos sensíveis ao ruído, na área mais próxima a via principal, e outros três blocos residenciais, seguindo as mesma alturas indicadas nas outras configurações. Assim, obteve-se NPS mais baixos que na opção "c" da estratégia de implantação.



| | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| * NPS no térreo = 60.4 dB | * NPS no térreo = 59.4 dB | * NPS no térreo = 58.3 dB |
| * NPS no térreo = 52.2 dB | * NPS no térreo = 55.0 dB | * NPS no térreo = 58.5 dB |
| * NPS no térreo = 54.9 dB | * NPS no térreo = 52.9 dB | * NPS no térreo = 50.0 dB |
| * NPS no térreo = 50.0 dB | * NPS no térreo = 48.9 dB | * NPS no térreo = 48.3 dB |
| * NPS no térreo = 51.2 dB | * NPS no térreo = 48.9 dB | * NPS no térreo = 49.1 dB |
| | | * NPS no térreo = 48.6 dB |
| | | * NPS no térreo = 46.4 dB |

6.4 ÁREA D Pontua-se ainda que em todas as configurações o recuo frontal mínimo de 5m foi ampliado para 25m, exceto na configuração C da estratégia de escalonamento, na qual o recuo foi de 15m. Ressalta-se que distanciamentos muito inferiores trariam exposição a níveis de ruído mais elevados e contribuiriam para a formação de perfil U na via, o que deve ser evitado.

Em relação a insolação, destaca-se que o posicionamento paralelo a maior fonte de ruído da área expõe grande parte da fachada dos edifícios ao sol intenso. Assim, nesse sentido seria também necessária a adoção de medidas de proteção solar.

COMBINAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS

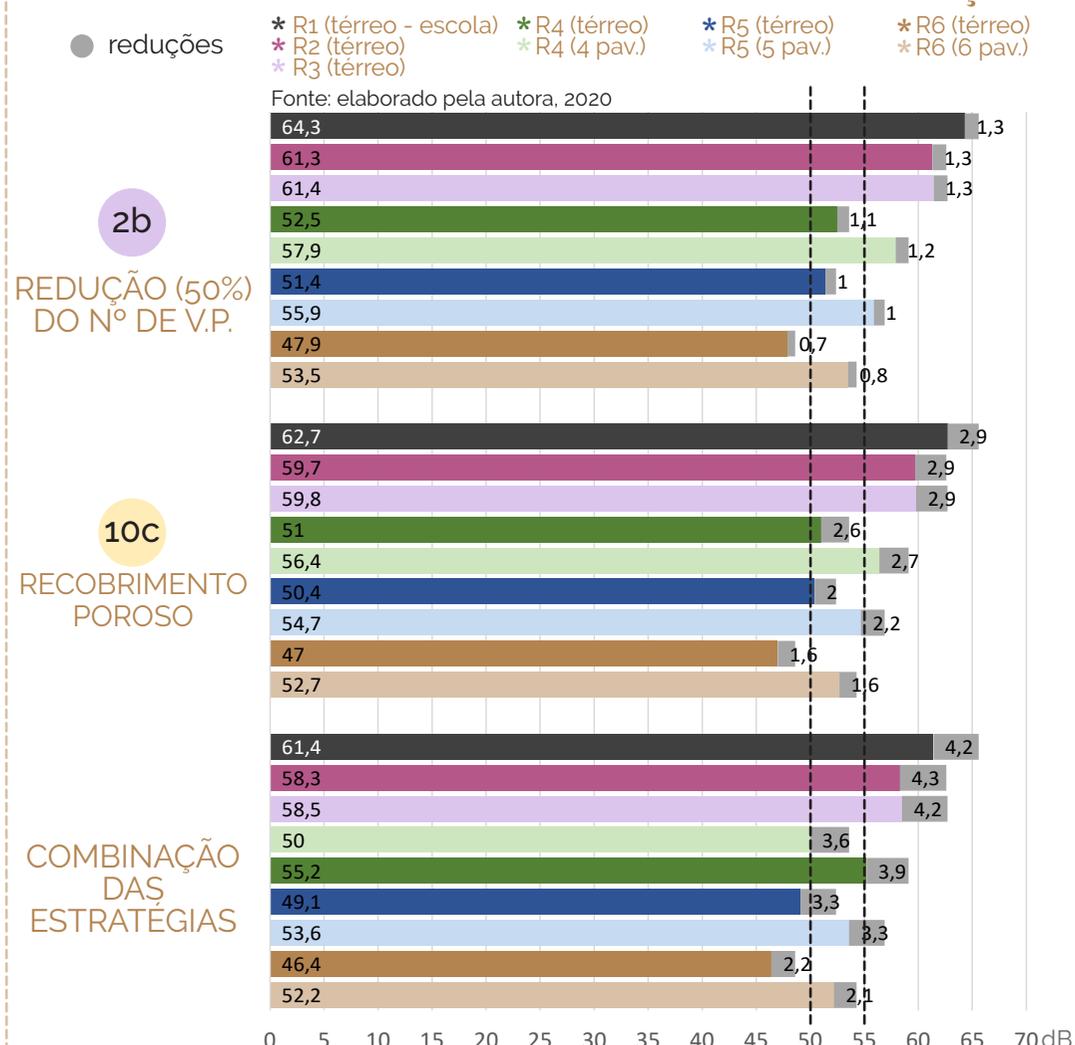
Retomando o que foi exposto no diagnóstico da área D, no edifício destacado como mais sensível, o NPS máximo encontrado na fachada chega a **65,6dB (p. matutino - térreo)**, sendo necessária redução de **15,7dB** para atender ao limite diurno de 50dB previsto na NBR 10151 (2019) para áreas estritamente residenciais urbanas, de hospitais ou escolas.

Cabe enfatizar que a visualização da propagação sonora seria facilitada através da produção de cortes, no entanto, a versão do *software* utilizada infelizmente não possui essa opção. Assim, para superar esse obstáculo, foram posicionados receptores pontuais em cada pavimento da fachada mais exposta de cada bloco. Os principais receptores encontram-se destacados no gráfico ao lado.

Analisando então o mapa de ruído e o gráfico ao lado percebe-se que embora os blocos residenciais propostos tenham todos registrado NPS abaixo do limite normativo (55dB), a combinação das estratégias de mitigação do ruído simuladas ainda não foi suficiente para atenuar o nível de ruído desejado para que a escola e os blocos de uso comercial e de serviço se enquadrasse dentro dos seus respectivos limites normativos. Dessa maneira, propõe-se a adoção das medidas extras abaixo.

- 19 **MATERIAIS NÃO REFLETORES NA FACHADA**
Nas fachadas mais expostas dos edifícios propostos e da escola
- 20 **SETORIZAÇÃO DOS AMBIENTES EM PLANTA**
Nos edifícios propostos
- 22 **UTILIZAÇÃO DE VEDAÇÕES COM BAIXA CAPACIDADE DE TRANSMISSÃO**
Nos edifícios propostos e na escola

NPS ALCANÇADO COM A IMPLEMENTAÇÃO DA ESTRATÉGIA E RESPECTIVA REDUÇÃO

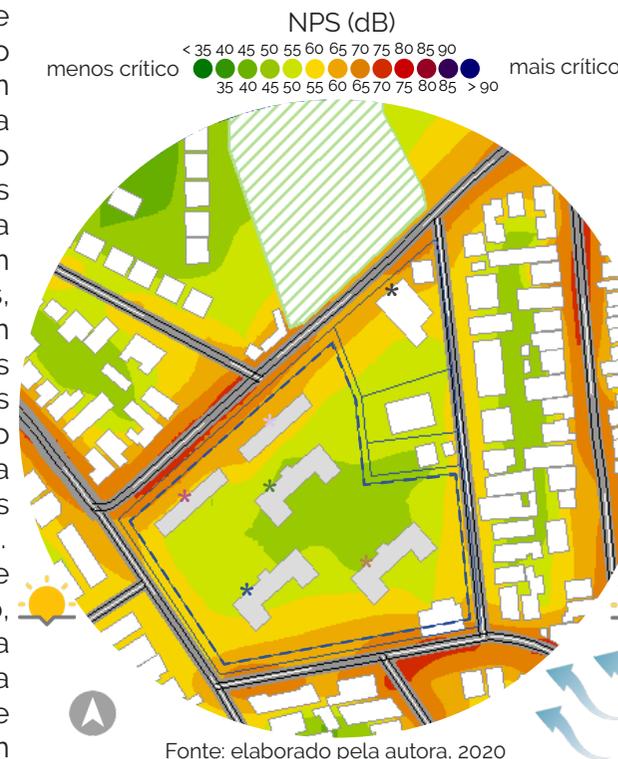


Para o gráfico, as reduções são referentes aos valores bases de NPS encontrados na configuração "C" da estratégia de escalonamento. A estratégia de redução da velocidade de circulação dos veículos não consta no gráfico pois não gerou redução nos receptores destacados, mas foi benéfica para outra região do recorte, por isso foi mantida.

MAPA DE RUÍDO COM A COMBINAÇÃO DE ESTRATÉGIAS

Considerando o exposto no gráfico e no mapa de ruído ao lado, que apresentam o resultado da combinação das estratégias propostas para a área que puderam ser simuladas, conclui-se que com a implantação das estratégias expostas os níveis de pressão sonora na área sofreram reduções bastante significativas.

No lote anteriormente vazio, que apresentava a maior parte de sua área na zona entre 55 e 60dB, com agravamento do ruído na esquina formada entre as vias coletoras, onde os níveis chegavam a faixa entre 70 e 75dB, com a implantação das medidas passou a registrar grande área de sombra acústica, com níveis entre 50 e



55dB. Isso posto, destaca-se a estratégia de implantação das edificações considerando o cenário acústico da área, como por exemplo, a localização da principal fonte de ruído, como de grande importância para que se alcance um ambiente urbano acusticamente mais saudável, o que demonstra também a relevância da acústica ainda nos estudos preliminares de projeto, e não somente após a finalização da construção, nos projetos de interiores, como é comum acontecer.

7.

**CONSIDERAÇÕES
FINAIS**

A proposta desse trabalho logo se mostrou bastante desafiadora. O estudo da acústica urbana revelou-se como um campo multidisciplinar, envolvendo conhecimentos relacionados não só a arquitetura e ao urbanismo, mas também a geografia, e as engenharias, especialmente a de tráfego.

Ressalta-se que os mapas de ruído elaborados tanto para o período matutino quanto para o vespertino revelaram resultados alarmantes acerca dos níveis de poluição sonora aos quais grande parte da população residente está diariamente exposta. E indicaram uma forte correlação entre o fluxo veicular e os níveis de pressão sonora.

Além disso, os resultados obtidos também mostraram que através das estratégias de mitigação do ruído explanadas no decorrer do presente trabalho é possível obter significativa atenuação do ruído urbano em territórios já consolidados, como visto no bairro estudado, todavia com algumas limitações que tornam as intervenções mais trabalhosas e onerosas.

No que diz respeito as fachadas, ficou evidente sua influência no meio urbano, demonstrando, por exemplo, que a definição de sua geometria e materiais são aspectos de suma importância para a construção de ambientes urbanos com melhor qualidade acústica.

Tais afirmações reforçam a importância de planejar edifícios, bairros e cidades que tenham a acústica também como uma prioridade, afinal, a poluição sonora já é questão de saúde pública.

Nesse caso, sugere-se que parâmetros urbanísticos como afastamentos, gabaritos e taxas de ocupação deveriam ser formulados tendo em vista a grande influência da morfologia urbana na propagação sonora, assim seria possível proporcionar maior controle e proteção do ruído incidente nas edificações e, sobretudo, nos receptores mais críticos.

Cabe destacar, que os resultados apresentados em mapas de ruído também estão diretamente ligados aos valores imobiliários, influenciando na (des) valorização de um imóvel.

Isso posto, observa-se que as informações geradas por esse estudo satisfazem o objetivo geral de elaborar cenários estratégicos de mitigação do ruído de tráfego para o bairro Bancários, com base no mapa de ruído do mesmo, bem como os objetivos específicos.

Registra-se aqui também a importância e o desafio de conciliar os desempenhos térmico e acústico, afinal o conforto ambiental engloba ambos.

Afirma-se ainda que, considerando que a principal fonte de ruído na área é o tráfego veicular, a tendência da situação

diagnosticada nos mapas de ruído do bairro, se nada for feito, é se agravar, já que dados do Detran/PB preveem aumento da frota circulante na capital paraibana de cerca de 77% nos próximos 10 anos (DETRAN/PB, 2020)

Dessa forma, espera-se que tal pesquisa sirva de incentivo a trabalhos futuros acerca do ruído urbano com a utilização de simuladores computacionais, bem como desperte discussões sobre revisões normativas nacionais e municipais, como a inserção da variável ruído na revisão do plano diretor, além de colaborar com os demais estudos acerca da poluição sonora nos bairros de João Pessoa através das estratégias de ação ao combate do ruído apresentadas.

Por fim, destaca-se que o presente trabalho evidenciou a importância da elaboração de mapas de ruído para análise e compreensão dos cenários sonoros, demonstrando que constituem importantes ferramentas para otimização do desempenho de medidas mitigadoras ao permitirem comparar diferentes soluções projetuais e avaliar cenários futuros gerados por intervenções urbanas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE – APA. **O ruído e a cidade**. Lisboa, 2004. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/o_rudo_e_a_cidade.pdf>. Acesso em: set. 2020.
- ALVES, L. et al. **Comparison of noise pollution complains concentration mapped in three capitals of Brazilian Northeast**. In: 22nd International Congress on Acoustics, 2016, Anais. Buenos Aires.
- ARAÚJO, B. **Proposta de elemento vazado acústico**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10151: Acústica — Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas — Aplicação de uso geral**. Rio de Janeiro, 2019.
- _____. **NBR 10152: Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos na edificação**. Rio de Janeiro, 2017.
- _____. **NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho. Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A QUALIDADE ACÚSTICA – PROACUSTICA. **Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho**. 3ª ed. São Paulo, 2017.
- _____. **Manual ProAcústica de acústica básica**. São Paulo, 2019.
- BISTAFA, Sylvio R. **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído**. 3ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2018.
- BRASIL. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm>. Acesso em: out. 2020.
- _____. **Resolução CONAMA nº. 001**, de 08 de março de 1990a. Dispõe sobre critério e padrões de emissão de ruídos, das atividades industriais. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 abr. 1990. Seção 1, p. 6408. Disponível em <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0190.html>>. Acesso em: out. 2020.
- _____. **Resolução CONAMA nº. 002**, de 08 de março de 1990b. Institui em caráter nacional o programa Nacional. Educação e Controle da Poluição Sonora - "SILÊNCIO". Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 abr. 1990. Seção 1. Disponível em <http://meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/RESOLUCOES_CONAMA.pdf>. Acesso em: out. 2020.
- _____. **Resolução CONAMA nº 272**, de 14 de setembro de 2000. Dispõe sobre os limites máximos de ruído para os veículos nacionais e importados em aceleração, exceto motocicletas, motonetas, ciclomotores e veículos assemelhados. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 jan. 2011. Seção 1. Disponível em: <http://www.rhisaambiental.com.br/resolucao_conama/CONAMA_RES_CONS_2000_272.pdf>. Acesso em: out. 2020.
- BRASILEIRO, T. *et al.* **Estado da arte dos mapas sonoros no Brasil**. In: 28º Congresso da Sociedade Brasileira de Acústica, 2018, Anais. Porto Alegre.
- BRASILEIRO, T. *et al.* **Concentration mapping of noise pollution complaints in João Pessoa – PB (Brazil) between 2012 and 2015**. In International Congress on Acoustics, 2016, anais... Buenos Aires.
- BRASILEIRO, T. **Mapeamento Sonoro: estudo do ruído urbano no bairro Castelo Branco, em João Pessoa/PB**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
- BRITO, A. **Tolerância Zero em Fortaleza**. Fortaleza: Premium, 2013.
- CARVALHO, Régio P. **Acústica Arquitetônica**. 2ª ed. Brasília: Thesaurus, 2010.

COSTA, M. S. **Mobilidade Urbana Sustentável**: um estudo comparativo e as bases do sistema de gestão para Brasil e Portugal. 2003. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

DETRAN - Departamento Estadual de Trânsito. **Evolução da frota geral de veículos da Paraíba**. João Pessoa, 2020. Disponível em: <<http://detran.pb.gov.br/estatisticas/evolucao-da-frota-geral-2000-a-2020.pdf/view>>. Acesso em: nov. 2020

DIRETIVA 2002/49/EC do Parlamento Europeu e do Conselho de 25 e junho de 2002, relativa à **Avaliação e Gestão do Ruído Ambiente**. Official Journal of the European Communities, p.12-25, 2002.

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

GARAVELLI, S. L.; MORAES, A. C.; NASCIMENTO, J. R. R.; NASCIMENTO, P. H. D. P.; MAROJA, A. M. **Mapa de ruído como ferramenta de gestão da poluição sonora**: Estudo de caso de Águas Claras-DF. 2010. Disponível em: <<http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/PDF/Paper377.pdf>>

GERGES, S. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 2ª ed. Santa Catarina: UFSC, 2000.

GUEDES, I. **Influência da Forma Urbana em Ambiente Sonoro: Um estudo no bairro de Jardins em Aracajú (SE)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

HANSON, D. I.; JAMES, R. S.; NESMITH, C.. **Tire/pavement noise study. Auburn**: NCAT - National Center for Asphalt Technology. Report n. 04-02, 2004.

HAIDER, M *et al.* **Silence Project**: Guidelines for low-noise road surface maintenance and rejuvenation, 2005.

JOÃO PESSOA. **Código do Meio Ambiente Municipal**, de 5 de agosto de 2002. SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE, institui o Código de

Meio Ambiente do Município de João Pessoa e dispõe sobre o Sistema Municipal de Meio Ambiente - SISMUMA. Disponível em: <http://antigo.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2012/03/codi_meio_ambi.pdf>. Acesso em: set. de 2020.

KANG, J. **Urban sound environment**. London and New York: Taylor & Francis, 2007.

KOTZEN, B; ENGLISH, C. **Environmental noise barriers** - A guide to their acoustic and visual design. London: E & FN SPON, 1999.

LICITRA, G; MEMOLI, G. **Limits and advantages of Good Practice Guide to Noise Mapping**. Paris: Euronoise, 2008. Disponível em: <<http://webistem.com/acoustics2008/acoustics2008/cd1/data/artic/es/002677.pdf>>. Acesso em: set. 2020.

LIMA, N. *et al.* **Mapeamento acústico do bairro dos Bancários, em João Pessoa/PB**. In: 27º encontro de iniciação científica da UFPB, 2019a, João Pessoa. Anais. João Pessoa: Editora UFPB, 2019.

LIMA, N. *et al.* **Mapa do ruído de tráfego veicular no bairro do Bessa, em João Pessoa/PB**. In: XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e XI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2019b, João Pessoa. Anais. Porto Alegre: ANTAC, 2019.

LISBOA. Câmara Municipal de. **Mapa de Ruído da Cidade de Lisboa - Resumo Não Técnico**, 2008. Disponível em <<http://home.fa.utl.pt/~camarinhas/r.pdf>> Acesso em: out. 2020.

LISBOA. Câmara Municipal de. **Plano de Ação de Ruído de Lisboa - Relatório**, 2014. Disponível em <https://www.lisboa.pt/fileadmin/cidade_temas/ambiente/qualidade_ambiental/documentos/PlanoAcaoRuidoLisboa.pdf> Acesso em: out. 2020.

MÉTODO ARQCONCURSO. Caderno esquematizado para concursos públicos. **Conforto Acústico - noções básicas**. 2020. Disponível em <<http://www.metodoarqconcurso.com.br>> Acesso em: set. 2020

MIYARA, F. **Ruido, arte y sociedad**. 1ª ed. Rosario: UNR Editora: Universidad Nacional de Rosario, 2013.

MORAES, E.; SIMON, F. **Atualización del Mapa Acústico de Belém a través de Método de Cálculo matemático Predictivo**. In: CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 6., 2008, Buenos Aires. Acta... Bueno Aires: Federación Iberoamericana de Acústica, 2008.

MURGEL, Eduardo. **Fundamentos de acústica ambiental**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2007. 131 p.

NAGEM, M. **Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e metodologia**. 2004. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

NAVARRO, W. **Estudo da paisagem sonora no projeto arquitetônico e no urbanismo**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015.

NIEMEYER, M. L. A. **Conforto acústico e térmico, em situação de verão, em ambiente urbano: uma proposta metodológica**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

OUIS, D. **Annoyance from road traffic noise: a review**. Journal of Environmental Psychology, 21, p. 101–120, 2001.

RÉGIS, R. *et al.* **Panorama do mapeamento do ruído de tráfego em João pessoa – PB**. In: IV Simpósio Futuro dos Centros das Cidades, 2020, João Pessoa.

SANTOS, L.; VALADO, F. **O Mapa de Ruído Municipal como Ferramenta de Planejamento**. Acústica 2004. Guimarães, Portugal, 2004. Disponível em: <<http://www.sea-acustica.es/Guimaraes04/ID162.pdf>> Acesso em: set. 2020.

SÃO PAULO. **Lei nº 16.499 de 22 de julho de 2016**. Mapeamento Acústico da Cidade de São Paulo. Disponível em:

<<http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-16499-de-20-de-julho-de-2016/detalhe>> Acesso em: out. 2020

SILVA, D. da. **Instrumentos de gestão de poluição sonora para a sustentabilidade das cidades brasileiras**. 616 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SOUZA, D. **Instrumentos de Gestão de Poluição Sonora para a Sustentabilidade das Cidades Brasileiras**. 2004. 289 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento energético) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SOUZA, D. **Mapeamento sonoro do ruído de tráfego rodoviário do bairro Imbuí, Salvador - BA**. 2012. 222 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.

SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-á-bá: Acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. São Carlos; EDUFSCAR, 2012

VAN RENTERGHEM, T. **Using vegetation to tackle environmental noise problems** – combining exposure level reduction and noise perception improvement. In: Internoise, 2019, anais... Madrid.

VENTURA, A. N.; VIVEIROS, E; COELHO, J. L. B; NEVES, M. m. (2008). **Uma contribuição para o aprimoramento do Estudo de Impacto de Vizinhanças: a gestão do ruído ambiental por mapeamento sonoro**. In: SOBRAC, 2008, Anais...Belo Horizonte.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for community noise**, 2017. Disponível em:<<http://www.who.int/docstore/peh/noise/gu>> Acesso em: set. 2020.