



CAROLINE PLECH GOMES DE BARROS

**O IMPACTO DO
RUÍDO DE
CANTEIRO DE OBRA
NA QUALIDADE
ACÚSTICA
DA CIRCUNVIZINHANÇA.**

**ESTUDO DE CASO: RECORTE DO BAIRRO DA JATIÚCA,
CIDADE DE MACEIÓ-AL**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO
MESTRADO EM DINÂMICAS DO ESPAÇO HABITADO (DEHA)

CAROLINE PLECH GOMES DE BARROS

**O IMPACTO DO RUÍDO DE CANTEIRO DE OBRA NA
QUALIDADE ACÚSTICA DA CIRCUNVIZINHANÇA.**
ESTUDO DE CASO: RECORTE DO BAIRRO DA JATIÚCA, CIDADE DE MACEIÓ-AL.

Maceió
2016

CAROLINE PLECH GOMES DE BARROS

**O IMPACTO DO RUÍDO DE CANTEIRO DE OBRA NA
QUALIDADE ACÚSTICA DA CIRCUNVIZINHANÇA.
ESTUDO DE CASO: RECORTE DO BAIRRO DA JATIÚCA, CIDADE DE MACEIÓ-AL.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, exigida para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

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

Maceió
2016

CAROLINE PLECH GOMES DE BARROS

**O IMPACTO DO RUÍDO DE CANTEIRO DE OBRA NA
QUALIDADE ACÚSTICA DA CIRCUNVIZINHANÇA.**

ESTUDO DE CASO: RECORTE DO BAIRRO DA JATIÚCA, CIDADE DE MACEIÓ-AL.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas, exigida para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

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

Maceió
2016

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

- B277i Barros, Caroline Plech Gomes de.
 O impacto do ruído de canteiro de obra na qualidade acústica da circunvizinhança : estudo de caso: recorte do bairro da Jatiúca cidade de Maceió-AL / Caroline Plech Gomes de Barros. – 2016.
 126 f.: il.
- Orientadora: Maria Lúcia Gondim da Rosa Oiticica.
 Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2016.
- Bibliografia: f. 112-120.
 Apêndices: f. 121-126.
1. Construção civil – Maceió (AL) – Ruído. 2. Edificações urbanas – Ruído.
 3. Qualidade acústica. 4. Medição de ruído. 5. Perturbações sonoras. I. Título.

CDU: 725.41(813.5)

Folha de Aprovação

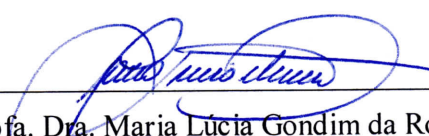
CAROLINE PLECH GOMES DE BARROS

**O IMPACTO DO RUÍDO DE CANTEIRO DE OBRA NA
QUALIDADE ACÚSTICA DA CIRCUNVIZINHANÇA.**

ESTUDO DE CASO: RECORTE DO BAIRRO DA JATIÚCA, CIDADE DE MACEIÓ-AL.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

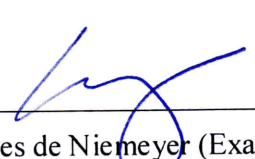
APROVADA em 05/08/2016



Profa. Dra. Maria Lúcia Gondim da Rosa Oiticica (Orientadora)

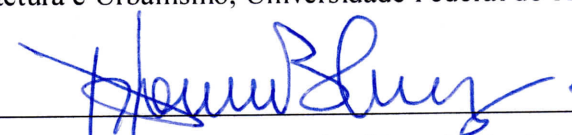
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas (Ufal)

Banca Examinadora:



Profa. Dra. Maria Lygia Alves de Niemeyer (Examinadora Externa)

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)



Prof. Dr. Dilson Batista Ferreira (Examinador Interno)

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas (UFAL)



Profa. Dra. Gianna Melo Barbirato (Examinadora Interna)

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Dedico este Mestrado aos meus pais, Marcus Vinícius e Maria das Graças; aos meus irmão e sobrinho, Marcus e João, e ao meu querido esposo Geraldo, que sempre me apoiaram nos meus estudos.

Dedico a vitória desta conquista, com todo o meu amor, a vocês.

AGRADECIMENTOS

À minha vovó Lita e aos meus pais, Nisso e Gracinha, meus principais incentivadores, que tanto torcem por mim a cada tentativa de crescimento profissional;

Ao meu irmão Marquinhos, meu auxiliar nas medições de campo, que, com muita paciência e bom humor, me ajudou a ser bem recebida nos lares que visitamos;

Ao meu Gel, que aguentou meu nervosismo e esteve presente nos momentos mais difíceis, me oferecendo suporte e incentivo com palavras de conforto, força e muito carinho. Obrigada pelos jantares-surpresa, para uma rápida fuga da minha ansiedade e tristeza, e também por, muitas vezes, me conduzir a pensar com mais objetividade nas soluções dos problemas;

À minha amiga-irmã Bruna Cabral, que se fez sempre presente, encontrando, nos poucos momentos disponíveis, espaço para uma rápida visita regada a café, apenas para ouvir meus ansiosos desabafos sobre as dificuldades no decorrer da dissertação;

À amiga Selma Bandeira, prestativa e parceira, o melhor presente que o Mestrado me proporcionou, com ótimos conselhos e se importando de verdade. Espero levá-la para sempre em minha vida profissional e pessoal. Seu crescimento é o meu também;

Agradeço a compreensão de pessoas queridas, família e amigos, quando minha presença em momentos especiais não foi possível;

À minha orientadora, Profa. Dra. Maria Lúcia Oiticica, por insistir que eu tentasse a seleção do Mestrado, por acreditar em mim quando nem eu mesma acreditava e por lutar pela minha vaga. Nunca me esquecerei disso, e te dedico o mais sincero agradecimento. Pela paciência, por “puxar minhas orelhas” quando foi preciso, por entender minhas limitações e por ressaltar minhas qualidades. E, é claro, por ter emprestado os equipamentos essenciais para o trabalho;

Muito obrigada à banca examinadora, pelas preciosas sugestões na etapa de qualificação;

Aos dois anjos que fizeram deste trabalho possível: o gentil Fabiano, que, muito solícito, abriu as portas do Edifício X, onde trabalhava, para que as medições pudessem ser feitas, e o professor nato e carinhosamente chamado de meu co-orientador, Gabriel Ressorio Campodonio, que me tirou todas as dúvidas possíveis sobre acústica e sobre os programas utilizados neste trabalho, sempre com muita atenção, disponibilidade e boa vontade de repassar conhecimento. Sem eles, o trabalhado não teria sido o mesmo, e por isso lhes sou eternamente grata;

Agradeço à Capes, pela bolsa concedida, e a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

La primera condición para cambiar la
realidad consiste en conocerla.

Eduardo Galeano, em *Las venas abiertas
de América Latina*, p. 341.

RESUMO

Devido ao crescimento acelerado das cidades e à valorização do capital influenciando na forma de construir em grandes centros urbanos, a sociedade passou a conviver com graves problemas ambientais que afetam diretamente os recursos naturais, a infraestrutura, as condicionantes urbanísticas da malha urbana e a ainda pouco valorizada qualidade sonora da região. A implantação de infraestrutura e serviços é exigida para a expansão das cidades, levando ao aumento de obras de construção civil, que, em seu cerne, são emissoras de ruídos contaminadores do meio em que se encontram. Desta forma, torna-se extremamente importante monitorar e avaliar o ambiente urbano, uma vez que ele influencia diretamente no estado geral da saúde da população. O presente trabalho tem como objetivo principal analisar o impacto gerado pelo ruído de canteiro de obra de um edifício multifamiliar, verificando de que maneira a interação entre as fontes sonoras da obra e a forma urbana exercem influência em determinado ambiente sonoro, tendo como estudo de caso uma porção da malha urbana localizada no bairro da Jatiúca, na cidade de Maceió, Alagoas, Brasil. Foram levantados dados físicos e as respectivas medições do Nível de Pressão Sonora da malha urbana com a obra ativa e inativa. O estudo foi baseado na aplicação de um software para mapeamento e predição acústica na qual se analisou, primeiramente, o cenário acústico atual e, em seguida, os cenários hipotéticos criados a partir de modificações das alturas e da taxa de ocupação dos prédios do entorno. Os resultados encontrados nas medições in loco sob a influência da obra ativa estavam acima do permitido pela norma brasileira vigente, NBR 10.151 e as simulações mostraram que as características físicas estudadas da forma urbana influenciam na propagação sonora ao ar livre e, por conseguinte, no ambiente sonoro de uma determinada região. Espera-se que este trabalho produza subsídios para futuras intervenções na área, fundamentando novos parâmetros de normas para a construção civil, acarretando uma influência no rumo do crescimento adequado da cidade e nas exigências para as novas construções.

Palavras-chave: qualidade acústica; ruído da construção civil; ruído urbano.

ABSTRACT

Due to the fast growth of cities, the society started to deal with serious environmental problems that affect directly the natural resources, infrastructure, urban conditions of the urban grid, and the still underrated sound quality of the region. Therefore, for the expansion of cities, the implementation of infrastructure and services is required, leading to increased construction works, which, in the center of the concept, are emitters of noise polluters in the environment. Under these circumstances, it is critical to monitor and evaluate the urban environment since it directly influences the general state of health. This study aims to analyze the sound impact generated by the noise produced by the construction site of a multifamily building, checking how the interaction between sound sources of the work and the urban form influences the soundscape, with a case study of a portion of the metropolitan area located in the neighborhood of Jatiúca, in the city of Maceió, Alagoas, Brazil. Physical data and measurements of the sound pressure level of the urban area during active and inactive construction were collected. The study was based on the application of software for mapping and acoustic prediction, which analyzed first the current sound setting and then the hypothetical scenarios created by changes in height, occupancy rate and number of inhabitants in the surrounding buildings. The results in measurements in situ under the influence of active work were above the permitted level by the applicable Brazilian standard, and the simulations showed that the physical traits of urban form influence the sound propagation outdoors and, therefore, the sound environment of a particular region. It is expected that this work produces benefits for future interventions in the area, creating new parameters of standards for construction, resulting in influence on the course of the proper growth of the city and the requirements for new buildings.

Keywords: quality acoustics; noise construction; urban noise.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura do trabalho.....	21
Figura 2 - Espaço Acústico Aberto.....	25
Figura 3 - Espaço Acústico Fechado	26
Figura 4 - Exemplo de via	27
Figura 5 - Pistas contínuas que favorecem o uso de quebra-molas e pistas com traçado descontínuo, respectivamente	28
Figura 6 - A rua, espaço acústico aberto	28
Figura 7 - Rua em “U”.....	29
Figura 8 - Rua em “L”	29
Figura 9 - (A) Solução de quadra mais exposta e (B) menos exposta ao ruído de tráfego	30
Figura 10 - Permeabilidade acústica.....	31
Figura 11 - Maior permeabilidade ao ruído da via (A) e menor permeabilidade ao ruído da via (B).....	31
Figura 12 - Representação esquemática das áreas utilizadas para o cálculo de índice de aproveitamento e taxa de ocupação	32
Figura 13 - Curvas de igual sensação sonora (isofônicas – Fons)/superfície de audição.....	43
Figura 14 - Curvas de ponderação resultantes da resposta do ouvido humano	43
Figura 15 - Escala da Ruidosidade Percebida desenvolvida por Kryter (1959).....	45
Figura 16 - Curvas Critério de Ruído Balanceadas (NCB)	50
Figura 17 - Licença do programa de Simulação Acústica Cadna-A	61
Figura 18 – Exemplo de visualização bidimensional (2D) no Cadna-A de diferentes escalas urbanas.....	63
Figura 19 - Exemplo de visualização em 3D de mapeamentos sonoros	63
Figura 20 - Fluxograma com procedimentos metodológicos a serem empregados na pesquisa	65
Figura 21 - Localização de Alagoas, Maceió e os bairros da cidade.....	67
Figura 22 - Limites do bairro da Jatiúca.....	68
Figura 23 - Primeira edificação no bairro da Jatiúca.....	69
Figura 24 - Primeiros conjuntos habitacionais do bairro da Jatiúca.....	69
Figura 25 - Zona Residencial em que Jatiúca está situada	70
Figura 26 - Mapa Macroestratégico (A) e Macrozoneamento (B) na revisão do plano diretor de 2016 em Maceió.....	71
Figura 27 - Zoneamento e uso do solo no bairro da Jatiúca	71
Figura 28 - Raio de visibilidade do Cone do Farol.....	72
Figura 29 - Edif. Barroca Figura 30 - Edif. Solar Graciliano Ramos em reforma	73
Figura 31 - Fração urbana selecionada para o presente estudo	74
Figura 32 - Recorte da área em estudo	77
Figura 33 - Localização das medições internas, vista externa.....	82
Figura 34 - Instrumentos utilizados para medição do nível de pressão sonora	82

Figura 35 - Distâncias entre as três medições realizadas em cada apartamento, de acordo com NBR 10.151	83
Figura 36 - Localização dos Pontos de medições do NPS externos ao canteiro de obra e Edifício X, com obra ativa e inativa	84
Figura 37 - Distância da medição externa de acordo com a NBR 10.151 (ABNT, 2000)	85
Figura 38 - Esquema dos Cenários 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e abreviaturas.....	89
Figura 39 - Espectro Sonoro das médias entre as três medições em cada apartamento analisado	92
Figura 40 - Histórico no Tempo da medição de cada apartamento analisado	92
Figura 41 - Curva NC dos apartamentos analisados	93
Figura 42 – Curvas <i>Noy</i> para os apartamentos 104, 504 e 904	96
Figura 43 - Curvas Isofônicas para os apartamentos 104, 504 e 904	96
Figura 44 - Histórico no tempo das medições externas com a obra inativa e ativa, respectivamente	98
Figura 45 - Curvas <i>Noy</i> para as medições externas, obra Ativa e Inativa no ponto 2	100
Figura 46 – Curvas Isofônicas para as medições externas, obra Ativa e Inativa no ponto 2 ..	100
Figura 47 - Avaliação da fachada do Edifício X nos diferentes Cenários propostos	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Impacto do ruído na saúde – volume/reação de efeitos negativos de exposição	39
Tabela 2 - Ruídos que incomodam segundo o sexo dos participantes	40
Tabela 3 - Nível de Avaliação NCA para ambientes externos em dB (A).....	49
Tabela 4 - Resposta estimada da comunidade ao ruído.....	49
Tabela 5 - Valores dB(A) e NC	49
Tabela 6 - Limite de utilização para várias atividades humanas em função das curvas NCB .	51
Tabela 7 - Níveis de pressão sonora correspondentes às curvas de avaliação (NC) em dB.....	51
Tabela 8 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente.....	52
Tabela 9 - Critério para Avaliação do Ruído em Ambientes, conforme a ANSI.....	57
Tabela 10 - Níveis limites de ruído, segundo a Organização Mundial da Saúde.....	57
Tabela 11 - Penalidades máximas em Hong Kong.....	58
Tabela 12 - Limite de exposição ocupacional ao ruído conforme as normas nacionais de diversos países	59
Tabela 13 - Parâmetros de cálculo globais usados nos modelos computacionais do estudo....	86
Tabela 14 - Medições Internas nos apartamentos 104, 504 e 904 com a obra ativa	92
Tabela 15 – Nível de pressão sonora interna dos apartamentos 104, 504 e 904 e as referências normativas.	94
Tabela 16 – Resultados das medições externas, com obra ativa e inativa.....	97
Tabela 17 - NPS por frequência de cada simulação nos 4 pontos demarcados na malha urbana	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Reações fisiológicas correlacionadas com níveis de ruído ambiente.....	41
Quadro 2 - Lista de abreviaturas para apresentação do levantamento de dados	75
Quadro 3 - Características morfológicas do recorte de estudo. Rua Luiz Lopes Agra	78
Quadro 4 - Características morfológicas do recorte de estudo. Rua Olidina Campos Teixeira	79
Quadro 5 - Características morfológicas do recorte de estudo. Rua Doutora Rosa Cabus	80
Quadro 6 - Características morfológicas do recorte de estudo. Rua José Alves Morgado.....	81
Quadros 7 - Mapas de propagação sonora da malha urbana nas simulações computacionais	102
Quadros 8 - Mapas de Conflito com a norma NBR 10.151 (ABNT,2000) nas simulações computacionais	103
Quadros 9 - Avaliação da fachada (Building Evalluation) e o Grid Vertical do Edifício X em cada Cenário	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
dB	Decibel
FUNDACENTRO	Fundação Jorge Duprat e Figueiredo - Saúde e Segurança do Trabalhador.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
ISSO	International Organization for Standardization
H	Altura dos edifícios estudados na pesquisa
LAeq	Nível de pressão sonora equivalente
LAmx	Valor máximo do nível de pressão sonora máximo
Lb	Nível de ruído de fundo
Lc	Níveis de ruído corrigido
NCA	Nível de critério de avaliação
NOY	Escala da Ruidosidade Percebida desenvolvida por Kryter
NPS	Nível de pressão sonora
NBR	Normas Brasileiras de Regulamentação
NR	Norma Regulamentadora
OMS	Organização Mundial de Saúde
Sempma	Secretaria Municipal de Proteção ao Meio Ambiente
T.O.	Taxa de Ocupação dos lotes dos edifícios estudados na pesquisa
UFAL	Universidade Federal de Alagoas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Objetivos	21
1.1.1	Objetivo Geral	21
1.1.2	Objetivos Específicos.....	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1	Ruído em Ambiente Urbano	22
2.1.1	Influência da Forma Urbana em Ambiente Sonoro	24
2.1.1.1	Tipos de Espaços Acústicos Urbanos	25
2.1.1.2	A Via	27
2.1.1.3	Formas da Rua	28
2.1.1.4	A Quadra	29
2.1.1.5	Permeabilidade	30
2.1.1.6	Massa Edificada Urbana e Níveis Sonoros	31
2.2	Ruído de Canteiro de Obra	33
2.3	Efeitos do Ruído sobre o Homem	34
2.3.1	Métodos de Grandeza Psicoacústica	42
2.3.1.1	Curvas Isofônicas	42
2.3.1.2	Curvas NOYs.....	44
2.4	Parametrização Acústica	46
2.4.1	Legislações federais	46
2.4.2	Normas Federais.....	48
2.4.3	Normas relacionadas ao Barulho de Construção	53
2.4.4	Normas Internacionais	55
2.5	Previsões de Cenários Futuros.....	60
2.5.1	Software Cadna-A®.....	61
3	MATERIAIS E MÉTODOS	65
3.1	A cidade de Maceió (AL)	66
3.1.1	O Bairro da Jatiúca – Maceió, Alagoas.....	68
3.1.2	A Evolução Urbana da Orla de Maceió <i>versus</i> Ruído Urbano	72
3.2	Seleção do Objeto em Estudo	74
3.3	Levantamento de Dados	75

3.3.1 Dados Físicos do entorno	76
3.3.2 Dados Acústicos – NPS Interno	82
3.3.3 Dados Acústicos – NPS Externo	83
3.4 Simulações de diferentes cenários da massa edificada	85
4 ANÁLISES E DIAGNÓSTICO	90
4.1 Diagnóstico da situação existente.....	90
4.1.1 Resultados e Análise do Nível de Pressão Sonora Interno	91
4.1.2 Resultados e Análise do Nível de Pressão Sonora Externo	97
4.2 Prognóstico e Análise das Simulações Acústicas	101
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
REFERÊNCIAS	112
APÊNDICE A	121

1 INTRODUÇÃO

Paga-se por quantidade; o preço é pela localização; [...] É lamentável que o carácter estritamente pessoal, reservado, da habitação, o valor inominável do silêncio e da privacidade, e a possibilidade de explorar o entorno maior da casa bucolicamente situada desapareceram. (BOLLNOW, 2008 p. 2).

A evolução e o crescimento das cidades acarretaram um aumento dos níveis de ruído urbano, um grande vilão para a população, uma vez que a poluição sonora está intimamente ligada à saúde. No ano de 2011, no ranking da Organização Mundial da Saúde (OMS – em inglês *World Health Organization* – WHO), a poluição sonora nas grandes cidades ultrapassou a da água e passou a ocupar o segundo lugar como maior causadora de doenças, ficando atrás somente da poluição atmosférica (FEDERAL, 2012).

A preocupação com os níveis de ruído ambiental não é nova: o tema é debatido desde o Congresso Mundial de Acústica, realizado na Austrália, em 1981, ocasião em que as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro passaram a ser consideradas como as de maiores níveis de ruído. Em 1989, o assunto começou a ser considerado como questão de saúde pública, após o congresso mundial sobre poluição sonora, realizado na Suécia (FERNANDES, 2005 p. 88).

Niemeyer (2007 p. 2) enfatiza a necessidade de um planejamento correto para o crescimento das cidades:

É no espaço urbano [...] que os problemas se manifestam de forma mais acentuada: altos níveis de urbanização e industrialização são, quase sempre, acompanhados pela degradação do meio ambiente. O descontrole sobre o processo de ocupação do solo urbano resulta em desconforto ambiental.

Marcondes (1999) também discorre sobre a degradação do meio ambiente, tornando-se ainda mais sério, principalmente nos chamados países de terceiro mundo. O acelerado crescimento demográfico e a expansão urbana das cidades brasileiras deixaram lacunas no processo de urbanização. O instrumento da política urbana brasileira, o Estatuto da Cidade, traz a garantia de cidades sustentáveis, em que o saneamento ambiental é um direito de todo e qualquer cidadão. Todavia, a inexistência, no Brasil, de um planejamento que associe o processo de urbanização e a implantação de infraestrutura urbana, promovendo melhor qualidade de vida¹ para a população, dissemina um tipo de ocupação incapaz de oferecer as condições mínimas de habitabilidade (SILVA J., 2011 p. 1).

¹ O termo “qualidade de vida” pode ser aplicado como o conjunto de condições para o bem-estar de um indivíduo ou conjunto de indivíduos, segundo o *Dicionário Priberam da Língua Portuguesa* (2016).

De acordo com Fernandes (2005), até nas cidades médias brasileiras, onde a qualidade de vida tende a ser resguardada, o ruído já demonstra níveis preocupantes, resultando em elaborações de leis que disciplinem a emissão de sons urbanos.

Numa visão mais ampla, o silêncio não deve ser encarado apenas como um fator determinante no conforto ambiental, mas deve ser visto como um direito do cidadão. O bem-estar da população não deve ser tratado apenas com projetos de isolamento acústico tecnicamente perfeitos, mas, além disso, exige uma visão crítica de todo o ambiente que vai receber a nova edificação. É necessária uma discussão a nível urbanístico. Outro conceito importante a ser discutido se refere às comunidades já assentadas ameaçadas pela poluição sonora de novas obras públicas. A transformação de uma tranquila rua em avenida, a construção de um aeroporto ou de uma auto-estrada, ou uma via elevada, podem elevar o ruído a níveis insuportáveis (FERNANDES, 2005 p. 88).

Em comparação com outros poluentes, o controle do ruído ambiental tem sido dificultado pelo pouco conhecimento dos seus efeitos nos seres humanos e da relação quantidade (dose) de ruído exposto *versus* a resposta do organismo do indivíduo, bem como uma falta de critérios definidos. Embora tenha sido sugerido que a poluição sonora é um problema de “luxo”² para os países desenvolvidos, não se pode ignorar que a exposição é, muitas vezes, maior em países em desenvolvimento, devido ao mau planejamento, aos processos de construção dos edifícios e à pouca educação urbana de seus habitantes. Os efeitos do ruído são generalizados e as consequências para a saúde, a longo prazo, têm as mesmas proporções. Nesta perspectiva, medidas concretas para limitar e controlar a exposição ao ruído ambiental são essenciais. Tal ação deve ser baseada numa correta avaliação científica dos dados disponíveis sobre efeitos, em particular as relações “dose-resposta” (WHO, 1999 p. 3).

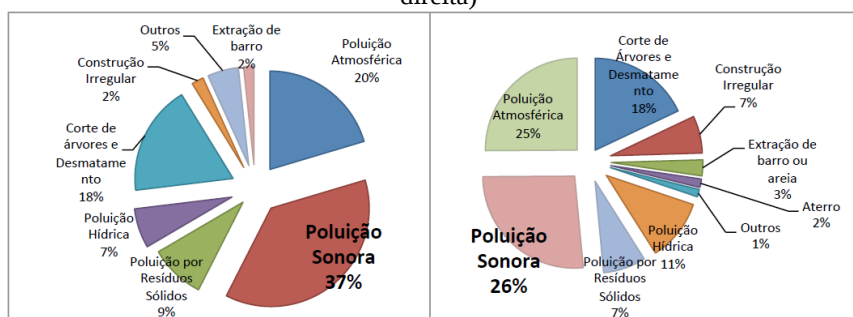
Schaffer (2011), estudando as paisagens sonoras das cidades, observou que, em níveis suficientemente elevados, os ruídos podem causar efeitos fisiológicos, psicológicos e mecânicos na saúde dos indivíduos envolvidos com o barulho no cotidiano.

Maciel, Garavelli e Silva (2008) descrevem a modelagem do ruído urbano como instrumento de gestão ambiental e afirmam que a poluição sonora apresenta-se como uma das principais causas da degradação da saúde do ser humano. No entanto, por ser inodora e incolor, a poluição sonora não recebe da sociedade a atenção necessária para ser combatida. Apenas quando o excesso de ruído começa a provocar incômodo acima do costumeiro é observado que as pessoas que se encontram nesses locais buscam por melhorias quanto a essa questão.

² De acordo com o *Dicionário Priberam da Língua Portuguesa* (2013), o termo “luxo” refere-se a um bem ou atividade que não é considerada necessária, mas gera conforto ou prazer.

Exemplificando essa situação, a pesquisa realizada por Alencar, Alves e Oiticica (2013) na cidade de Maceió demonstra um levantamento dos dados relacionados à poluição ambiental registrados pela Secretaria Municipal de Proteção ao Meio Ambiente (SEMPMA), nos anos de 2011 e 2012. Esse registro mostra que a maior parte das queixas da população é relativa à poluição sonora, tendo sido registradas 37% das reclamações em 2011 e 26% em 2012 (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Porcentagem dos tipos de denúncias registradas pela Sempma em 2011 (à esquerda) e 2012 (à direita)



Fonte: ALENCAR; ALVES; OITICICA (2013).

De acordo com as denúncias feitas à Sempma, em Maceió, a construção civil foi considerada a terceira maior fonte de ruído, ficando atrás somente das reclamações provenientes dos estabelecimentos comerciais, bares e restaurantes (ALENCAR et al., 2013).

Segundo Eniz e Garavelli (2006 p. 1), o ruído urbano é considerado umas das principais fontes de perturbação desses centros, e cada vez mais comum no dia a dia, invadindo residências, locais de trabalho, de lazer, hospitais e escolas, prejudicando as relações sociais, a comunicação, o comportamento, o rendimento escolar e, principalmente, a saúde. A malha urbana e como as edificações serão distribuídas nela são aspectos que merecem atenção redobrada, pois a ausência de considerações acústicas pode comprometer a qualidade e a inteligibilidade de comunicação, causando efeitos danosos na acústica, como ecos, ressonâncias e reverberação excessiva.

Cabe ressaltar que, nas cidades de clima tropical úmido, a necessidade de ventilar a malha urbana para garantir conforto térmico pode resultar em tipologias de forma urbana particularmente permeáveis ao ruído (NIEMEYER, 2007, p. 115). A geometria urbana é um fator que influencia o ambiente sonoro, pois interfere diretamente na propagação do som, através da volumetria das edificações, das alturas diferenciadas, das distâncias e dos recuos, além do perfil das vias e da malha viária (GUEDES; BERTOLI, 2005). A forma e o recuo das

edificações são fatores que podem provocar um incremento sonoro de mais de 3 dB(A) (BRIOSCHI, 2011).

Nas regiões de clima quente e úmido, Niemeyer (2007 p. 3) acrescenta que a melhoria da qualidade de vida dos habitantes de grandes centros urbanos não depende exclusivamente de edifícios corretamente planejados. A autora relembra a extrema importância da preocupação com a qualidade ambiental que o espaço construído precisa ter para superar os limites físicos do edifício,

abrangendo os espaços externos, públicos ou privados, onde não existe fronteira rígida interior-exterior: as janelas permanecem abertas a maior parte do dia e o uso de espaços abertos, como varandas, terraços ou pátios, é um traço muito presente na arquitetura (NIEMEYER, 2007, p. 3).

Desta forma, Niemeyer afirma que o conforto no interior do edifício está intimamente ligado às características microclimáticas e acústicas do entorno imediato.

Sobre a poluição sonora que penetra o interior das residências, Baring (1985, p.19-24) faz uma severa crítica à má utilização dessas técnicas construtivas modernas, quando aponta o crescimento do número de apartamentos construídos com materiais mais leves nas vedações, paredes e lajes, para aliviar fundações e diminuir custos, implicando um isolamento sonoro abaixo dos valores recomendados. Vale salientar que a implantação e a execução não correta destes materiais podem ser os principais causadores do desconforto acústico. Baring (1985) conclui, em sua análise, que um planejamento mal elaborado do crescimento da cidade pode trazer graves problemas acústicos, impactando desde os espaços comuns até o interior dos espaços privados.

A poluição sonora é responsável por vários problemas graves nos centros urbanos, principalmente nas comunidades próximas a aeroportos, rodovias, construções, indústrias e centros de lazer (SALIBA, 2014 p. 75). Entretanto, a acústica ambiental ainda é um tema pouco difundido na sociedade como um todo, cenário que vem se transformando ao passo em que aumentam os estudos e a formulação de políticas na área do ruído, uma vez que esse é um problema ambiental como qualquer outra forma de poluição, mas tem um ponto importante: só é percebido quando alcança níveis preocupantes, a ponto de interferir na saúde física ou mental de quem está exposto a ele (KROHN, 2012 p. 7).

Em geral, as cidades tendem a se expandir de forma acelerada. A valorização do capital influencia na forma de construir em grandes centros urbanos, afetando diretamente os recursos naturais, a infraestrutura, as condicionantes urbanísticas da malha urbana e a ainda pouco valorizada qualidade sonora da região. Dessa forma, a implantação de infraestrutura e

serviços é exigida para o crescimento das cidades, levando ao aumento de obras de construção civil que, em seu cerne, são emissoras de ruídos contaminadores do meio em que se encontram.

A construção civil é uma atividade de extremo potencial impactante ao meio ambiente e que tem efeitos nas comunidades, gerando impactos de curto prazo que ocorrem durante a construção, já que cada vez mais os equipamentos e as máquinas têm seu trabalho reduzido em tempo, para diminuir o custo da obra, elevando os níveis de ruído (LISBOA et al., 2012).

O desconforto proveniente dessas novas construções geralmente se localiza em regiões previamente diagnosticadas como tranquilas, como áreas residenciais; portanto, o ruído gerado é muito perceptível pelos residentes. Enquanto o ruído, inevitavelmente, ocorrer como parte de qualquer projeto de construção, segundo Tsukernikov et al. (2013 p. 2), os locais de construção continuarão gerando grande barulho em áreas residenciais. Os níveis de pressão sonora ponderada podem chegar a 75-90 dB, enquanto os valores padrão são de 55 dB durante o dia e 45 dB no período noturno³. Quando as habitações estão próximas a canteiros de obras, o excesso pode ser de até 20 ou 30 dB(A), enquadrando-se em um nível de 4 a 10 vezes maior que o definido para o limiar da dor no ouvido humano.

De acordo com um estudo realizado por Silva (2011, p. 42), a partir da grande maioria das respostas sobre as fontes de ruído urbano, constatou-se que a construção civil é a que mais incomoda e, pela percepção dos respondentes, é a fonte que gera níveis de ruídos mais elevados.

Dessa forma, a identificação dos níveis de ruído e a consequente avaliação das irregularidades em relação às condições desejáveis em uma cidade são de extrema importância para buscar alternativas que procurem solucionar ou amenizar tais problemas. O distanciamento (T.O.) e a altura (H) de edificações em relação ao seu vizinho na malha urbana e a influência sonora causada na época de construção são questionamentos fundamentais para este estudo. Será levado em consideração a relação entre altura e taxa de ocupação dos lotes (HxT.O.).

O bairro da Jatiúca encontra-se em plena expansão e nele percebe-se, cada vez mais, a substituição de habitações com tipologia térrea por edifícios multifamiliares. Localizado na orla de Maceió, este bairro, já de populoso, ainda passa por um processo de verticalização. Ao mesmo tempo, encontra-se em uma fase em que a cidade planeja seu novo plano diretor, que, dentre suas várias possibilidades, coloca em pauta a cogitação de mudança na quantidade de

³ Valores de acordo com as normas e pesquisas dos Estados Unidos.

pavimentos e na T.O. descrita, atualmente, de 15 andares e 50% para 20 andares e 20% de taxa de ocupação.

Esta dissertação, portanto, concentra sua atenção no estudo do ruído derivado da construção civil e a interferência que ele causa no interior dos prédios vizinhos, bem como na influência da forma urbana em ambiente sonoro, utilizando-se uma área no bairro da Jatiúca como campo experimental. O estudo foi desenvolvido com base em Medições do Nível de Pressão Sonora (NPS) e de simulações acústicas realizadas através do *software* para mapeamento e predição acústica Cadna-A®, da Datakustik GMBH, lançado em 2005 na versão 4.4.

Os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em uma cidade devem ser identificados a fim de compor um diagnóstico comprovado, aumentando o critério de avaliação da saúde da população. O intuito maior do presente trabalho é gerar subsídios para futuras intervenções na área, bem como para formulações de novas normas técnicas relativas à poluição sonora da construção civil na malha urbana das cidades.

Este trabalho apresenta, na revisão de literatura (Capítulo 2), vários aspectos do ruído ambiental, como: o ruído urbano e a poluição sonora; os diferentes tipos e a classificação de fontes sonoras (ruído); a propagação sonora ao ar livre; a influência da forma urbana em ambiente sonoro e a influência do ruído na saúde do homem. Aborda, também, alguns conceitos acústicos, normas e legislação, além da ferramenta para avaliação de ruído, o mapeamento acústico e, especificamente, a predição acústica.

O Capítulo 3, dedicado à metodologia da pesquisa, localiza a região da cidade de Maceió, contextualizando sua evolução urbana e o bairro em estudo – Jatiúca, mostrando o ambiente em análise. Nele, são descritos o método e os materiais utilizados para o desenvolvimento deste trabalho para o alcance dos objetivos principal e específicos aqui estabelecidos. São apresentados os dados levantados, expostos os resultados referentes às medições internas no Edifício X (Edificação adjacente ao canteiro de obra) e das medições externas na malha urbana. Ainda neste capítulo são mostradas as simulações computacionais de diferentes tipologias da forma urbana para a região em estudo. Além dos mapas acústicos, são também oferecidos os mapas de conflito com a norma brasileira NBR 10.151 (ABNT, 2000).

O Capítulo 4 trata das análises dos resultados das medições e dos mapas simulados de todos os cenários (Cenário 1 a 7) e leva em consideração as normas nacionais e internacionais nas discussões, também relacionando os possíveis sintomas psicoacústicos acometidos devido ao nível de ruído encontrado, utilizando os critérios das curvas *NC*, *Isofônica* e *Noy*.

Por fim, no Capítulo 5, são apresentadas as considerações finais e algumas sugestões para trabalhos futuros.

A Figura 1 demonstra a estrutura deste trabalho em forma de organograma:



Fonte: A autora, 2016.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é verificar a influência do ruído emitido por um canteiro de obra predial na qualidade acústica da malha urbana em que se encontra e nos ambientes internos do edifício vizinho, verificando de que maneira a interação entre as fontes sonoras da obra e a forma urbana (HxT.O.) exercem influência em determinado ambiente sonoro, utilizando uma porção do bairro da Jatiúca na cidade de Maceió/AL, Brasil, como modelo experimental.

1.1.2 Objetivos Específicos

- I. Propor e analisar quatro possíveis modificações da malha urbana nos próximos anos, permitidos pelo código de edificações e pela sugestão do atual estudo de modificação do plano diretor da cidade, gerando um prognóstico de cenários futuros da influência do barulho do canteiro de obra na malha urbana do recorte em estudo.
- II. Correlacionar os efeitos psicoacústicos dos moradores em relação ao impacto sonoro da construção civil na circunvizinhança, de acordo com bibliografia existente sobre a temática;
- III. Apresentar os aspectos observados referentes à influência da forma urbana no ambiente sonoro da região estudada, podendo servir como subsídios ao planejamento urbano e ao desenho das cidades.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, será descrito e elucidado o referencial teórico necessário para justificar a utilização dos materiais e métodos aplicados na pesquisa, bem como as condicionantes acústicas e normas técnicas para ruído em ambiente urbano no Brasil e nos principais países mundo. O capítulo contextualiza a cidade de Maceió e sua evolução urbana e dispõe, também, sobre tipologia e classificação de fontes de ruído e propagação sonora ao ar livre na influência da forma urbana.

2.1 Ruído em Ambiente Urbano

A acústica se qualifica como o estudo de uma onda, ondas sonoras. Em termos de fenômeno físico, o som consiste em flutuações de pressão num meio elástico ou mecânico, por exemplo: a água, o ar ou o aço, propagando-se em forma de ondas acústicas. Entretanto, nem todas as flutuações de pressão sonora que atingem o ouvido humano despertam sensações auditivas. Somente ocorrerá a sensação de som para os humanos em determinados valores de amplitude de pressão e de frequência, que se encontram nos limiares da audição, entre 20 Hz e 20KHz (BISTAFA, 2013).

Rego e Niemeyer (2012 p. 3) fazem uma relação entre as particularidades climáticas e o controle da poluição sonora no Brasil, que assume especial importância para a qualidade de vida da população. As autoras afirmam que, diferentemente do que acontece nas regiões de clima frio e temperado, “onde a vedação necessária contra as baixas temperaturas colabora para o isolamento acústico dos edifícios”, na maioria das regiões do Brasil – onde há o uso de ventilação natural para redução do calor e da umidade –, localizam-se as limitações das possibilidades de proteção acústica dos compartimentos em relação ao ruído ambiental.

Souza (2004) pondera que, no Brasil, a poluição sonora tem aumentado nas grandes cidades, pela implantação de instalações ruidosas e pelo crescimento do tráfego rodoviário. Observa também os níveis de pressão sonora aos quais a população está sendo submetida e que são reconhecidos, bem como sua resposta ao incômodo causado, possibilitando avaliar se a emissão sonora e a consequente exposição estão realmente evoluindo.

Guedes (2005 p. 6) afirma que

o ruído ambiental é o resultado da combinação do ruído de todas as fontes sonoras presentes em determinado ambiente. A junção das diversas fontes sonoras existentes, como: alarmes, sirenes, atividades comerciais e serviços, templos

religiosos, indústrias, obras de construção civil e o trânsito de veículos automotores tem elevado o nível de ruído urbano e contribuído para o surgimento de ambientes sonoros cada vez mais desagradáveis, interferindo na realização de atividades, quer seja o estudo, o trabalho, o lazer ou ainda o descanso. (GUEDES, 2005, p. 6).

Andrade (2004) enumera os elementos a seguir como contribuintes para a formação do tecido urbano: localização da malha urbana; divisão fundiária; distribuição espacial dos edifícios, viadutos, túneis; morfologia urbana; proporção entre áreas edificantes e não edificantes; tipologia dos edifícios quanto à densidade, escala volumétrica, dimensões, forma; materiais e técnicas construtivas, além da legislação de uso e ocupação do solo.

Andrade segue descrevendo que, em grande parte dos centros urbanos, as vias de tráfego são circundadas lateralmente por edificações que utilizam como revestimento externo materiais com baixa capacidade de absorção de ruído. Pode-se ainda complementar que esses materiais geralmente têm alto índice de reflexão sonora.

A apostila do Curso de Transporte Ambiental: ruído e formas urbanas (COPPE, 1999) cita os fatores que afetam os níveis de ruído urbano:

- a) a composição e o fluxo do tráfego (largura, volume, tipo de tráfego, relação entre veículos leves e pesados, velocidade média dos veículos, estado de conservação, idade, o modo como é guiado e o número total de veículos);
- b) o ambiente (inclinação das vias, tipo de escoamento, tipo de pavimento, efeito do clima);
- c) o layout do local, a natureza do tecido urbano no seu entorno.

Já para o conjunto de fatores físicos que contribuem para a forma do tecido urbano, a revista citada anteriormente especifica a lista descrita abaixo:

- a) o sítio (área de uma cidade onde se constroem suas ruas e habitações);
- b) a malha urbana;
- c) a divisão fundiária;
- d) a distribuição espacial dos edifícios, viadutos, túneis etc.;
- e) a morfologia urbana (estruturas espaciais);
- f) a proporção entre cheios e vazios;
- g) a tipologia dos edifícios (densidade, escala, volumetria, dimensão, forma e o estilo dos edifícios);
- h) a história local – malha viária;
- i) a evolução de materiais e técnicas construtivas;
- j) a legislação de uso e ocupação do solo;

k) o modo como todos esses elementos se inter-relacionam.

Neste contexto, Arnfield e Grimmond (1998) refletem sobre como é comum que as cidades contemporâneas formem cânions urbanos que se caracterizam como intervalos ou espaços entre duas construções adjacentes e que exerçam influência na propagação do ruído.

Os cânions urbanos são superfícies localizadas ao longo de ruas relativamente estreitas, em áreas densamente construídas, com prédios altos alinhados de modo contínuo dos dois lados da rua (HUANG et al., 2009) e que podem ser estudados através da relação entre a altura dos edifícios e a largura da rua (PANÃO et al., 2009).

As fachadas dos edifícios atuam como barreiras acústicas, favorecendo as reflexões de alta frequência em detrimento das baixas frequências: é quando os cânions influenciam na propagação acústica (PICAUT et al., 2005). Desta forma, as altas frequências são canalizadas dentro do cânion, provocando um aumento dos níveis de pressão sonora.

Assim como o exterior, o interior de um edifício é também um meio de propagação do ruído desordenado, devido à baixa proteção acústica dos atuais revestimentos e materiais utilizados visando a menos gastos na construção, causando desconforto aos habitantes, barulho proveniente da permanência destes edifícios e equipamentos bem próximos das vias de circulação, como também de outros elementos emissores de ruído, como os canteiros de obras, objetos de estudo dessa pesquisa.

Nos últimos anos, pesquisadores do ruído urbano no Brasil vêm aglomerando pesquisas que constatarem que o nível sonoro das cidades sofre variações diante da densidade construtiva e da forma das edificações, ou seja, da configuração espacial do ambiente urbano. Os estudos de mais destaque são os realizados por Slama e Niemeyer (1998), Niemeyer e Santos (2001), Loura e Valadares (2003). Pesquisadores internacionais também contribuem para o tema. Aqui será listada e comentada a pesquisa realizada por Hincu (2013), que abre um foco ao estudo da interferência de parâmetros dos mais diversos, tais como: altura de edifícios; distância entre fachadas; presença de zonas verdes; composição do fluxo de veículos, entre outros.

2.1.1 Influência da Forma Urbana em Ambiente Sonoro

Maia e Sattler (2003) ressaltam que os problemas ocasionados pelo ruído tornaram-se mais graves diante da expansão das cidades, do volume do fluxo de veículos e também da densidade da malha urbana. Andrade (2004) acrescenta a esses fatores a atenuação do ruído,

que fica prejudicada devido ao posicionamento das edificações no terreno, ao gabarito e ao layout das fachadas.

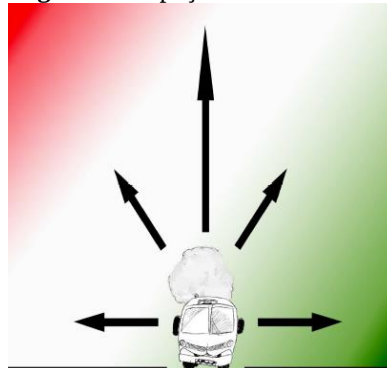
Estudos indicam que a forma urbana (através de suas características físicas e suas inter-relações, como, por exemplo, densidade construtiva, perfis de ruas, áreas verdes, disposição e forma das edificações) influencia na propagação sonora ao ar livre e no ambiente sonoro urbano, contribuindo para a qualidade acústica das cidades (NIEMEYER, SLAMA, 1998; NIEMEYER, 1998; NIEMEYER, SANTOS, 2001).

Serão destrinchados a seguir os tipos de formas urbanas e os possíveis problemas acústicos causados pela configuração da malha urbana na qualidade sonora das cidades.

2.1.1.1 Tipos de Espaços Acústicos Urbanos

A tridimensionalidade se adequa ao conceito de espaço acústico. Pela influência nos mecanismos de propagação sonora, alguns elementos morfológicos do espaço urbano são mais significativos. Conhecidos como Espaços Acústicos Urbanos, eles possuem características sonoras próprias, que devem receber definição particular, não se podendo vincular todas as vezes aos aspectos visuais. Segundo Niemeyer e Santos (2001 p. 3), “A malha viária, a divisão fundiária, a relação entre cheios e vazios, a tipologia dos edifícios e, sobretudo, o modo como estes elementos se relacionam, influem diretamente na propagação do ruído urbano”. Seja pela evolução dos materiais, pelas técnicas construtivas ou pela legislação de uso e ocupação do solo, o elemento considerado mais variável é a altura dos edifícios.

Figura 2 - Espaço Acústico Aberto



Fonte: A autora, 2016.

Niemeyer e Santos (2001, p. 3) sugerem que existem dois tipos de Espaços Acústicos Urbanos a destacar. O primeiro deles seria o Espaço Acústico Aberto, caracterizado pelo

estabelecimento de um campo sonoro direto (ou campo livre) onde a atenuação do som emitido pela fonte se modifica em função da distância entre ela e o receptor. Nesses espaços, o nível sonoro aumenta quando a fonte se aproxima e decresce quando esta se afasta, permitindo que o receptor localize a fonte pelo nível de ruído percebido, mesmo que ela se encontre fora do seu alcance visual (Figura 2).



Fonte: A autora, 2016.

O segundo tipo seria o Espaço Acústico Fechado (Figura 3), no qual se forma um campo sonoro semirreverberante, no caso, o tipo em que o bairro da Jatiúca se encaixa. Neste espaço, a onda sonora sofre inúmeras reflexões, fazendo com que os níveis sonoros decaiam lentamente, mas mantendo mais ou menos o mesmo nível sonoro em todos os pontos do espaço. A atenuação acontece pelo fato de que em cada reflexão ocorre uma perda de energia, ou quando a onda sonora encontra um ângulo de escape (NIEMEYER; SANTOS, 2001).

[...] o nível sonoro não depende apenas da distância fonte/receptor. Pode, porém, se modificar em função de outras variáveis, como a capacidade de absorção dos planos refletoras. Para uma mesma fonte, a mesma distância, o nível sonoro percebido em um espaço acústico fechado é superior ao do espaço aberto por ser um somatório do som direto com as múltiplas reflexões (NIEMEYER; SANTOS, 2001, p. 3).

Beranek e Vér (1992) resumem sucintamente que nos espaços acústicos fechados (cânions urbanos) ocorre o fenômeno da reverberação, devido às múltiplas reflexões das ondas sonoras nas fachadas paralelas dos edifícios, amplificando, por exemplo, os sons provenientes do tráfego. Por conta disso, para a mesma fonte e distância, os níveis sonoros nesses espaços se apresentam maiores do que no espaço acústico aberto.

Niemeyer (1998 p. 84) afirma que a caracterização acústica precisa estar desvinculada de aspectos visuais. O que aparentemente possa parecer fechado, na verdade pode ser fluido para características do som e da propagação do ruído. Então, faz-se importante distinguir os

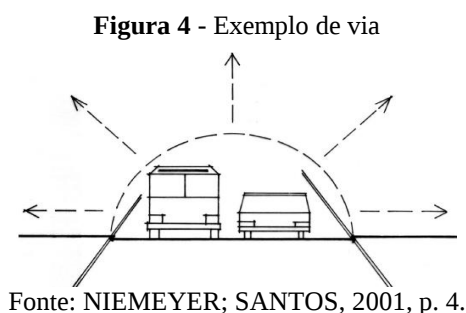
conceitos de “aberto” e “fechado” de acordo com as noções de permeabilidade descritas mais adiante, em 2.1.1.5.

Niemeyer admite que, do ponto de vista estritamente acústico, o tecido urbano fechado é constituído por: pátios cercados por edifícios ou muros de grande altura que representem um obstáculo, ou um conjunto de obstáculos, pouco permeável ao ruído; ruas margeadas por edifícios colados nas divisas, dos dois lados da via de circulação de veículos. Regiões com esta configuração, conhecida como rua em “U”, favorecem o surgimento dos cânions de ruído através da formação de sucessivas reflexões que aumentam a intensidade sonora.

Já o tecido urbano aberto é constituído por edifícios afastados das divisas, criando espaços intermediários muito permeáveis ao ruído; edifícios situados apenas de um lado da via de circulação e quando os edifícios são de pouca altura, ou o espaço entre as fachadas é significativo.

2.1.1.2 A Via

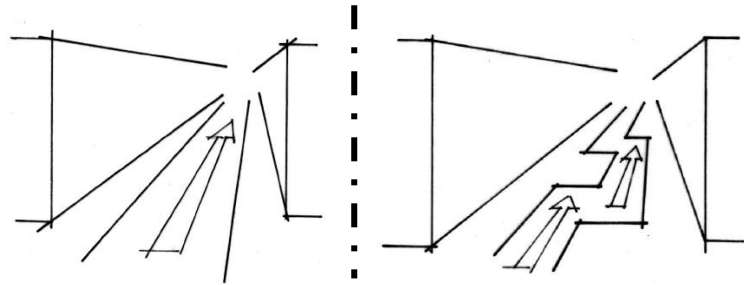
Sob um ponto de vista acústico, Niemeyer e Santos (2001) julgam ser imprescindível distinguir a rua da via. As autoras classificam a via como o espaço destinado ao deslocamento dos veículos, ou seja, a pista de rolamento. A via é a fonte sonora (Figura 4).



Um fator que influenciará no conforto acústico de pedestres, motoristas e habitantes das áreas vizinhas é o tipo de pavimentação escolhido para revestir a via. A forma da percepção do som será diferente de acordo com o uso deste revestimento, por exemplo: paralelepípedo, juntas de dilatação, qualidade e estado de conservação da via (NIEMEYER; SANTOS, 2001, p. 4).

Outro fator que contribui para o aumento do nível sonoro é a utilização de quebra-molas ou redutores de velocidade. O mais indicado seria fazer quebras de percursos nas vias, sempre que possível (Figura 5).

Figura 5 - Pistas contínuas que favorecem o uso de quebra-molas e pistas com traçado descontínuo, respectivamente

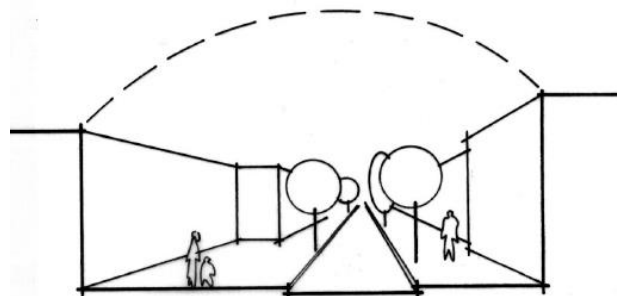


Fonte: NIEMEYER; SANTOS, 2001, p. 4.

2.1.1.3 Formas da Rua

Niemeyer e Santos (2001) entendem a rua como um espaço acústico que abrange a via de circulação e seu entorno imediato, ou seja, o perímetro que abarca as calçadas até o alinhamento das fachadas (Figura 6), envolvendo a fonte e o receptor no mesmo local, garantindo um campo sonoro homogêneo.

Figura 6 - A rua, espaço acústico aberto



Fonte: NIEMEYER; SANTOS, 2001, p. 4.

As autoras afirmam que o ruído percebido depende das características das superfícies refletoras: pavimentação da pista, das calçadas e do alinhamento, revestimento, rugosidade e movimentação do plano das fachadas. Os materiais mais comumente utilizados no ambiente urbano (concreto, vidro, cerâmica, asfalto) possuem baixo coeficiente de absorção sonora, refletindo quase toda a energia incidente.

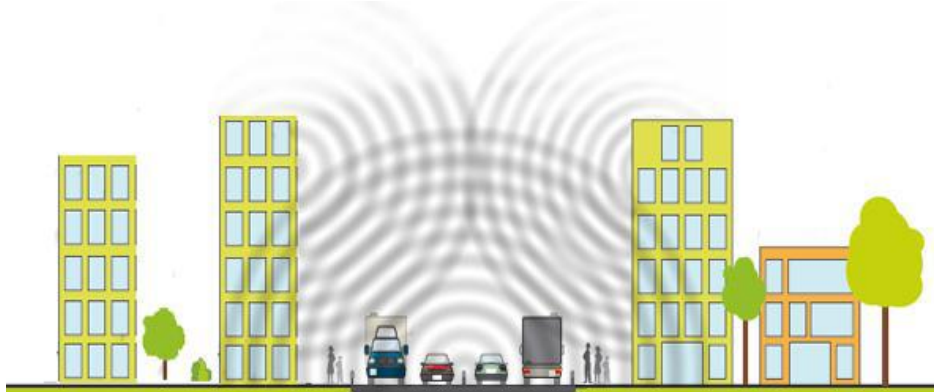
Como sugestão na gestão de planejamento urbano, as autoras pontificam que:

a rua deve ser compreendida como espaço intermediário entre dois elementos urbanos – a via de tráfego e o edifício e que a fachada é um elemento que altera a propagação sonora devido a sua composição e disposição. O ruído percebido na rua é diferente daquele percebido no interior das edificações. A distância entre a fachada e a testada do lote alterará o nível de ruído que chega à edificação. A solução paisagística adotada neste espaço interferirá nos mecanismos de propagação do som. (NIEMEYER; SANTOS, 2001, p. 5)

Desta forma, Niemeyer e Santos (2001) afirmam que existem duas configurações básicas para ruas:

- a) rua em “U”: limitada, de ambos os lados, por edificações altas, coladas nas divisas, formando barreiras contínuas. A relação entre a altura dos prédios e a distância entre fachadas é superior a 0,2 ($H/L > 0,2$). O campo acústico é semirreverberante e as reflexões sobre as fachadas têm grande peso no nível sonoro total (Figura 7).

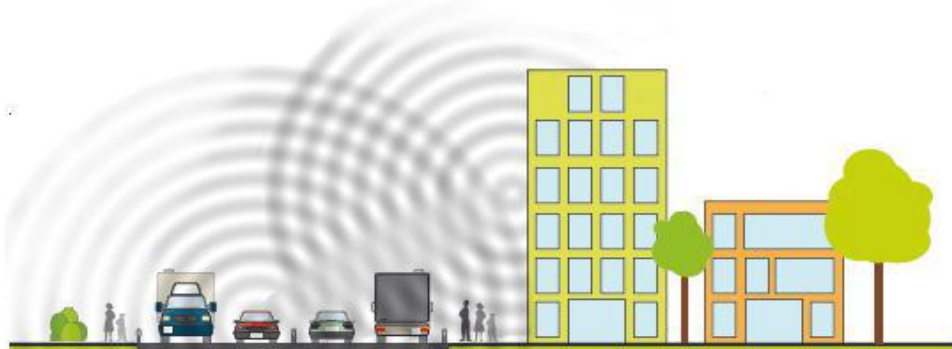
Figura 7 - Rua em “U”



Fonte: SILVA D., 2011.

- b) rua em “L”: quando os edifícios formam barreira apenas de um dos lados, ou se a relação entre a altura dos prédios e a distância entre fachadas for inferior a 0,2 ($H/L < 0,2$). A propagação sonora aproxima-se do campo direto ou livre (Figura 8).

Figura 8 - Rua em “L”



Fonte: SILVA D., 2011.

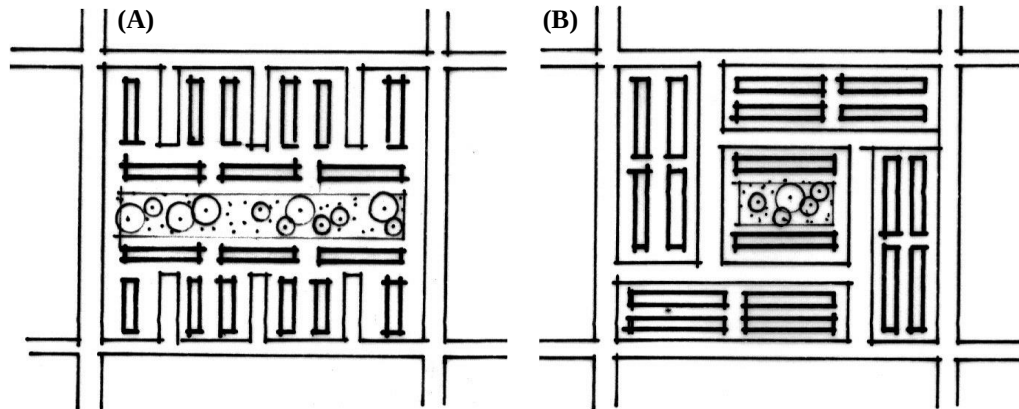
2.1.1.4 A Quadra

Niemeyer (1998) define quadras como unidades do espaço urbano constituídas por lotes (nas cidades da América do Norte e da América Sul, geralmente retangulares) e delimitadas pelas vias. Para a autora, “A quadra recebe o som que, emitido pela via, propaga-

se ao longo da rua” (1998 p. 90). No âmbito da acústica, podem ser entendidas como porções limites desse espaço ao local de emissão de ruído (vias), onde seus edifícios desempenham papel de barreiras, abrigando os ambientes internos dos níveis sonoros da área externa.

De acordo com a distribuição dessas edificações, a quadra poderá ser mais ou menos exposta ao ruído de tráfego, conforme as configurações apresentadas na Figura 9.

Figura 9 - (A) Solução de quadra mais exposta e (B) menos exposta ao ruído de tráfego



Fonte: NIEMEYER; SANTOS, 2001.

A forma como as edificações serão dispostas na quadra influencia na quantidade de exposição ao ruído. Por isso, é preciso que a forma seja bem resolvida e planejada (ARIZMENDI, 1983). O quarteirão pode ter, em seu espaço interior, duas opções fundamentais: uma concepção funcional, que o utiliza como área complementar às necessidades urbanas (Figura 9A), que em Maceió, se tem como exemplo o Corredor Vera Arruda. E outra que integra o centro do quarteirão como espaço coletivo (Figura 9B) (KRIER, 1985).

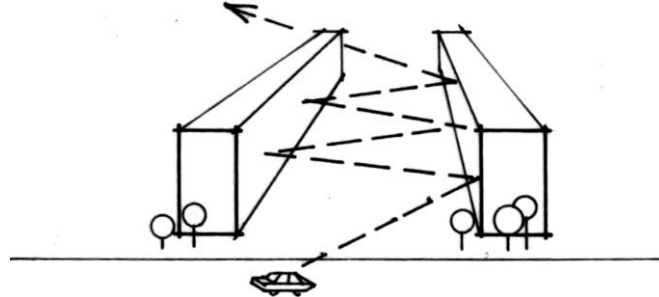
2.1.1.5 Permeabilidade

De acordo com Niemeyer (2007 p. 115), pode-se conceituar o termo “permeabilidade” (Figura 10) fazendo-se referência às trajetórias percorridas pelo som na escala urbana ou do edifício, levando-se em consideração a relação entre a configuração urbana e suas tipologias arquitetônicas perante o ruído.

A permeabilidade urbana depende dos afastamentos entre edifícios, a taxa de ocupação, a existência de espaços vazios e a largura das vias. Corresponde à maior ou menor

permeabilidade de uma estrutura urbana à passagem do som, sendo expressa na relação entre espaços abertos e espaços edificados.

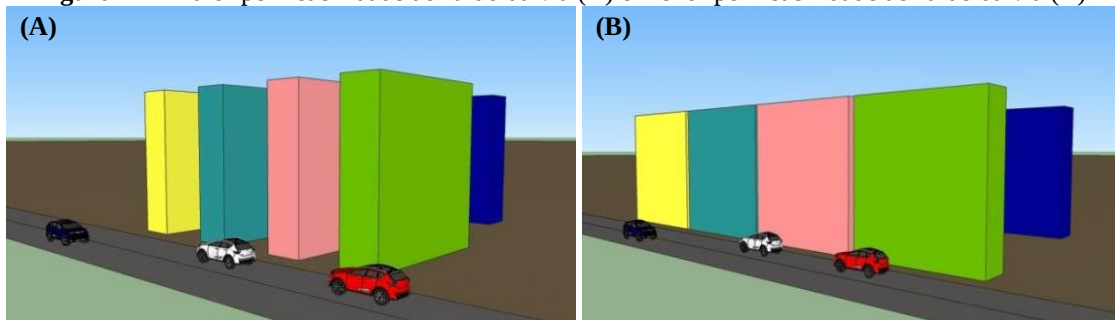
Figura 10 - Permeabilidade acústica



Fonte: NIEMEYER, 2007, p. 115.

A Figura 11 exemplifica o conceito dentro do contexto urbano, em que a disposição dos edifícios frente às fontes sonoras, no caso da imagem, representadas pela via de tráfego, resulta em uma maior ou menor permeabilidade de um tecido urbano. Edifícios perpendiculares à via geram maior permeabilidade ao ruído.

Figura 11 - Maior permeabilidade ao ruído da via (A) e menor permeabilidade ao ruído da via (B)



Fonte: A autora, 2016.

Para concluir, vale ressaltar que, nas cidades de clima tropical úmido, a necessidade de ventilar a malha urbana para garantir conforto térmico pode resultar em tipologias de forma urbana particularmente permeáveis ao ruído (NIEMEYER, 2007, p. 115).

2.1.1.6 Massa Edificada Urbana e Níveis Sonoros

As cidades devem ter o planejamento do desenvolvimento espacial para evitar e corrigir problemas advindos do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente. A lei que demonstra a necessidade de instrumentos que regulem a formação da

massa edificada, orientando a espacialidade urbana e fomentando as diretrizes gerais, é a Lei Federal nº 10.257/2001, conhecida como Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001).

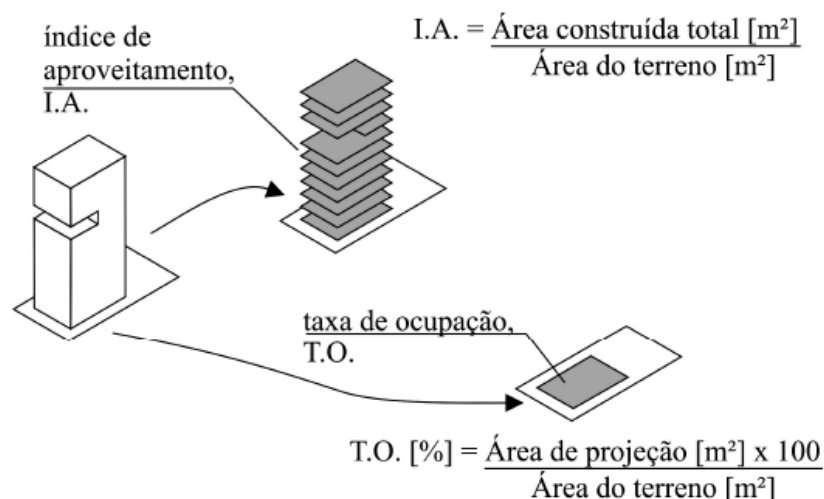
O Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001) estabelece uma série de instrumentos de política urbana nas esferas nacional, regional, estadual e municipal, descritas na seção 2.4. O plano diretor rege o parcelamento, o uso e a ocupação do solo, afeta diretamente a forma urbana e é de responsabilidade dos municípios.

Como citado anteriormente, diversos fatores contribuem para a atenuação ou propagação do ruído urbano enquanto esse permeia a cidade.

O planejamento municipal, quando cuida da distribuição de volumes construídos e espaços vazios pela cidade, direciona a localização e o dimensionamento de alguns desses fatores de atenuação, como a volumetria de barreiras acústicas e o distanciamento entre fonte sonora e receptor. A localização das fachadas, que refletem boa parte das ondas sonoras, também é ditada pelos regulamentos (BRIOSCHI, 2011 p. 18).

Adotando o exemplo do Plano Diretor de Maceió (SEMPLA, 2006), é possível observar alguns índices urbanísticos que regem a massa edificada na parte baixa da cidade. Nessa legislação, o potencial construtivo é regido pelos indicadores taxa de ocupação, índice de aproveitamento e altura das edificações, que durante muitos anos tiveram como limite máximo o número de 8 pavimentos, devido ao rastro do Cone do Farol (descrito com mais especificidade na seção 3.1). A taxa de ocupação é dada pela porcentagem de área ocupada pelo edifício no lote, enquanto o índice de aproveitamento é a razão entre a área construída total e a área do lote. É justamente essa relação entre T.O. e altura das edificações *versus* influência do ruído no contexto urbano que este trabalho visa analisar.

Figura 12 - Representação esquemática das áreas utilizadas para o cálculo de índice de aproveitamento e taxa de ocupação



Fonte: BRIOSCHI, 2011, p. 18.

2.2 Ruído de Canteiro de Obra

Para que a cidade possa expandir, exige-se a implantação de infraestrutura e serviços, implicando em mais obras de construção civil que, por sua natureza, são emissoras de ruídos que contaminam o meio em que se encontram (SILVA D., 2011).

A construção civil é considerada a mais intermitente e temporária fonte de ruído, segundo Cowan (1994 p. 155). É composta pelos dois tipos de fontes sonoras – as fontes móveis (por exemplo, caminhões) e as fontes fixas (compressores, bate-estacas). Estes são listados em uma categoria separada, pois são temporários e limitados na duração da obra. Kessler (1982) pondera que, mesmo se apresentando em altos níveis, este é, na maioria das vezes, aceito pelas pessoas por ser de curta duração. O limite de duração deve ser levado em consideração ao determinar a avaliação do ruído das atividades da construção. Típicas fontes fixas (pontual) e móveis (lineares) devem ser consideradas separadamente, pois são qualificadas como componentes permanentes do ambiente.

O tipo de ruído produzido pelas obras pode ser caracterizado como parte do ruído ambiental ou ruído comunitário, que se define como a emissão do ruído advindo de todas as fontes (exceto de trabalho industrial), isso e diversas parcelas de ruídos secundários de fontes comunitárias sempre presente nas cidades (WHO, 1999).

A construção civil é uma atividade de extremo potencial impactante ao meio ambiente e que tem efeitos nas comunidades, gerando impactos de curto prazo que ocorrem durante a construção, já que cada vez mais os equipamentos e as máquinas têm seu trabalho reduzido em tempo, para diminuir o custo da obra, elevando os níveis de ruído (MAROJA et al., 2011).

As fontes contínuas incluem equipamentos de motor de carro usados na escavação (britadeiras, pás carregadeiras, retroescavadeiras), equipamentos de manipulação materiais (betoneiras e guindastes), equipamentos estacionários (compressores, geradores e bombas). O escapamento do ruído associado com os motores é usualmente a fonte de ruído dominante de cada parte do equipamento. Entretanto, ruídos de entradas (*intakes*), ventiladores e transmissões podem também contribuir no nível de ruído emitido (WHO, 1999).

Equipamentos classificados como impulsivos ou de impacto incluem dispositivos, como bate-estacas, britadeiras e pequenas ferramentas de mão (martelos) (COWAN, 1994).

Segundo Tsukernikov et al. (2013), mesmo em países mais desenvolvidos como a Rússia é quase impossível, muitas vezes até mesmo impossível, reduzir os níveis de ruído durante a fase de construção ativa. É por isso que o procedimento de redução do ruído do canteiro de obras deve ser feito na fase de projeto.

É importante caracterizar o ruído para avaliar os limites de tolerância ao nível de pressão sonora. Os ruídos originários dos equipamentos da construção civil podem ser definidos como: ruído de impacto e ruído contínuo ou intermitente (MENEZES JÚNIOR, 2002).

2.3 Efeitos do Ruído sobre o Homem

O ruído comumente é classificado como um “som indesejável”, dependendo do tipo emitido, já que cada indivíduo sente o incômodo de maneira relativa. Por exemplo, já é provado pela medicina que um indivíduo pode sentir mais ou menos dor do que o outro, ou que uma pessoa pode escutar um estilo de música e entender como um som harmônico, enquanto que para outra esse mesmo som pode passar uma sensação de ruído e trazer desconforto. Mas, do ponto de vista físico, não há a diferenciação entre som, barulho ou ruído (SALIBA, 2014 p. 19).

O organismo humano submetido a essa exposição é afetado pelo ruído de diversas maneiras, causando prejuízos não só ao funcionamento do sistema auditivo, como o comprometimento da atividade física, fisiológica e mental do indivíduo. O ruído diferencia-se dos demais elementos poluentes urbanos por constituir-se apenas no período em que é emitido, deixando de existir no momento em que termina a emissão, não restando qualquer vestígio de sua presença que possa permitir uma análise. Inexistindo barreiras, ele não tem limites espaciais, não tem cor, forma ou odor (BERISTÁIN, 1998).

O ouvido não pode ser desligado, como no caso dos olhos existem as pálpebras, e por isso é tratado como um importante instrumento de defesa, estando ativo até durante o sono. Se um ruído se torna contínuo, o organismo tende a permanecer no estado de alerta determinado pelo instinto humano, gerando alta e seguida atividade dos órgãos envolvidos. Com o passar do tempo sendo influenciado por esse ruído atípico, ocorre a fadiga desses órgãos sob tensão, acarretando um estado de entorpecimento, e os efeitos primários não são mais sentidos. Entretanto, a alta solicitação permanece, até o momento em que o problema é manifestado. O processo de ansiedade é causado justamente pelo estado de atenção em que se mantém o organismo, provocado pela “ameaça” que o ruído pode apresentar (MURGEL, 2007 p. 44).

Murgel (2007, p. 45) afirma que é de extrema importância destacar que esse processo se dá por vias inconscientes e quando alguma pessoa diz que não se incomoda com o ruído, na verdade ela está no estado de torpor, insensível aos efeitos primários, mas em contínuo desgaste emocional latente. Naturalmente, se essa situação for contínua e diária, ou impedir o

sono adequado, os efeitos irão se refletir nas atividades do indivíduo, englobando o campo produtivo e as relações sociais e afetivas.

Estudos recentes evidenciam que a exposição a níveis de ruído a partir de 70 dB(A) acarreta sensíveis alterações de ordem neuropsíquica. Dessa forma, a Organização Mundial de Saúde (WHO, 1999, p. 26) alerta que é preciso considerar muitas características diferentes para descrever completamente ruídos ambientais. Uma vez que o conteúdo de cada frequência de ruído irá determinar seu efeito sobre as pessoas, o número de eventos também irá gerar influência, mesmo quando há um número relativamente pequeno e discreto desses eventos ruidosos.

As combinações dessas características determinam como cada tipo de ambiente ruidoso irá afetar as pessoas. Esses efeitos podem causar aborrecimento, perturbação do sono, interferência na fala, aumento do estresse, deficiência ou outras consequências relacionadas à saúde auditiva (KROHN, 2012).

São diversos os critérios e escalas desenvolvidos para avaliar e quantificar o conforto acústico e a integralidade do sistema auditivo. Sabe-se que o nível do ruído pode causar danos à audição, mas esse fato depende do tempo de duração do ruído, já que entre o processo de emissão e o período de tempo em que o ruído está incidente ele pode passar por mudanças na frequência e na intensidade (GERGES, 1992 p. 56).

Segundo Gerges (1992 p. 6), o ouvido humano responde a uma faixa larga de amplitude do som, estando entre o limite de audição até o limite da dor (2×10^{-5} N/m² a 200 N/m²). Porém, essas intensidades sonoras são expressas de forma a fazer uma correlação mais próxima com a audibilidade humana no formato de uma escala logarítmica, o dB (decibel), e não de forma linear e absoluta (N/m²). A menor variação que o ouvido humano pode perceber é de um 1 dB, e se aumentado 6 dB é como se o nível de pressão sonora dobrasse (SILVA D., 2011 p. 7).

De acordo com o Programa Internacional de Segurança Química (WHO, 1999, p. 39), os efeitos adversos do ruído são definidos como uma mudança na morfologia e na fisiologia de um organismo que resulta em comprometimento da capacidade funcional, na diminuição da capacidade para compensar o estresse adicional e no aumento da susceptibilidade de um organismo para os efeitos nocivos de outras influências ambientais. Essa definição compreende em qualquer prazo, longo e temporário, a diminuição do funcionamento físico, psicológico ou social dos seres ou órgãos humanos.

Em sua tese de doutorado – “Conforto Acústico e Térmico, em situação de verão, em ambiente urbano: uma proposta metodológica” (2007 p. 3) –, Maria Lygia Alves de Niemeyer

reflete sobre o conceito de sustentabilidade e afirma que é incompatível com a noção de domínio pleno do homem sobre o ambiente. “Na realidade a interação se dá de forma dinâmica: o homem transforma o meio e o meio transformado age sobre o homem”. A autora se pronuncia de forma a entender que o espaço está intimamente ligado às reações do organismo e, conseqüentemente, psicológicas do indivíduo:

O espaço de vivência, seja ele urbano ou rural, sempre será, em alguma medida, artificial, porque produto do trabalho humano. O grande desafio é fazer da cidade um ambiente diversificado e estimulante, que ofereça a possibilidade de interação positiva, construída a partir do uso cotidiano dos espaços. A qualidade ambiental depende do modo como o homem processa os estímulos sensoriais que recebe do espaço físico que o cerca (NIEMEYER, 2007, p. 3).

A Norma Regulamentadora 17, de 1992, estipula o nível de ruído aceitável para efeito de conforto de até 65 dB (A) e a curva de avaliação de ruído (NC) de valor não superior a 60 dB. Este é o considerado o limiar do conforto acústico de acordo com a comunidade científica confirmado em pesquisas (JOB, 1996). Exposição contínua a valores acima desse limite pode causar distúrbios psicofisiológicos diversos, independentemente da idade, tais como distúrbios do sono, diminuição do desempenho laboral, hipertensão e agravamento de doenças cardiovasculares.

Áreas residenciais não devem ultrapassar o nível sonoro equivalente $Leq = 55 \text{ dB(A)}$. A partir de 55 dB(A) podem ocorrer estresse leve, acompanhado de desconforto. O nível de $Leq = 70 \text{ dB(A)}$ é tido como o nível de desgaste do organismo, aumentando os riscos de infarto, derrame cerebral, infecções, hipertensão arterial e outras patologias (WHO, 2003).

Costa e Kitamura (1995) descrevem que a exposição a ruídos elevados produz efeitos não auditivos, por via polineural, não específica através das conexões colaterais na substância reticular do tronco cerebral. Algumas teorias citam que o estímulo auditivo, antes de atingir o córtex cerebral, passa por inúmeras estações subcorticais, em particular das funções vegetativas, o que explica os efeitos extraauditivos do ruído.

De acordo com Fernandes (2005 p. 71), serão descritos alguns efeitos de ordem subjetiva e psicológica dos ruídos sobre o ser humano:

- a) Distúrbios de comunicação: nos ambientes barulhentos, a comunicação verbal torna-se impossível, sendo difícil dar avisos e informações de perigo iminente a trabalhadores da área, aumentando a probabilidade de erros e acidentes ocupacionais. Ruídos elevados podem causar transtornos de comunicação, como o mascaramento da voz, prejudicando a compreensão da fala, principalmente se o indivíduo tiver deficiência auditiva, o que tornará mais difícil o reconhecimento da fala. Conseqüentemente, o indivíduo tende ao isolamento

social, já que não consegue mais participar efetivamente da conversação, trazendo dificuldades de interação, tanto no meio familiar como no seu ambiente profissional. Em alguns casos, podem ocorrer situações em que, devido ao excesso de ruído no local de trabalho, associado a perdas auditivas, o trabalhador tem a necessidade de utilizar uma intensidade vocal mais forte do que a habitual para ser ouvido pelos colegas, provocando um esforço maior e uma tensão ao falar, havendo uma sobrecarga no trato vocal, podendo ocasionar lesões e alterações vocais;

- b) transtornos da habilidade de executar atividades: em provas de habilidade, foi demonstrado que, com a exposição ao ruído contínuo, existe a diminuição do rendimento e da eficiência, elevando o número de erros, e um provável aumento de acidentes por consequência da redução da habilidade;
- c) transtorno do sono: o ruído interfere na profundidade e na qualidade do sono, surtindo efeitos desastrosos ao dia a dia, com visíveis alterações no trabalho e mesmo na vida social;
- d) transtornos comportamentais: o ruído gera alterações neuropsíquicas, com mudanças na conduta e no humor, falta de atenção e de concentração, cansaço, insônia e inapetência, cefaleia, redução da potência sexual, ansiedade, depressão e estresse.

Duas distinções podem ser feitas para classificar os efeitos nocivos do ruído sobre a saúde do homem: a primeira é a que produz efeitos fisiológicos, fisiopatológicos ou auditivos, englobando a ação direta no sistema auditivo. A segunda são os efeitos gerais ou não auditivos, que resultam numa ação total sobre várias funções orgânicas.

A frequência do ruído, a intensidade, a duração e o ritmo, assim como o tempo de exposição, a suscetibilidade individual e a atitude de cada indivíduo frente ao som, são fatores que podem ser atribuídos aos distúrbios de exposição do ruído (NUDELMANN, 1997).

Ainda de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), no seu tratado específico para o ruído, “Orientações para o ruído da comunidade” (WHO, 1999), encontram-se dados relativos aos efeitos do ruído da saúde do homem, que serão especificadas a seguir:

- a) para os adultos expostos a ruído impulsivo, o limite é ajustado em níveis de pressão de som de pico de 140 dB. No caso das crianças, no entanto, tendo em conta os seus hábitos, enquanto brincavam com brinquedos barulhentos, a pressão sonora de pico nunca deve exceder 120 dB;

- b) a inteligibilidade da fala é prejudicada pelo barulho. A maior parte da energia acústica de expressão está na gama das frequências de 100 a 6.000 Hz. Com a energia mais importante, a sugestão de sinal de entrada seria entre 300 e 3.000 Hz;
- c) a perturbação do sono é um importante efeito do ruído ambiental. Isso pode causar efeitos primários durante o sono e efeitos secundários que podem ser avaliados no dia após a exposição ao ruído noturno. Sono ininterrupto é um pré-requisito para o bom funcionamento fisiológico e mental. Os efeitos primários de distúrbios do sono são: dificuldade em adormecer; despertar abrupto e alterações de estágios do sono ou profundidade; aumento de pressão arterial, frequência cardíaca e amplitude de pulsação; vasoconstrição; alterações na respiração; arritmia cardíaca e aumento dos movimentos do corpo. A probabilidade de despertar aumenta com o número de eventos de ruído por noite. Os efeitos secundários, ou pós-efeitos, pela manhã ou no(s) dia(s) seguinte(s) são: redução da qualidade do sono percebida; aumento da fadiga; humor deprimido e diminuição do desempenho. Para uma boa noite de sono, o nível de som equivalente não deve ultrapassar 30 dB (A) para o ruído de fundo contínuo, e devem ser evitados os eventos de ruído individuais superiores a 45 dB (A);
- d) nas funções fisiológicas, após exposição prolongada, indivíduos susceptíveis podem desenvolver efeitos permanentes, tais como hipertensão e doença isquêmica do coração, associados à exposição a altos níveis de som. A magnitude e a duração dos efeitos são determinadas, em parte, por características individuais, comportamentos de vida e condições ambientais. Os sons também evocam respostas reflexas, particularmente quando o indivíduo não está familiarizado e o ruído tem um início súbito;
- e) doença mental: não é certo que o ruído ambiental possa causar doença mental diretamente, mas presume-se que ele pode acelerar e intensificar o desenvolvimento de transtornos mentais latentes. A exposição a níveis elevados de ruído ocupacional tem sido associada ao desenvolvimento da neurose, mas as conclusões sobre a relação entre meio ambiente, efeitos do ruído e saúde mental são inconclusivas. No entanto, os estudos sobre o uso de drogas tais como tranquilizantes e pílulas para dormir, sobre sintomas psiquiátricos e taxas de internação mentais, sugerem que o ruído da comunidade pode ter efeitos adversos para a saúde mental;
- f) sobre a performance do indivíduo exposto, demonstrou-se, principalmente em crianças e trabalhadores, que o ruído pode afetar adversamente o desempenho de tarefas cognitivas. Embora a excitação induzida por ruído possa produzir um melhor desempenho em tarefas simples a curto prazo, o desempenho cognitivo deteriora substancialmente para tarefas

mais complexas. Leitura, atenção, resolução de problemas e memorização estão entre os efeitos cognitivos mais fortemente afetados pelo ruído. Em eventos de ruído impulsivo, podem-se produzir efeitos perturbadores, como resultado de respostas de sobressalto. O ruído pode, também, produzir incapacidades e aumentar os erros no trabalho; alguns acidentes podem ser um indicador de deficits de desempenho;

- g) um dos efeitos sociais e comportamentais do ruído é o aborrecimento. Esses efeitos são, muitas vezes, complexos, sutis e indiretos, e se presume que resultam da interação de um número de variáveis não auditivas. No entanto, deve-se reconhecer que os níveis iguais de tráfego e ruídos industriais podem causar diferentes magnitudes de aborrecimento. Isso ocorre porque a irritação em populações não só varia com as características do ruído, incluindo sua fonte, mas também depende, em sua grande maioria, de muitos fatores não acústicos de natureza social, psicológica ou econômica. Ruídos acima de 80 dB(A) podem, também, ajudar a aumentar o comportamento agressivo.

A Tabela 1 mostra os impactos que o ruído pode vir a causar na saúde, com uma relação volume/reação dos efeitos negativos através de exemplos de exposição.

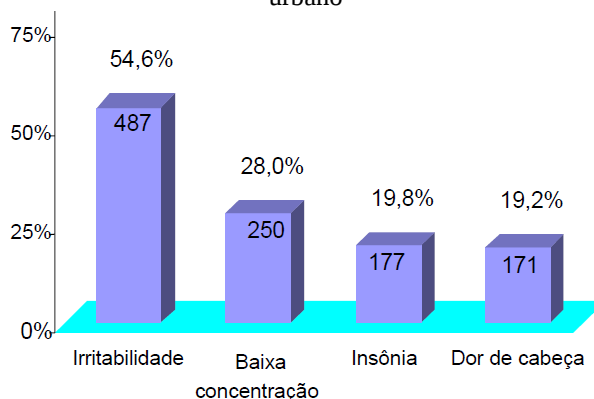
Tabela 1 - Impacto do ruído na saúde – volume/reação de efeitos negativos de exposição

VOLUME	REAÇÃO	EFEITOS NEGATIVOS	EXEMPLOS DE LOCAIS
Até 50 dB	Controlável (limite da OMS)	Nenhum	Rua sem tráfego
Acima de 50 dB	O ORGANISMO HUMANO COMEÇA A SOFRER IMPACTOS DO RUÍDO		
De 55 a 65 dB	A pessoa fica em estado de alerta, não relaxa	Diminui o poder de concentração e prejudica a produtividade no trabalho intelectual	Agência bancária
De 65 a 70 dB (início das epidemias de ruído)	O organismo reage para tentar se adequar ao ambiente, minando as defesas	Aumenta o nível de cortisona no sangue, diminuindo a resistência imunológica. Induz a liberação de endorfina, tornando o organismo dependente. Aumenta a concentração de colesterol no sangue	Bar ou restaurante lotado
Acima de 70 dB	O organismo fica sujeito a estresse degenerativo, além de abalar a saúde mental	Aumentam os riscos de enfarte e infecções, entre outras doenças sérias	Praça de alimentação em shoppings centers, ruas de tráfego intenso
OBS: o quadro mostra ruídos inseridos no cotidiano das pessoas. Ruídos eventuais alcançam volumes mais altos. Um trio elétrico, por exemplo, chega facilmente a 130 dB(A), o que pode provocar perda auditiva, temporária ou permanente.			

Fonte: (RAGAZZI, 2003).

Um estudo realizado na cidade de Curitiba, capital do Paraná, envolvendo uma amostra de 892 indivíduos detectou os principais sintomas do ruído excessivo, que podem ser observados no Gráfico 2 (LACERDA, et al., 2005).

Gráfico 2 - Distribuição em porcentagem e número de entrevistados segundo as reações psicossociais ao ruído urbano



Fonte: LACERDA et al., 2005, p. 7.

A mesma pesquisa também trouxe o resultado dos tipos de incômodo para as diferentes fontes de ruído, alguns demonstrados na Tabela 2, a seguir, onde se pode verificar que o ruído da construção civil está entre as quatro maiores fontes de reclamação e tende a ser mais percebido pelas pessoas do sexo feminino.

Tabela 2 - Ruídos que incomodam segundo o sexo dos participantes

Tipos de ruídos	Feminino	Masculino
Trânsito	336	259
Vizinhos	172	123
Templos religiosos	31	27
Casas noturnas	44	17
Construção civil	117 (10,2%)	70 (8,4%)
Animais	96	94
Sirenes	127	81
Eletrodomésticos	77	39
Brinquedos infantis	48	28
Fogos de artifício	70	58
Outros	35	32
Total	1153 (100%)	828 (100%)

Fonte: LACERDA et al., 2005, p. 8. Adaptado.

Seligman (1993) ressalta que os sons contínuos são menos traumatizantes que os sons interrompidos por que em um ruído contínuo o primeiro impacto sonoro é recebido sem proteção, mas os outros são atenuados pelo mecanismo de proteção. Já para ruídos interrompidos, os impactos não têm atenuação, uma vez que entre um som e outro não há tempo do mecanismo de proteção relaxar.

Fernandes (2005 p. 77) descreve no Quadro 1, a seguir, as reações fisiológicas correlacionadas com níveis de ruído ambiente, de acordo com as classificações: saudáveis, toleráveis e insalubres.

Quadro 1 - Reações fisiológicas correlacionadas com níveis de ruído ambiente

AMBIENTE ACÚSTICO				REAÇÕES FISIOLÓGICAS
dB(A)	LIMITES	EXEMPLOS		
Saudáveis	20	Ambiente natural	Sussurrar da brisa, canto suave de pássaros	Indicado para meditação, intimidade, concentração mental e a vida saudável com tranquilidade
	25	Limite de conforto para salas de cirurgia, estúdios de rádio e TV (NB 95)	Jardim tranquilo	
	30	Limite de conforto para salas de concertos, teatros, salas de reunião (NBR 10152)	Ambiente rural ou campestre Tic-tac de um relógio de parede	Limite de sono de qualidade
	35	Limite de conforto para hospitais, apartamentos, dormitórios, bibliotecas, cinemas, salas de conferências, salas de projetos (NBR 10152)	Sussurro da voz humana	Início do incômodo do sono, com mudanças (aumentos) nos estágios superficiais do sono Nível de bem-estar noturno (WHO) Início das reações vegetativas
	40	Indicado para salas de aula, para sala de hospitais. Limite de conforto para salas de aula, laboratórios, restaurantes, salas de estar, igrejas e templos. (NBR 10152)	Música suave Ambiente tranquilo	Ambiente próprio para comunicação e ensino, com alto grau de compreensão
	45	Limite de conforto para áreas de serviços, circulação, corredores, portarias, recepção, salas de computadores. (NBR 10152)	Ruído de um refrigerador Voz humana em baixo volume Sala de estar tranquila	Nível que causa diminuição no tempo total do sono Grande diminuição do estágio V do sono
	50	Limite para música de fundo. Limite de conforto para salas de impressão, xerox, impressoras. (NBR 10152) Limite indicado para hospitais e escolas(NBR 10151).	Ruas tranquilas sem tráfego Canto alto de pássaros Ruído de um ventilador	Limite do conforto auditivo Nível limite para o bem-estar diurno
Toleráveis	55	Limite para Zonas residenciais urbanas (NBR 10151); Nível máximo de ruído diurno indicado para residências. (NBR 10151)	Nível da voz humana (baixa) Pequena loja tranquila	Início do estresse leve, que excita o sistema nervoso central autônomo simpático, produzindo desconforto auditivo, maior vigilância e agitação Início da perda de concentração
	60	Área mista, com vocação comercial e administrativa. (NBR 10151)	Restaurante tranquilo Nível da voz humana normal	Aumenta 25% a probabilidade de uma pessoa acordar. Aumento da frequência cardíaca. Aumento na taxa de excreção de adrenalina. Início da perda de capacidade de cálculo. Perda de concentração. Retardo nas respostas e conclusões. Início da mudança do limiar auditivo para pessoas muito sensíveis
	65	Limite de ruído para Zonas urbanas comerciais. (NBR 10151)	Nível da voz humana alterada.	Início da liberação de noradrenalina, substância básica das anfetaminas Início da insensibilização das pessoas pelo efeito anestésico Pessoas barulho-dependentes pela liberação de drogas psicotrópicas pelo cérebro
Insalubres	70	Nível máximo em áreas industriais. (NBR 10151)	Voz de professor ministrando aulas Ruas tráfego bem intenso até 1000 veículos/hora Nível de fala poluída por ruído e inteligibilidade limite	Estresse degenerativa – infarto e anestesia por endomorfina Início de problemas nas cordas vocais Início de alteração na % de infarto Liberação da morfina endógena
	75		Ruído de automóveis	Limite para início de problemas auditivos permanentes
	80	Limite de exposição de trabalhadores de alguns países (Europa) sem proteção.	Ruído em ruas de trânsito intenso Ruído em ambientes industriais Ruído nos arredores de aeroportos	
	85	Limite do Ministério do Trabalho para jornada de 8 horas.	Nível de aspiradores de pó Nível de ruído do metrô	Início da perda de audição induzida por ruído (Pair), segundo o MTb
	90	Limite do Ministério do Trabalho para jornada de 4 horas.	Nível médio em discotecas.	Nível limite para atividades de lazer, com exposição de 4h
	100	Limite do Ministério do Trabalho para jornada de 1 hora.	Nível de buzinas de carros, orquestras e de ônibus barulhentos	Aumento de 50% de colesterol livre e 31% de cortisol
	110		Nível de uma serra circular. Buzina de ar comprimido	Alto incômodo com o ruído
120	Limite do MTB para exposição de impacto sem proteção.	Interior de caldeiraria Trovão forte	Surdez neural, lesão das células ciliadas	

Fonte: FERNANDES, 2005, p. 77. Adaptado.

O incômodo provocado pelo ruído é um atributo extremamente subjetivo. Segundo Bistafa (2013 p. 82), os pesquisadores da área ainda encontram dificuldades para avaliar quantitativamente esse incômodo, já que ele depende da noção de audibilidade do ouvinte, do grau de aceitação desse ruído, do potencial intrusivo, assim como da perturbação que ele causa. Bistafa (Ibid) afirma que, embora o incômodo do ruído ainda necessite de definição mais precisa, os parâmetros físicos mais relevantes para a contribuição da sensação subjetiva de incômodo são:

- a) conteúdo espectral e níveis sonoros associados;
- b) a complexidade do espectro e a existência de tons puros;
- c) duração;
- d) amplitude e frequência das flutuações de nível;
- e) tempo de subida de sons impulsivos.

2.3.1 Métodos de Grandeza Psicoacústica

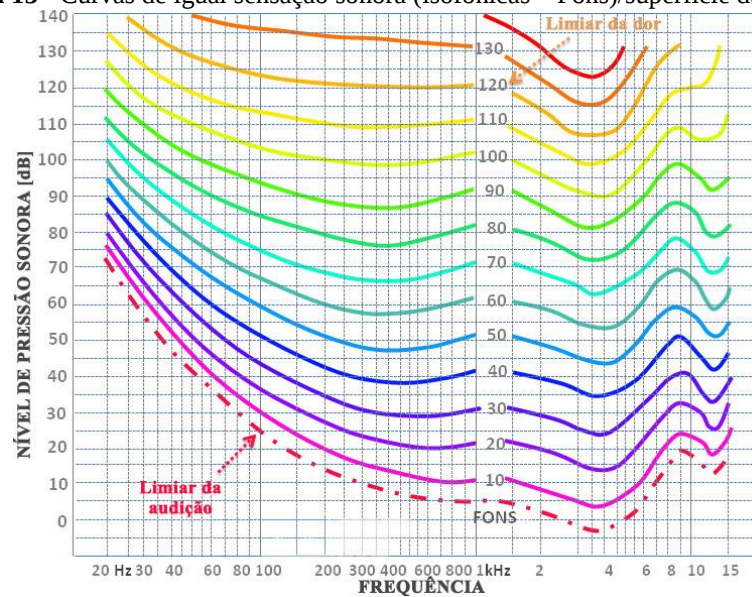
Aqui, serão descritos dois métodos de filtros de ponderação em frequência para avaliação acústica em grandeza psicoacústica para melhor enquadramento nas análises da percepção subjetiva do ruído encontrado no estudo de caso.

2.3.1.1 Curvas Isofônicas

As primeiras curvas de igual sonoridade foram estabelecidas por Fletcher e Munson em 1930 (BISTAFA, 2013, p. 68). Tal como em relação à amplitude do som, o ouvido humano também não responde de forma linear em relação às variações em frequência, ou seja, o ouvido não responde de igual forma a todas as frequências. Por exemplo, para o ouvido humano, a percepção da diferença entre um som de 250 Hz e um de 125 Hz é próxima da diferença entre um som de 2000 Hz e um de 1000 Hz. Desse modo, surge a representação, em termos de frequência, em forma de oitavas, como acontece na representação em frequência do gráfico da Figura 13.

O limite superior de cada banda de frequência é aproximadamente o dobro da frequência do respectivo limite inferior nestas bandas por oitavas, sendo comumente associada a banda de oitava à sua frequência central, dada pela raiz quadrada do produto dos dois limites. Para além das bandas de oitava, podem ainda definir-se partições em bandas de $1/n$ de oitava, sendo a partição mais usual a de $1/3$ de oitava (MATHEUS, 2008 p. 3).

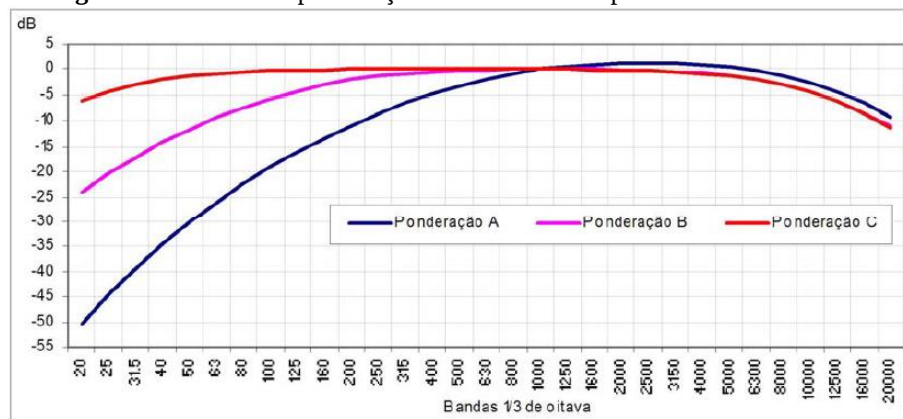
Figura 13 - Curvas de igual sensação sonora (isofônicas – Fons)/superfície de audição



Fonte: FLETCHER; MUNSON, 1930. Adaptado pela autora.

Matheus (2008, p. 4) afirma que para tentar aproximar a resposta do ouvido humano em medições de ruído, podem ser utilizadas as curvas de ponderação denominadas de A, B e C (Figura 14), obtidas respectivamente para níveis de pressão relativamente baixos (isofônica de 40 dB), intermédios (isofônica de 70 dB) e elevados (isofônica de 100 dB). Por exemplo, para um nível de pressão sonora de 100 dB a 50 Hz, correspondem aproximadamente níveis de pressão ponderados respectivamente de 60 dB(A), 88 dB(B) e 99 dB(C). Outro exemplo, um estímulo sonoro com a frequência de 1000 Hz e 70 dB de intensidade terá 70 fones de audibilidade, enquanto os mesmos 70 dB a 63 Hz são equivalentes a 56 fones.

Figura 14 - Curvas de ponderação resultantes da resposta do ouvido humano



Fonte: MATHEUS, 2008, p. 4.

Cabe frisar que nos aparelhos eletrônicos (sonômetros), temos os circuitos correspondentes às curvas. A curva “A” é largamente utilizada para medir ruídos contínuos ou

intermitentes; a curva “B” está obsoleta, por não oferecer bons resultados com testes subjetivos; a curva “C” é utilizada para medir ruídos de impactos e a curva “D” mede altíssimos ruídos como, por exemplo, em aeroportos.

Na análise do gráfico da Figura 13, 100 dB a 50 Hz correspondem aproximadamente à isofônica de 90 dB, ou seja, para um ouvido humano médio, a sensação é próxima de 90 dB. Nesse caso, para um nível sonoro muito elevado, a avaliação em dB(A) está longe de traduzir a verdadeira sensação do ouvido humano, com o agravante de favorecer significativamente o resultado final. Para níveis sonoros baixos, da ordem de 40 dB, a curva A passa a conduzir a resultados mais realistas.

2.3.1.2 Curvas NOYs

Bistafa (2013, p. 82) também descreve um método de grandeza psicoacústica para mensurar objetivamente o incômodo do ruído que se chama *ruidosidade percebida*, que tem como unidade o *NOY*⁴. O *noy* expressa a sensação subjetiva de incômodo do ruído em uma escala linear, uma vez que a ruidosidade percebida de um tom puro em 1kHz, com nível de pressão sonora de 40 dB, equivale a 1 *noy*, e ruídos de 2, 4, 10 ou 20 *noys* são considerados como tendo ruidosidade percebida de 2, 4, 10 ou 20 vezes maior que 1 *noy*.

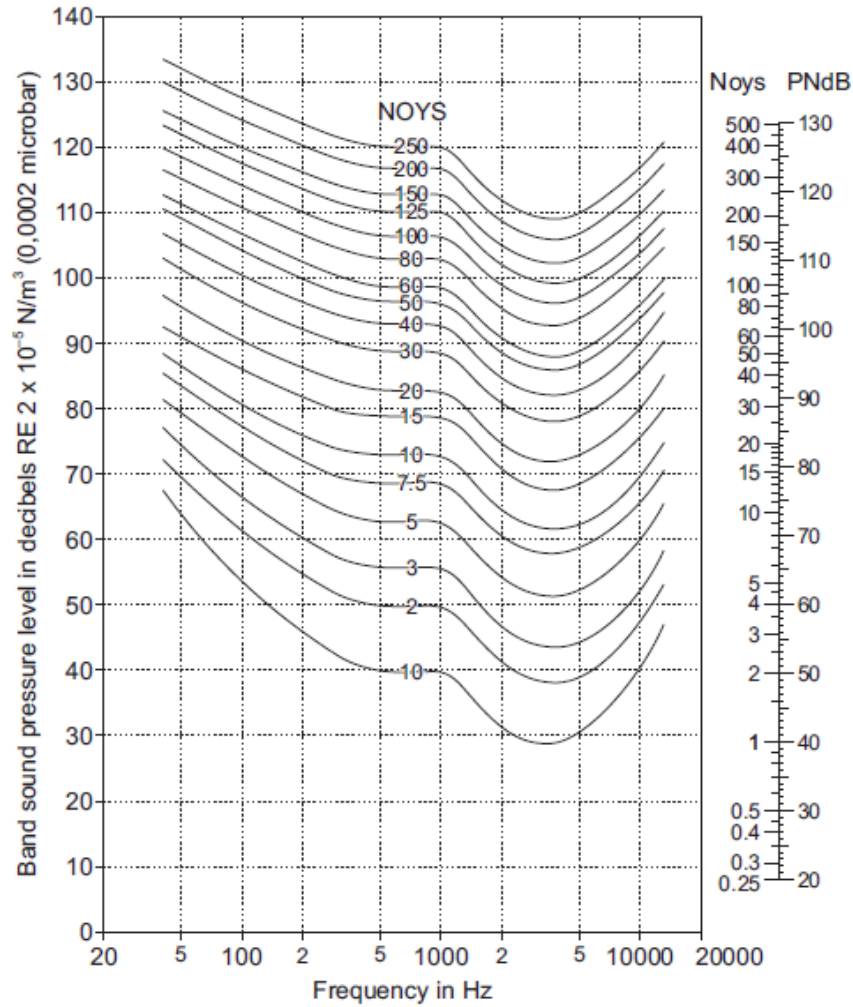
Esse método foi criado por Kryter (1959 p. 15), que definiu essa unidade de ruidosidade percebida como sendo um som que se julga ser subjetivamente igual em ruidosidade (Equação 1). Na Figura 15, a um ruído aleatório na frequência central de 1.000 Hz (referindo-se a que vem a seguir como sendo a banda de referência padrão). É dado o valor de 1 *noy* para um nível de pressão sonora de 40 dB (0,0002 microbar) e com duração de ½ segundo. A expressão abaixo relaciona a pressão sonora em dB ao valor de *noy*.

$$PNdB = 40 + 10 \log_2(noy) \quad (1)$$

A Figura 15 apresenta um gráfico com as curvas de mesma ruidosidade percebida, cuja interpretação é similar às curvas isofônicas. Essas curvas são para bandas de ruído de oitava, cujas frequências centrais das bandas estão lançadas no eixo horizontal, e os níveis sonoros associados estão lançados no eixo vertical.

⁴ Derivada da palavra inglesa *nuisance* (aquilo que incomoda).

Figura 15 - Escala da Ruidosidade Percebida desenvolvida por Kryter (1959)



Fonte: DINATO; SCHAAL, 2006, p. 248

Como em 1 kHz, 1 *son*e e 1 *noy* correspondem, ambos, ao nível de pressão sonora de 40 dB, a relação entre *noys* e o nível de pressão sonora L_p em 1 kHz é da mesma forma que a Equação 2, que relaciona *sones* com *phones*, ou seja,

$$\text{noys} = 2^{(L_p - 40)/10} \quad (\text{em 1 kHz}). \quad (2)$$

A inversão da equação permite obter o nível de pressão sonora L_p a partir de *noys*.

$$L_p = 33,2 \log(\text{noys}) + 40 \text{ dB} \quad (\text{em 1 kHz}) \quad (3)$$

As análises psicoacústicas deste trabalho terão como base as curvas de *Noy* e *Fons* explanadas acima.

2.4 Parametrização Acústica

O Brasil estabelece leis e normas regulamentadoras (estaduais e federais) para parametrizar os níveis de pressão sonora excessivos de poluição sonora ocorridos no âmbito urbano. Com esse intuito, este item visa apontar as legislações federais e estaduais ligadas à poluição sonora brasileira e também faz referência a algumas normas internacionais relevantes para o estudo.

2.4.1 Legislações federais

É fundamental registrar inicialmente o art. 225 da Constituição Federal, que dispõe sobre o direito de todos terem um meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum da sociedade e essencial à qualidade de vida, cabendo ao poder público e à coletividade defendê-lo e preservá-lo, envolvendo também a questão da poluição sonora.

Segundo Brasileiro (2012 p. 3), a Lei nº 6.938, de 1981, que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, é considerada como um dos regulamentos da Constituição Federal na área do meio ambiente e apresenta disposições sobre poluição, também sendo aplicada à poluição sonora.

Em relação à proteção do meio ambiente, a competência administrativa fica a cargo igualmente à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos municípios, em razão de ser atribuída cumulativamente a todos os entes federados, conforme o art. 23, incisos III, IV, VI, VII, IX e XI da Constituição Federal (BRASIL, 1988).

O Brasil tem adotado alguns dos procedimentos da legislação e dos limites estabelecidos pelos países europeus. Os principais são dados pelas normas NBR 10151 (ABNT, 2000) e NBR 10152 (ABNT, 1987) da Associação Brasileira de Normas Técnicas.

Na esfera Federal, as resoluções nº 001 de 11/2/93 (CONAMA, 1993) estabelece para veículos automotores nacionais e importados limites máximos de ruído com o veículo em aceleração e na condição parado e a resolução nº 002 (CONAMA, 1990) dispõe sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora - SILÊNCIO".

A emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política obedecerá, no interesse da saúde, do sossego público, aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidos nesta Resolução. [...] São prejudiciais à saúde e ao sossego público, para os fins do item anterior aos ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela norma NBR 10.151 – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da

Comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (CONAMA, 1990).

O Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora (Silêncio), instituído pelo Conama e sob a coordenação do Ibama, tem várias resoluções, dentre elas:

- a) resolução Conama nº 1/90, que estabelece critérios, padrões, diretrizes e normas reguladoras da poluição sonora;
- b) resolução Conama nº 2/90, que estabelece normas, métodos e ações para controlar o ruído excessivo que possa interferir na saúde e no bem-estar da população;
- c) resolução Conama nº 20/94, que institui o Selo Ruído como forma de indicação do nível de potência sonora medido em decibel, dB(A), para aparelhos eletrodomésticos, que venham a ser produzidos, importados e que gerem ruído no seu funcionamento. A aplicação do Selo Ruído nos produtos eletrodomésticos tem como objetivo informar ao consumidor o nível de potência sonora emitido por estes produtos, medido em decibel – dB (A).

A poluição sonora é objeto de controle pelos órgãos integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), responsáveis pelo controle e pela fiscalização de atividades capazes de provocar a degradação ambiental, nas esferas federal, estadual e municipal, nos termos do art. 6º da Lei nº 6.938 (BRASIL, 1981) - que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Cabe aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios a regionalização das medidas emanadas do SISNAMA, elaborando normas e padrões supletivos e complementares.

O Novo Código Civil (BRASIL, Lei 10.406, 2002), em seu artigo 1.277, trata do uso anormal da propriedade, advertindo: o proprietário ou o possuidor de um prédio tem o direito de fazer cessar as interferências prejudiciais à segurança, ao sossego e à saúde dos que habitam, provocadas pela utilização de propriedade vizinha.

Segundo Waldir Carneiro (2014), “sossego” concerne ao descanso, ao repouso e à tranquilidade de que o homem necessita para repor suas energias e bem desempenhar suas atividades. Já “saúde” diz respeito ao estado da pessoa cujas funções estão anormais. Ao conjunto das condições favoráveis à saúde dá-se o nome de salubridade. O mesmo autor (CARNEIRO, 2014, p. 53) frisa que: “[...] a Poluição Sonora ainda subsiste como ‘crime’, a teor do disposto no art. 54 da Lei 9.605/98 – Lei dos Crimes Ambientais”.

2.4.2 Normas Federais

Serão explanadas neste subtópico as normas para o âmbito da acústica no país. Os estudos de caso pertencentes ao Capítulo 4 deste mesmo documento serão todos embasados nestas normas.

2.4.2.1 NBR 10.151:2000

A Norma NBR 10.151 (ABNT, 2000) estabelece o método de medição e os critérios de aceitação do ruído em comunidades e se encontra em revisão. Adota, também, o parâmetro para avaliação de impacto sonoro. Os critérios e métodos de medição, por ela estabelecidos, estão em conformidade com os padrões internacionais adotados pelas normas ISO⁵ e IEC⁶.

O objetivo da norma é fixar as condições para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades e especificar o método de medição, bem como os critérios de aceitação.

Sobre os equipamentos a serem utilizados, a norma indica a utilização do medidor de nível sonoro, de acordo com a norma IEC 651 (substituída em 2002 pela norma IEC 61672-Partes 1-3), na escala de compensação “A” e resposta rápida.

As medições externas devem ser efetuadas no local onde existe a reclamação, com 1,2 m acima do solo, 1,5 m de paredes e janelas. O nível médio de som (L_a) medido no local deve ser em ponderação “A”, no modo *fast* (rápido).

As medições em ambientes internos devem ser efetuadas a uma distância de no mínimo 1 m de quaisquer superfícies como paredes, teto, pisos e móveis.

Os níveis de pressão sonora em interiores devem ser o resultado da média aritmética dos valores medidos em pelo menos três posições distintas, sempre que possível, afastadas entre si em pelo menos 0,5 m. Caso o reclamante indique algum ponto de medição que não atenda às condições acima, o valor medido neste ponto também deve constar no relatório. As medições devem ser efetuadas nas condições de utilização normal do ambiente, isto é, com as janelas abertas ou fechadas, de acordo com a indicação do reclamante. O nível de critério de avaliação NCA para ambientes internos é o nível indicado na Tabela 3, com a correção de - 10 dB(A) para janela aberta e - 15 dB(A) para janela fechada.

⁵ International Organization for Standardization.

⁶ International Electrotechnical Commission.

Tabela 3 - Nível de Avaliação NCA para ambientes externos em dB (A)

TIPOS DE ÁREA	DIURNO	NOTURNO
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10.151 (ABNT, 2000).

Os limites de horário para o período diurno e noturno da Tabela 3 podem ser definidos pelas autoridades de acordo com os hábitos da população. Porém, o período noturno não deve começar depois das 22 horas e não deve terminar antes das 7 horas do dia seguinte. Se o dia seguinte for domingo ou feriado, o término do período noturno não deve ser antes das 9 horas.

Fernandes (2005) afirma que, segundo pesquisas, quando o Nível Corrigido de Ruído (Lc) ultrapassa os Níveis Limites de Ruído (Nc ou Nf) podem ocorrer reclamações da comunidade. A Tabela 4 demonstra alguns exemplos:

Tabela 4 - Resposta estimada da comunidade ao ruído

Valor em dB(A) em que Lc ultrapassa Nc ou Nf	DESCRIÇÃO
0	Não se observa reação
5	Queixas esporádicas
10	Queixas generalizadas
15	Ação comunitária
20	Ação comunitária enérgica

Fonte: FERNANDES, 2005.

2.4.2.2 NBR 10.152:1987

As condições de conforto acústico são normatizadas e estão expressas na NBR 10.152 (ABNT, 1987), Níveis de Ruído para Conforto Acústico. Essa norma fixa os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos e também está em revisão.

Nesta norma, a fixação dos limites de ruído para cada finalidade do ambiente é feita de duas formas: pelo nível de ruído encontrado em medição normal (em dB(A)), ou com o uso das curvas NC ou NCB, com os seus máximos determinados a baixo (Tabela 5).

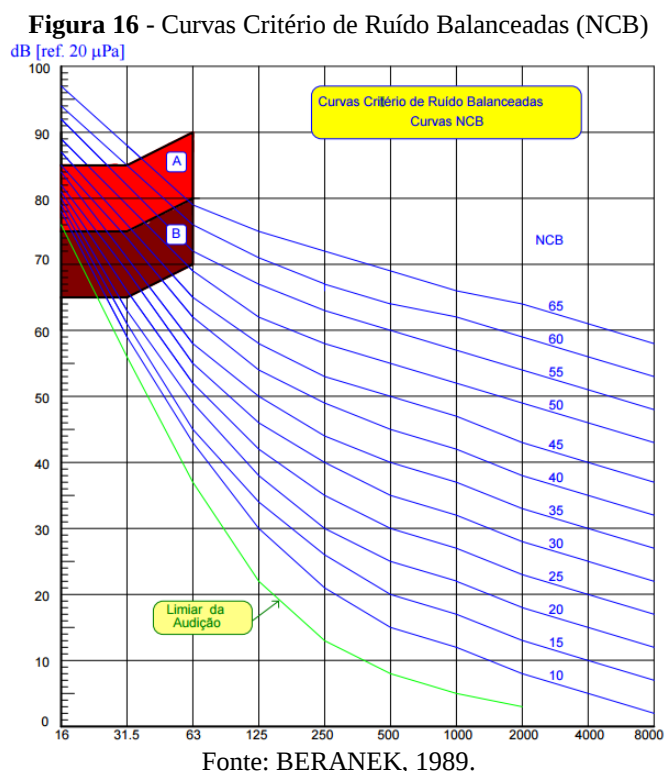
Tabela 5 - Valores dB(A) e NC

Locais	dB(A)	NC
Hospitais		
Apartamentos, enfermarias, berçários, centros cirúrgicos	35 – 45	30 – 40
Laboratórios, áreas para uso do público	40 – 50	35 – 45
Serviços	45 – 55	40 – 50
Escolas		
Bibliotecas, salas de música, salas de desenho	35 – 45	30 – 40

Salas de aula, laboratórios	40 – 50	35 – 45
Circulação	45 – 55	40 – 50
Hotéis		
Apartamentos	35 – 45	30 – 40
Restaurantes, salas de estar	40 – 50	35 – 45
Portaria, recepção, circulação	45 – 55	40 – 50
Residências		
Dormitórios	35 – 45	30 – 40
Salas de estar	40 – 50	35 – 45
Auditórios		
Salas de concertos, teatros	30 – 40	25 – 30
Salas de conferências, cinemas, salas de uso múltiplo	35 – 45	30 – 35
Restaurantes	40 – 50	35 – 45
Escritórios		
Salas de reunião	30 – 40	25 – 30
Salas de gerência, salas de projetos e de administração	35 – 45	30 – 40
Salas de computadores	45 – 65	40 – 60
Salas de mecanografia	50 – 60	45 – 55
Igrejas e templos (cultos meditativos)	40 – 50	35 – 45
Locais para esporte		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 – 60	40 – 55
Notas:		
a) O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade.		
b) Níveis superiores aos estabelecidos nesta Tabela são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde.		

Fonte: NBR 10.152, ABNT, 1987.

A Figura 16 apresenta as curvas NCB e a Tabela 6, o limite de utilização para várias atividades humanas em função das curvas NCB.



Onde:

Região A: níveis nesta região, ou próxima, indicam probabilidade de perceber claramente vibrações em elementos construtivos.

Região B: vibrações moderadamente perceptíveis.

Tabela 6 - Limite de utilização para várias atividades humanas em função das curvas NCB

Curva NCB	Tipo de ambiente que pode conter como máximo ruído, os níveis da curva correspondente
10	Estúdios de gravação e de rádio (com uso de microfones a distância)
10 a 15	Sala de concertos, de óperas ou recitais (para ouvintes de baixos níveis sonoros)
20	Grandes auditórios, grandes teatros, grandes igrejas (para médios e grandes intensidades sonoras)
25	Estúdios de rádio, televisão e de gravação (com uso de microfones próximos e captação direta)
30	Pequenos auditórios, teatros, igrejas, salas de ensaio, grandes salas para reuniões, encontros e conferências (até 50 pessoas), escritórios executivos
25 a 40	Dormitórios, quartos de dormir, hospitais, residências, apartamentos, hotéis, motéis, etc. (ambientes para o sono, relaxamento e descanso)
30 a 40	Escritórios com privacidade, pequenas salas de conferências, salas de aulas, livrarias, bibliotecas, etc. (ambientes de boas condições de audição)
30 a 40	Salas de vivência, salas de desenho e projeto, salas de residências (ambientes de boas condições de conversação e audição de rádio e televisão)
35 a 45	Grandes escritórios, áreas de recepção, áreas de venda e depósito, salas de café, restaurantes, etc. (para condições de audição moderadamente boas)
40 a 50	Corredores, ambientes de trabalho em laboratórios, salas de engenharia, secretarias (para condições regulares de audição)
45 a 55	Locais de manutenção de lojas, salas de controle, salas de computadores, cozinhas, lavanderias (condições moderadas de audição)
50 a 60	Lojas, garagens, etc. (para condições de comunicações por voz ou telefone apenas aceitáveis). Níveis acima de NCB – 60 não são recomendadas para qualquer ambiente que exija comunicação humana
55 a 70	Para áreas de trabalho onde não se exija comunicação oral ou por telefone, não havendo risco de dano auditivo

Fonte: NBR 10.152, ABNT, 1987.

Admite-se uma tolerância de $\pm$ (mais ou menos) 1 dB, com relação aos valores (ver Figura 16 e Tabela 7) na utilização das curvas NC.

Tabela 7 - Níveis de pressão sonora correspondentes às curvas de avaliação (NC) em dB

Curva	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8kHz
15	47	36	29	22	17	14	12	11
20	50	41	33	26	22	19	17	16
25	54	44	37	31	27	24	22	21
30	57	48	41	36	31	29	28	27
35	60	52	45	40	36	34	33	32
40	64	57	50	45	41	39	38	37
45	67	60	54	49	46	44	43	42
50	71	64	58	54	51	49	48	47
55	74	67	62	58	56	54	53	52
60	77	71	67	63	61	59	58	57
65	80	75	71	68	66	64	63	62
70	83	79	75	72	71	70	69	68

Fonte: NBR 10.152 (ABNT, 1987).

Para avaliar o ruído em ambientes, a norma sugere que seja utilizado o método da aplicação das curvas NC (Noise Criterion), criado por Beranek em 1952 e ampliado

posteriormente, em 1989. O mesmo autor publicou as Curvas NCB (Balanced Noise Criterion Curves), com aplicação mais ampla. São várias curvas representadas em um plano cartesiano (Figura 16) que apresenta no eixo das abscissas as bandas de frequências e, no eixo das ordenadas, os níveis de ruído. Cada curva representa o limite de ruído para uma atividade, tendo em vista o conforto acústico em função da comunicação humana (FERNANDES, 2005, p. 88).

2.4.2.3 NR15

No Brasil, existe uma normatização sobre os ruídos de impactos referentes ao trabalho, a Norma Regulamentadora, NR 15, (1978) para Atividades e Operações Insalubres, revisada em agosto de 2014, que define critérios e valores máximos para a segurança do trabalhador:

15.1.5 Entende-se por “Limite de Tolerância”, para os fins desta Norma, a concentração ou intensidade máxima ou mínima, relacionada com a natureza e o tempo de exposição ao agente, que não causará dano à saúde do trabalhador, durante a sua vida laboral.

A Tabela 8, abaixo, faz um apanhado do tempo máximo exposto devido à intensidade do ruído:

Tabela 8 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente

Nível de ruído dB (A)	Máxima exposição diária PERMISSÍVEL	Nível de ruído dB (A)	Máxima exposição diária PERMISSÍVEL
85	8 horas	98	1 hora e 15 minutos
86	7 horas	100	1 hora
87	6 horas	102	45 minutos
88	5 horas	104	35 minutos
89	4 horas e 30 minutos	105	30 minutos
90	4 horas	106	25 minutos
91	3 horas e 30 minutos	108	20 minutos
92	3 horas	110	15 minutos
93	2 horas e 40 minutos	112	10 minutos
94	2 horas e 15 minutos	114	8 minutos
95	2 horas	115	7 minutos
96	1 hora e 45 minutos		

Fonte: NR-15, Quadro 3, Anexo 1, 1978.

A normatização ainda descreve como sendo “Ruído Contínuo ou Intermitente”, para os fins de aplicação de limites de tolerância, o ruído que não seja ruído de impacto. Também

dita que os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB), com instrumento de nível de pressão sonora operando no circuito de compensação “A” e circuito de resposta lenta (*slow*), e que as leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do trabalhador.

2.4.2.4 NR17

A Norma Regulamentadora Federal 17 (NR17) visa a estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente.

O subitem 17.5.2 da norma afirma que nos locais de trabalho onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, tais como: salas de controle, laboratórios, escritórios, salas de desenvolvimento ou análise de projetos, dentre outros, são recomendadas níveis de ruído de acordo com o estabelecido na NBR 10.152; Para as atividades que possuam as características definidas no subitem 17.5.2, mas não apresentam equivalência ou correlação com aquelas relacionadas na NBR 10152, o nível de ruído aceitável para efeito de conforto será de até 65 dB (A) e a curva de avaliação de ruído (NC) de valor não superior a 60 dB.

2.4.3 Normas relacionadas ao Barulho de Construção

Infelizmente, nenhuma das normas acima citadas especifica critérios e níveis máximos de exposição do ruído para construções, maquinários de obras ou ruído de impacto. “NOTA – Quando forem publicadas Normas Brasileiras para avaliação do incômodo devido ao ruído impulsivo, estas deverão ser aplicadas” (NBR 10.151, 2000, p. 3).

O Código de Posturas de Maceió, seção II – da Poluição Pelos Ruídos (1985), no art. 113, dita que:

2 – O nível máximo de som ou ruído permitido a máquinas, compressores e geradores estacionários que não se enquadrem no parágrafo anterior é de 55dB (cinquenta e cinco decibéis) das 7 (sete) às 19 (dezenove) horas, medidos na curva B, e de 45dB (quarenta e cinco decibéis) das 18 (dezoito) às 7 (sete) horas, medidos na A do respectivo aparelho, em qualquer caso a distância de 5,00 m (cinco metros) de qualquer ponto das divisas do imóvel onde aquelas instalações estejam localizadas ou do ponto de maior intensidade de ruído no edifício do reclamante.

O ouvido humano não é sensível em todas as frequências. Em relação às frequências muito baixas ou muito altas, o órgão é menos sensível; já em frequências intermediárias, é mais sensível. Como se percebe nitidamente, o Código de Posturas de Maceió não deve ser usado como parâmetro, pois não se deve medir na curva “B”, por estar defasado, o que implica urgentemente sua atualização.

Ainda sobre o Código de Posturas de Maceió (MACEIÓ, 1985), no art. 118, parágrafo IV:

O funcionamento de máquinas ou aparelhos utilizados em construção ou obras em geral, devidamente licenciados pela Prefeitura, desde que ente 7 (sete) e 19 (dezenove) horas e não ultrapassando o nível máximo de 90dB (noventa decibéis), medidos na curva C a distância de 5,00 m (cinco metros) de qualquer ponto da divisa do imóvel em que aquelas instalações estejam localizadas.

Devido a diferenças de sensibilidade do ouvido humano às diversas frequências, os equipamentos de medição de nível de pressão sonora possuem circuitos internos que proporcionam a correção de energia sonora medida. Essa correção, por sua vez, simula a resposta do ouvido humano ao som ou ruído. Com base em estudos, foram elaboradas graficamente as curvas de compensação, como descrito anteriormente. O controle da localização e do horário de funcionamento das atividades que provocam poluição sonora nas áreas urbanas é de competência exclusiva do poder municipal, que deve considerar o planejamento e o controle do uso do solo e das funções urbanas.

Segundo Andrade (2004), o ruído da construção civil pode ser avaliado em termos de nível sonoro equivalente contínuo e/ou em termos de nível máximo. O autor afirma que alguns fatores, como condições meteorológicas (particularmente, a velocidade do vento e sua direção), absorção do solo e absorção atmosférica, podem influenciar no nível de ruído recebido, e fornece, ainda, alguns outros exemplos de fatores que contribuirão para o nível de som na vizinhança, que provêm do local da obra: a potência sonora do processo e da máquina; o período de processo da operação e da máquina; a distância da fonte para o receptor; a presença de enclausuramento; a reflexão do som.

Andrade (2004) pontua que quando o ruído de eventos isolados não se aparenta por um período muito longo de Leq pode ser utilizado na medição um período curto (por exemplo, 5 minutos) de Leq. O autor salienta que qualquer medida usada para descrever o ruído do local da obra deve especificar o período do dia em que o valor medido se aplica.

Segundo Niemayer e Cortês (2012), os estudos de Impacto Ambiental e de Vizinhança exigidos para implantação de empreendimentos potencialmente nocivos ao meio ambiente devem conter, essencialmente, a análise do aumento da densidade populacional, alterações no

padrão de uso do solo, geração de tráfego e demanda por transporte público. Entretanto, apesar desses indicadores influenciarem sobre o ambiente sonoro, o texto apresenta metodologias para a avaliação de impacto sonoro.

Desde 1998, existe uma adaptação da certificação AQUA para o Brasil, feita pela Fundação Vanzolini, com ajuda da Poli/USP (LORDSLEEM JR; LIMA, 2011). Essa certificação baseia-se no modelo francês HQE (*Haute Qualité Environnementale*), que prioriza o desempenho da edificação, avaliando o empreendimento por 14 categorias de desempenho. Aqui, serão descritas as categorias que melhor se conectam com o presente estudo:

01. Relação do edifício com seu entorno – a infraestrutura, os acessos, a conectividade urbana, o ecossistema, enfim, tudo o que interage com o edifício e a própria vocação socioambiental do bairro;
02. Escolha integrada de produtos, sistemas e processos construtivos – os critérios compatíveis com a durabilidade da edificação, conformidade com as normas técnicas, baixo impacto ambiental e baixo impacto à saúde humana;
03. Canteiro de obras com baixo impacto ambiental – ruído, poeira, sujeira, visual, incômodos ao tráfego, etc., gerados pela implantação do canteiro de obras; o consumo de água e energia durante a obra, redução da duração de resíduos, destinação correta dos resíduos e eliminação ou redução de poluição de ar, água e solo;
09. Conforto acústico – os isolamentos e o nível de ruído.

O certificado no AQUA é emitido por fase do empreendimento: programa – detalhamento das necessidades; concepção – elaboração dos projetos; realização – execução das obras; operação – utilização e manutenção. No selo AQUA, não existem níveis de certificação, ou seja, o empreendimento é certificado ou não. É obrigatório buscar um nível de excelência – “Melhores Práticas”, em pelo menos três categorias; “Boas Práticas”; em quatro categorias e “Base”; em sete categorias.

2.4.4 Normas Internacionais

A legislação brasileira ainda é ineficiente com relação ao controle do ruído se comparada às normas e leis de países mais desenvolvidos. A norma britânica BS 5228-1 (2009) refere-se à necessidade de proteção contra o ruído e a vibração das pessoas que vivem e trabalham nas imediações ou em locais de construção, e recomenda procedimentos para

controle de ruído e vibração em matéria de construção, operações e objetivos para ajudar arquitetos, empreiteiros, cooperativas locais, projetistas, desenvolvedores, engenheiros, autoridade local agentes de saúde ambiental e planejadores.

A norma IEC 651 foi substituída, em 2002, pelo novo IEC 61672: partes 1-3, que também substituem os antigos padrões de SLM (Sound Level Meters). Ela divide os instrumentos em apenas duas classes de desempenho: classe 1 e classe 2, que em comparação com as classificações anteriores, iam do tipo 0 até o tipo 3.

Os de maior precisão são os da Classe 1, destinados à utilização de laboratório ou de campo com tolerâncias de desempenho que se encontram entre o velho Tipo 0 e o Tipo 1. Para uso em campo, instrumentos de uso geral classificados como Classe 2, com tolerâncias que variam entre os antigos Tipo 1 e Tipo 2. As especificações das Classes 1 e 2 têm os mesmos objetivos do projeto, mas diferem nos limites de tolerância aplicáveis (por resposta direcional e ponderação de frequência), faixa de temperaturas operacionais e susceptibilidade a AC e rádio-campos de frequência.

A Parte 1 especifica todos os novos SLMs, incluindo integração e tipos de integração média. A Parte 2 cita detalhes de testes de avaliação padrão necessários para estabelecer a conformidade com as especificações da Parte 1. A Parte 3 especifica um conjunto limitado de testes necessários para verificar se o SLM é apto para um desempenho aceitável em serviço.

Essa nova norma exige que pelo menos um modelo de calibrador seja especificado para verificação e manutenção da correta verificação de calibração. Algumas características dos filtros embutidos, muitas vezes incluídos no SLMs, não são cobertas pela IEC 61672, mas são especificadas pela IEC 61260 padrão [International Standard IEC 61260:1995. Electroacoustics – Octave-band and fractional – octave-band filters].

Os testes para resposta de pico na antiga IEC 60651 não fazem referência à frequência ponderada. A nova norma exige testes do pico de capacidade de medição de nível ponderados em “C” no medidor SLM e, se disponível, é obrigatória a avaliação padrão. Isso por que os níveis de pico ponderados em C, ao invés de níveis lineares, são agora predominantemente utilizados para avaliar os riscos e danos na audição nos ambientes de trabalho. Por exemplo, a Norma Nacional de Ruído Ocupacional (NOHSC, 2000), na Austrália, limita o nível de pressão sonora contínua de um trabalhador em oito horas, ponderado em “A”, 85 dB (A) ou a um nível de pressão sonora de pico ponderado em “C”, de 140 dB (C).

Os limites de ruídos para conforto acústico, fixados pela norma ANSI (1995), são apresentados nas Tabelas 9.

Tabela 9 - Critério para Avaliação do Ruído em Ambientes, conforme a ANSI

Tipo de espaço ou atividade	CRITÉRIOS	
	Valores de ruído de fundo recomendados dB(A)	Máximo nível sonoro no local dB(A)
Locais de conversação contínua, sem uso de telefone	60 – 70	65 – 75
Lojas, garagens, salas de máquinas, cozinhas, lavanderias	45 – 60	52 – 65
Oficinas de manutenção leve, salas de computação	54 – 55	52 – 61
Salas de desenho, oficinas escolares	40 – 50	52 – 61
Escritórios de comércio geral e secretarias	40 – 50	47 – 56
Laboratórios, clínicas e salas de espera	40 – 50	47 – 56
“Halls” públicos, corredores e áreas secundárias	40 – 50	47 – 56
Lojas de varejo, restaurantes e lanchonetes	35 – 45	42 – 56
Grandes escritórios, secretarias e salas de descanso	35 – 45	42 – 56
Salas de estar e de jantar	30 – 40	38 – 47
Salas de aula e bibliotecas	30 – 40	38 – 47
Escritórios semiparticulares e privados	30 – 40	38 – 47
Quartos de dormir de hotéis com condicionamento de ar	30 – 40	38 – 47
Quartos de dormir residenciais ou hospitalares	25 – 35	34 – 42
Escritórios executivos e locais para conferências	25 – 35	34 – 42
Auditórios pequenos (< 500 pessoas) e salas de conferência	Máx. 35	Máx. 42
Pequenas igrejas e sinagogas	Máx. 25	Máx. 38
Estúdios de gravação de rádio/TV com microfone próximo	Máx. 25	Máx. 38
Igrejas e sinagogas com música litúrgica	Máx. 25	Máx. 38
Grandes auditórios para drama, sem música amplificada	Máx. 25	Máx. 38
Estúdios de gravação de rádio/TV com microfone remoto	Máx. 20	Máx. 30
Salas para ópera	Máx. 20	Máx. 30
Salas para música e recitais	Máx. 20	Máx. 30

Fonte: American National Standard Institute – USA – ANSI S12.2, 1995.

Os níveis máximos de ruído recomendados pela Organização Mundial da Saúde para ambientes de convivência humana estão na Tabela 10.

Tabela 10 - Níveis limites de ruído, segundo a Organização Mundial da Saúde

Locais	Nível de ruído Limite – dB(A)
Escolas – no interior das salas de aulas.	30
Perturbação do sono – a pessoa não relaxa totalmente durante o sono, não atingindo os estágios mais profundos do sono e reduzindo o tempo.	30
Hospitais – em quartos e apartamentos.	35
Interferência na comunicação – torna difícil a conversa entre duas pessoas, ou dificulta falar ao telefone ou ouvir rádio ou televisão.	50
Estresse leve, com excitação do sistema nervoso e produção de desconforto acústico.	55
Perda da concentração e do rendimento em tarefas que exijam capacidade de cálculo.	60
Risco de perda auditiva – a pessoa exposta pode contrair perda de audição induzida por ruído para exposições de 8 horas diárias.	75
<i>Dados obtidos de Bergund e Lindvall (1995) e Bergund, Lindvall, Schwela (1999)</i>	

Fonte: (WHO, 1999), adaptado pela autora.

Segundo o departamento de proteção ambiental de Hong Kong (1989), as penalidades para qualquer pessoa que cometa uma infração nos termos da Portaria consistem nas seguintes penas máximas, descritas na tabela 11:

Tabela 11 - Penalidades máximas em Hong Kong

Tipo de ofensa	Penalidade máxima
Ruído doméstico e ruído de espaços públicos	\$10,000
Ruído de construções	\$100,000 na primeira infração e \$200,000 na segunda ou subsequente infração, mais \$20,000 por dia.
Ruído industrial	
Ruído de produtos	
Ruído de sistema de alarme para intrusos instalados em qualquer local	\$10,000 e prisão por 3 meses
Ruído de sistema de alarme instalado em qualquer veículo	\$10,000

Fonte: HONG KONG, 2002.

Tendo em conta a Diretiva Europeia – Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de junho de 2015 (EUROPEIA, 2015) – relativa à avaliação e à gestão do ruído ambiente apresenta como objetivo 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. Para esse efeito, serão progressivamente postas em prática as seguintes ações: Determinação da exposição ao ruído ambiente, através da elaboração de mapas de ruído, com base em métodos de avaliação comuns aos Estados-Membros; Informação do público sobre o ruído ambiente e seus efeitos; Aprovação, pelos Estados-Membros, de planos de ação baseados nos resultados da elaboração de mapas de ruído, a fim de prevenir e reduzir o ruído ambiente sempre que necessário, e em especial quando os níveis de exposição forem susceptíveis de provocar efeitos nocivos para a saúde humana, e preservar a qualidade do ambiente acústico quando seja boa.

Para essa elaboração de mapas de ruído, a Diretiva Europeia requisita uma compilação de dados sobre uma situação de ruído existente ou prevista em termos de um indicador de ruído, demonstrando a ultrapassagem de qualquer valor-limite pertinente em vigor, o número de pessoas afetadas em determinada zona e o número de habitações expostas a determinados valores de um indicador de ruído em determinada zona.

Abrange também os métodos de avaliação dos efeitos sobre a saúde, exigindo as relações dose-efeito a serem utilizadas para avaliar o efeito do ruído sobre a população. Outra característica interessante da Diretiva Europeia é que ela descreve a forma como os mapas acústicos devem ser expostos para os cidadãos, tais como: uma representação gráfica; mapas em que é apresentada a ultrapassagem de um valor-limite; mapas diferenciais, em que a

situação existente é comparada a diferentes situações futuras possíveis, e mapas em que é apresentado o valor de um indicador de ruído a uma altura diferente de 4 m, se adequado.

A Diretiva Europeia também aponta requisitos mínimos para os mapas de ruído estratégicos, que são:

1. Situação sonora existente, anterior ou prevista em função de um indicador de ruído;
2. Ultrapassagem de um valor-limite;
3. Número estimado de habitações, escolas e hospitais em uma determinada zona, expostos a valores específicos de um dado indicador de ruído;
4. Número estimado de pessoas localizadas numa zona exposta ao ruído.

Os mapas de ruído estratégicos podem ser apresentados ao público sob a forma de: figuras, dados numéricos em quadros, dados numéricos sob forma eletrônica. Este trabalho utilizou as recomendações desta diretiva para apresentação dos resultados e análises.

Para concluir, é demonstrada a Tabela 12, com informações compiladas de alguns países sobre os limites de exposição ocupacional ao ruído, de acordo com as normas nacionais de cada país.

Tabela 12 - Limite de exposição ocupacional ao ruído conforme as normas nacionais de diversos países

País	Nível de ruído dB(A)	Tempo de exposição (h) ①	Taxa de divisão dB(A)	Nível máximo dB(A)	Nível de ruído de impacto (dB)
■ Alemanha Oc.	90	8		--	--
■ Alemanha Or.	85	8		--	--
w Alemanha	85	8	3		
■ Japão	90	8		--	--
● França ②	90	40	3	--	--
● Bélgica	90	40	5	110	140
● Inglaterra	90	8	3	135	150
w Inglaterra	83	8	3		
● Itália	90	8	5	115	140
s Itália	90	--	3	115	--
w Itália	85	8	3		
● Dinamarca	90	40	3	115	--
■ Suécia	85	40	3	115	--
■ USA – OSHA	90	8	5	115	140
■ USA – NIOSH	85	8	5	--	--
● Canadá	90	8	5	115	140
● Austrália	90	8	3	115	--

w Austrália	85	8	3		
■ Holanda	80	8		--	--
w Holanda	80	8	3		
s Espanha ③	--	--	--	110	--
w Espanha	85	8	3		
s Turquia ③	95	--	--	--	--
w China	70 - 90	8	3		
w Finlândia	85	8	3		
w Hungria	85	8	3		
w Nova Zelândia	85	8	3		
w Israel	85	8	5		
w Noruega	85	8	3		
■ Brasil	85	8	5	115	130
■ segundo GERGES (1988); ● segundo HAY (1975); s segundo HAY (1982); w segundo SOBRAC (1995) ① Tempo de exposição diária ou semanal. ② Estabelece nível contínuo de prevenção = 85 dB(A) ③ Estabelece nível contínuo de prevenção = 80 dB(A) OSHA : Occupational Safety and Health Administration. NIOSH : National Institute for Occupational Safety and Health.					

Fonte: FUNDACENTRO, 2001.

2.5 Previsões de Cenários Futuros

Conforme explicado anteriormente, a simulação computacional é a ferramenta mais adequada para realizar este estudo, tanto para diagnosticar o ruído atual quanto para prognosticar o ruído futuro, a fim de acrescentar fundamentações para futuras intervenções no planejamento urbano da cidade, mitigando os problemas acústicos da região.

Buarque (2003) afirma que, na medida em que aumentam as incertezas em quase todas as áreas do conhecimento, também cresce a necessidade de análise e reflexão sobre as perspectivas futuras da realidade em que se vive e da qual se planeja.

Sob uma abordagem geral, a técnica de construção de cenários consiste basicamente em um estudo e uma análise da situação atual de um determinado local inserido em um contexto temporal, na qual se encontra a realidade, para a qual serão elaborados os cenários. Posteriormente, realiza-se um estudo entre as variáveis existentes e suas respectivas ocorrências, combinações e possíveis influências de umas sobre as outras. Sendo assim, a partir desses resultados, formulam-se os cenários e selecionam-se os mais prováveis. Lembrando que quanto maior o número de informações e dados, maiores serão a

fundamentação teórica e a firmeza para se definir cenários possíveis e próximos à realidade (VILELA, 2007).

Segundo Lopes (2001), o objetivo principal das técnicas de cenários é permitir a utilização de pontos fortes, desenvolver potencialidades e confrontar ameaças a um determinado sistema, possibilitando definir melhores ações no presente, para a obtenção de resultados mais satisfatórios no futuro.

Desta forma, a previsão futura baseada na técnica de construção de cenários apresenta-se como um importante instrumento para o processo de planejamento e gestão de políticas públicas, bem como para servir de guia nas futuras intervenções urbanas. Esse método será utilizado nesta pesquisa com o objetivo de verificar as consequências acústicas a partir do adensamento construtivo gerado pelas novas construções de edifícios altos na área em estudo.

2.5.1 Software Cadna-A®

Existem diversos softwares de simulação computacional de acústica no mercado, tais como SoundPlan, Predictor – LimA, ou ainda IMMI. Optamos por utilizar o Cadna-A nesta pesquisa, editado pela empresa alemã Datakustik GmbH, por ser um software reconhecido internacionalmente para esse tipo de estudo e devido à disponibilidade do mesmo pelo Grupo de Pesquisas do Ambiente Sonoro, da Universidade Federal de Alagoas (Geas), Brasil (Figura17).

Figura 17 - Licença do programa de Simulação Acústica Cadna-A



Fonte: DATAKUSTIK, 2015.

O Cadna-A (Computer Aided Noise Abatement) leva em consideração todos os parâmetros susceptíveis de influenciar na emissão, propagação e recepção de ruído. Neste subcapítulo, será explicado como ele funciona.

O Princípio de funcionamento do programa é baseado em um modelo computacional que possui diferentes camadas. Cada uma dessas camadas contém objetos de diversas naturezas:

- topografia: modelo digital do terreno com curvas de nível;
- edificações: obstáculos, barreiras, edificações ou objetos susceptíveis de intervir na propagação do ruído;
- rodovias: vias locais, coletoras, estruturais e rodovias.

Quando essas camadas forem modeladas e configuradas, elas são interpostas para formar o modelo computacional, que permite, então, o cálculo de mapas de ruído e níveis sonoros em fachadas.

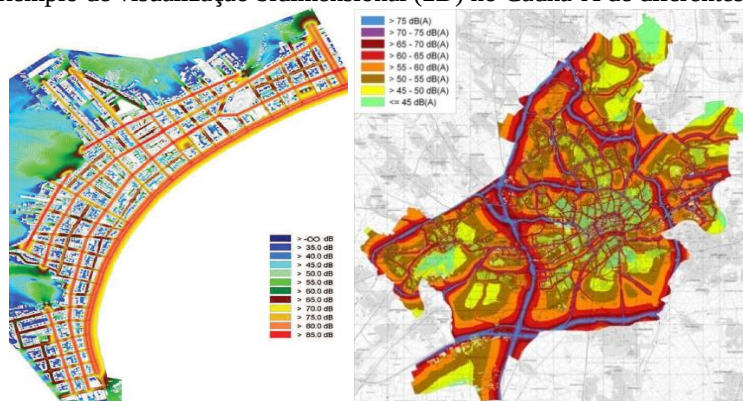
O programa é utilizado para cálculo e avaliação do ruído e da poluição do ar. É composto por um software que permite a organização e a inserção de um grande volume de informações, calculando os níveis de ruído ambiental. Também realiza a predição do ruído e relaciona-o com a contaminação acústica, apresentando, sob forma de mapas, áreas coloridas que correspondem a intervalos de valores de ruído.

Metzen (2009) acrescenta que o software, além de calcular e prever a exposição ao ruído ambiental, ainda inclui os advindos de comércios e indústrias, instalações desportivas e lazer, ou dos sistemas de tráfego, como rodovias, ferrovias, aeroportos ou outras possibilidades de ruído. Trabalha em várias escalas, como a predição de ruído em estudos locais, bem como análises detalhadas de mapeamento de cenários de ruído nas grandes cidades.

A fabricação de simulações computacionais acústicas permite representar a propagação do ruído de forma tridimensional e otimizar os custos futuros, uma vez que beneficia a região com medidas de mitigação antecipada. Sendo uma ferramenta muito poderosa, é de extrema importância que a qualidade dos dados de entrada seja exata, pois a qualidade dos resultados dependerá basicamente disso. Ou seja, é imprescindível garantir que os dados de entrada sejam corretamente levantados e configurados no software de simulação.

Na simulação do programa Cadna-A®, da Datakustik GMBH (DATAKUSTIK, 2015), é possível editar os componentes que influenciam a emissão de som através das fontes sonoras e a propagação, podendo-se editar os efeitos de absorção, reflexões e inserções de barreiras sonoras. A apresentação dos resultados é dada através de mapas de ruído, com diferenciação por cor ou por linhas de contorno dos níveis sonoros obtidos, com visualização bidimensional (2D) (Figura 18), tridimensional (3D) (Figura 19) e em corte.

Figura 18 – Exemplo de visualização bidimensional (2D) no Cadna-A de diferentes escalas urbanas

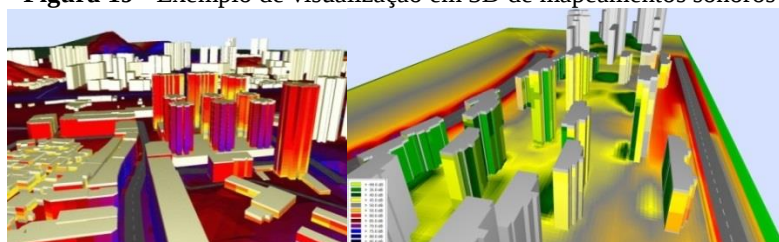


Fonte: DATAKUSTIK, 2015.

Feito o modelo, considera-se o trajeto direto da propagação do som em relação a cada receptor, o que inclui a atenuação, devido ao efeito da distância (divergência geométrica), à absorção pela atmosfera e ao efeito do solo e à difração em torno dos obstáculos. Também são consideradas as reflexões sonoras, podendo ser configurada a quantidade de reflexões que ocorrerá dentro do modelo (CARVALHO, 2006).

Além da disponibilidade oferecida pela Universidade Federal de Alagoas, o software foi escolhido devido à sua capacidade de modelar a propagação sonora e fornecer resultados gráficos com níveis de pressão sonora distribuída ao longo dos perfis verticais e horizontais do espaço urbano.

Figura 19 - Exemplo de visualização em 3D de mapeamentos sonoros



Fonte: DATAKUSTIK, 2015.

As fontes de ruído podem ser representadas, neste software, por estradas, ruas, ferrovias, indústrias, fontes pontuais ou lineares. No caso, utilizaram-se fontes pontuais para representar o barulho do canteiro de obras em cada fachada da construção. No entanto, a legislação brasileira não possui qualquer regulamentação específica que contemple as variáveis de propagação, reflexão, difração ou outros efeitos relativos às fontes sonoras, que são importantes fatores a serem considerados no mapeamento do ruído. Por isso, os cálculos foram realizados através do método Francês NMPB-2008, recomendado pela Diretiva Europeia 2002/49/CE (EUROPEIA, 2015):

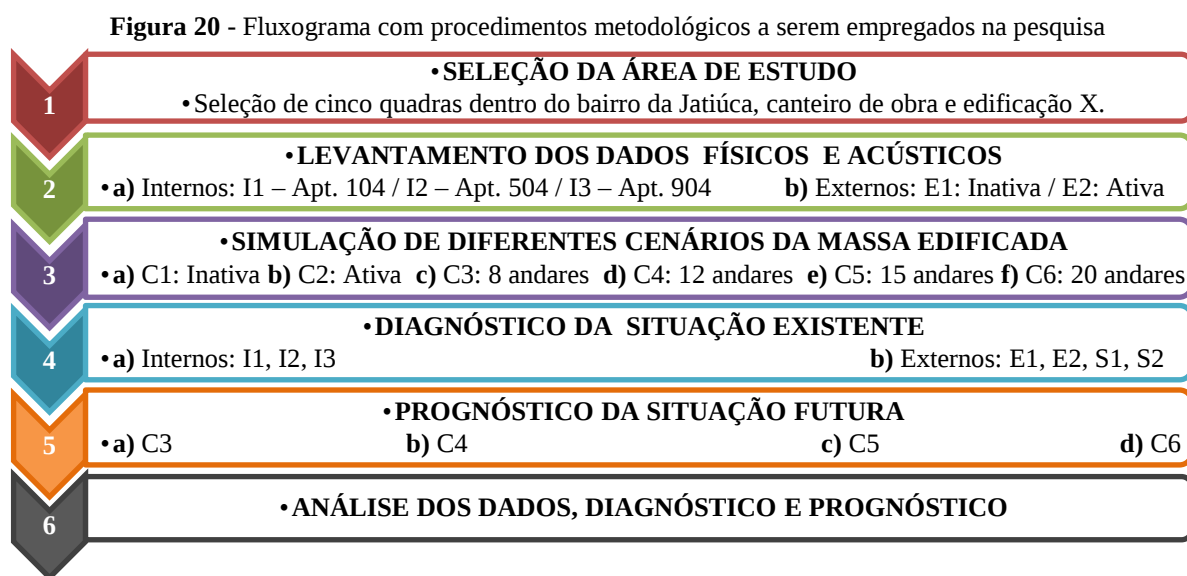
2. A presente diretiva destina-se também a fornecer a base para desenvolver medidas comunitárias de redução do ruído emitido pelas principais fontes, nomeadamente veículos e infraestruturas rodoviárias e ferroviárias, aeronaves, equipamento industrial e de exterior e maquinaria móvel.

Possibilita, assim, a elaboração de uma predição do ruído do tráfego de veículos e dos equipamentos industriais utilizados no canteiro de obra, permitindo uma simulação satisfatória para a complexidade do cenário real apresentado para a cidade de Maceió, conforme validação realizada por Giunta (2013).

A seguir, serão apresentados os materiais e métodos da metodologia empregada no trabalho, bem como as especificações do recorte para o estudo de caso.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este Capítulo descreve o método e os materiais aplicados para o desenvolvimento do trabalho. A metodologia empregada para o desenvolvimento desta pesquisa deu-se nas seguintes etapas:



Fonte: A autora, 2016.

Visando alcançar o objetivo principal e os objetivos específicos propostos nesta pesquisa, ou seja, verificar a influência da construção de um canteiro de obra predial na qualidade acústica na malha urbana em que se encontra e nos ambientes internos do edifício vizinho (aqui chamado de “Edifício X”), simulando acusticamente possíveis cenários de malha urbana e utilizando uma porção do bairro da Jatiúca como campo experimental, o trabalho foi dividido em Cenários: 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, para melhor entendimento do processo e etapas do estudo.

O método empregado na pesquisa foi a comparação entre simulações de mapeamentos sonoros de diferentes cenários urbanos propostos para um mesmo recorte espacial e que envolveram alterações em parâmetros da massa edificada (HxT.O.).

Primeiramente, estudou-se o cenário acústico atual da região, onde foi verificado o nível de pressão sonora no interior dos quartos do 1º, 5º e 9º andar, localizados no Edifício X (adjacente ao canteiro de obras). Posteriormente, foi realizada a medição do LAeq (Nível de Pressão Sonora equivalente, em decibels ponderados em "A") em pontos demarcados da malha urbana, sob duas perspectivas: com a obra ativa e inativa. Em seguida, foram realizadas simulações acústicas de cenários hipotéticos.

O trabalho foi dividido em três fases, de acordo com o esquema a seguir:

1. Estudo do cenário acústico atual da região:
 - a) verificação do NPS no interior dos quartos em terminação 4 do 1º, 5º e 9º andar, localizados no edifício adjacente ao canteiro de obras (Edifício X). Com a obra ativa;
 - b) medição do NPS em pontos demarcados da malha urbana, sob duas perspectivas: com a obra ativa e inativa.
2. Criação dos mapas bidimensionais do campo acústico local:
 - a) coleta dos dados para a alimentação do software Cadna-A®, da Datakustik GMBH, 2005, versão 4.4;
 - b) modelagem e simulações acústicas:
 - ✓ modelagem geométrica da região;
 - ✓ inserção das principais fontes sonoras;
 - ✓ calibração do modelo acústico da região;
 - ✓ mudança na altura das edificações de 1 e 2 pavimentos existentes para 8 pavimentos;
 - ✓ mudança na altura das edificações de 1 e 2 pav. existentes para 12 pav.;
 - ✓ mudança na altura das edificações de 1 e 2 pav. existentes para 15 pav.;
 - ✓ mudança na massa edificada com menor T.O. e altura de 20 pavimentos;
 - ✓ cálculo dos mapeamentos acústicos.
3. Análise e diagnóstico dos resultados confrontados entre situação real, prospecções obtidas nas simulações acústicas e os mapas de conflito com as normas NBR 10.151 (ABNT, 2000) e também a utilização das curvas de *FONS* e *NOYS* (explicados na revisão de literatura) para obtenção da classificação do incômodo do ruído dos moradores da região.

3.1 A cidade de Maceió (AL)

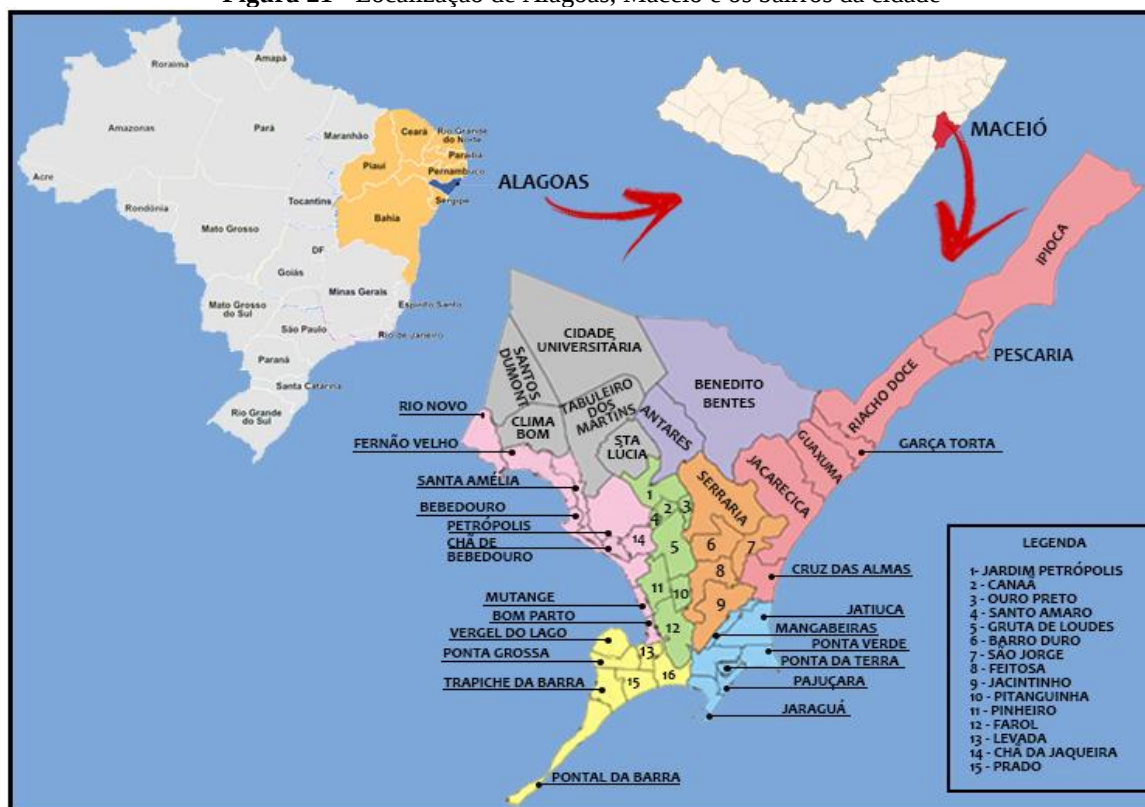
Maceió, capital do Estado de Alagoas, está localizada na região Nordeste do Brasil. O povoado que lhe deu origem surgiu de um engenho de açúcar. A cidade foi fundada em 05 de dezembro de 1815, tendo apenas 201 anos de existência, podendo ser considerada um município ainda jovem. Porém, devido ao seu rápido crescimento nos últimos anos, a exemplo do ocorrido nas demais cidades brasileiras, Maceió possui, hoje, tamanho compatível a outras cidades médias do país. Segundo estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2010, a cidade tinha uma população de 932.748 habitantes, com

densidade populacional de 1.854,1 hab/km². Estimava-se que teria 1.013.773 em 2015 (IBGE, 2010).

Segundo Barbirato et al. (2000), Maceió constitui um bom exemplo de constância de nível térmico que caracteriza o litoral do Nordeste brasileiro, pois possui um clima quente e úmido, temperatura média anual de 25,4°C e variação anual de 3,4°C entre os valores médios mensais das temperaturas médias de 26,7°C em fevereiro e 23,7°C em julho (máximas médias de 30,2°C e mínima média 21,1°C), e valores extremos de temperatura (máxima absoluta 38°C em janeiro e mínima absoluta 11,0°C em junho) e uma alta umidade relativa média (78%).

Utilizando dados do INMET e NMRH-AL, Barbirato et al. (2000) afirma que a cidade está sob influência alternada dos ventos alísios de Sudeste, mais frequente (de velocidade fraca a moderada), e os ventos de retorno do Nordeste nos meses mais quentes (janeiro, fevereiro e março).

Figura 21 - Localização de Alagoas, Maceió e os bairros da cidade



Fonte: A autora, 2016.

A cidade de Maceió encontra-se ao nível do mar, numa zona litorânea, sendo sua parte leste banhada pelo Oceano Atlântico (Figura 21), cujas coordenadas geográficas indicam uma Latitude: -9.66625, Longitude: -5.7351 / 9° 39' 59" Sul, 35° 44' 6" Oeste.

A seguir será apresentado um pouco da história da cidade de Maceió, com destaque para sua evolução urbana e processo de verticalização na área em estudo.

3.1.1 O Bairro da Jatiúca – Maceió, Alagoas

Este subcapítulo apresenta e contextualiza o ambiente em análise.

O bairro da Jatiúca possui um território de 29.071,454 km² e tem seus limites demarcados pelos bairros de Mangabeiras, Poço, Cruz das Almas e Ponta Verde (Figura 22).

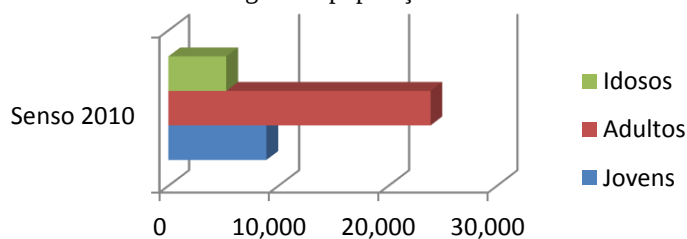
Figura 22 - Limites do bairro da Jatiúca



Fonte: A autora, 2015.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o bairro da Jatiúca possui uma densidade populacional de 38.027 habitantes, sendo 16.639 (48,8%) homens e 21.388 (56,2%) mulheres. A densidade demográfica para essa região é de 13.367,73 hab./Km², estando os adultos (pessoas de 20 a 59 anos) em maioria, seguidos pelos jovens (do nascimento aos 19 anos), com 8.906 habitantes. Os idosos no bairro são minoria (pessoas com mais de 60 anos), com 5.264 habitantes. Dessa forma, a população da Jatiúca é composta por 15,9% de jovens e 9% de idosos, como demonstra o Gráfico 3.

Gráfico 3 - Porcentagem da população do bairro da Jatiúca



Fonte: IBGE (2010), adaptado pela autora.

No princípio, o bairro da Jatiúca possuía apenas uma área de vasta vegetação de coqueirais. Não existiam casas, nem ruas asfaltadas. Na década de 1970, Théo Brandão

(folclorista alagoano) foi o percussor dessa região, construindo a primeira casa em seu sítio, nomeado Jatiúca (Figura 23), que dá o nome ao bairro nos dias atuais.

Figura 23 - Primeira edificação no bairro da Jatiúca

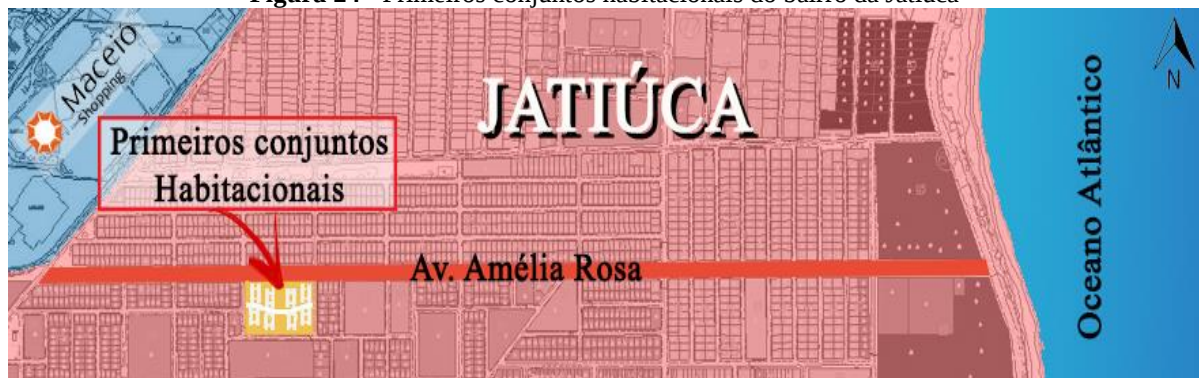


Fonte: Bairros de Maceió, 2010.

No final dos anos 1970, os bairros vizinhos, Ponta Verde e Pajuçara, começaram as obras de infraestrutura, com abertura e melhoria das vias de acesso, assim como também a construção de conjuntos habitacionais, resultando “na preparação do lugar para a exploração econômica delineando a sua valorização enquanto área de investimentos de capitais imobiliário e comercial” (LOPES; JUNQUEIRA, 2005, p. 23).

Os primeiros conjuntos habitacionais no bairro da Jatiúca foram Castelo Branco, Pratagi e Santa Cecília (Figura 24), situados na porção afastada da orla marítima, visando à proximidade com o centro da cidade e o porto.

Figura 24 - Primeiros conjuntos habitacionais do bairro da Jatiúca



Fonte: A autora, 2011.

No final da década de 1980, deu-se início ao projeto de implantação de um novo shopping center para a cidade, o Shopping Center Iguatemi (hoje Maceió Shopping), no bairro vizinho, Mangabeiras, nas imediações do bairro da Jatiúca. Interessados na valorização de propriedades, outras construções e aberturas de teor comercial foram implantadas, como os hotéis Jatiúca e Meliá. Todos esses fatores impulsionaram o turismo da região, bem como a

implantação de novas vias internas e vias externas para interligar o bairro aos demais vizinhos. Além do potencial turístico, esses bairros são predominantemente residenciais, apresentando também, em seus principais corredores de circulação, comércio e serviços bastante diversificados.

Apesar de seu processo de adensamento ainda ser menor, a partir dos anos 2000, com a aprovação do Plano Diretor de Maceió em 2005 (2005) e novos parâmetros urbanísticos, que liberaram o gabarito para construção em altura, iria se tornar uma das áreas de expansão com grande potencial para verticalização.

Nos dias atuais, o bairro da Jatiúca possui um dos mais valorizados metros quadrados da cidade e encontra-se bastante desenvolvido, tendo a maioria dos seus lotes ocupados.

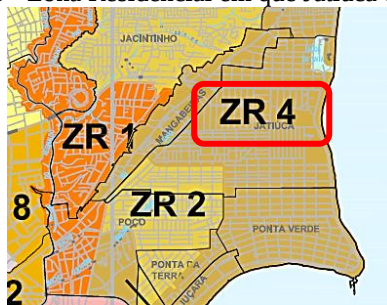
Jatiúca está localizado em uma macrozona de adensamento controlado e na Zona Residencial 4 (Figura 25), de acordo com o Código Municipal de Urbanismo e Edificações de Maceió em 2007:

Art. 29. A Zona Residencial do tipo 4 (ZR-4) é a área na cidade destinada à ocupação predominante do uso residencial, observando, também, as seguintes diretrizes:

I – verticalização restrita ao Cone do Farol da Marinha;

II – possibilidade de implantação de atividades comerciais, de serviços e industriais, até o grupo IV, compatibilizados ao uso residencial, sem prejuízo da avaliação dos impactos ambientais e urbanos.

Figura 25 - Zona Residencial em que Jatiúca está situada

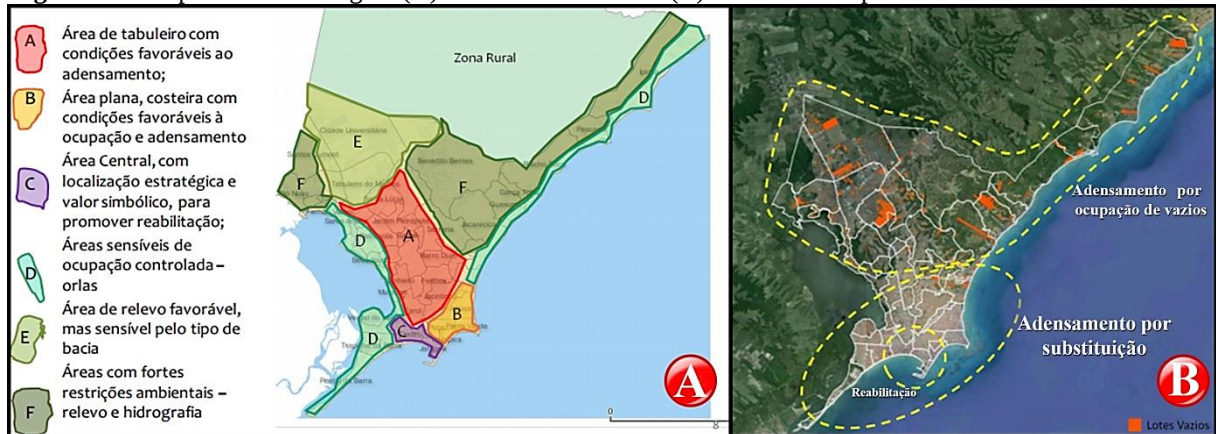


Fonte: Código de urbanismo e edificações do município de Maceió, 2007.

Ainda no Código Municipal de Urbanismo e Edificações de Maceió (2007) – para os bairros de Ponta Verde, Jatiúca e parte de Cruz das Almas –, o coeficiente básico de aproveitamento é 4 e o coeficiente máximo 4,5 para uso UR-5 (quando a gleba ou lote for implantada uma edificação multifamiliar com três ou mais pavimentos).

A atual revisão do plano diretor de Maceió está acontecendo desde 2015 e a última reunião foi em março de 2016 (MACEIÓ, 2016). No caderno técnico da audiência realizada em 12/03/2016, define-se o bairro da Jatiúca como Área plana, costeira com condições favoráveis à ocupação e adensamento, como demonstra a Figura 26 (A).

Figura 26 - Mapa Macroestratégico (A) e Macrozoneamento (B) na revisão do plano diretor de 2016 em Maceió

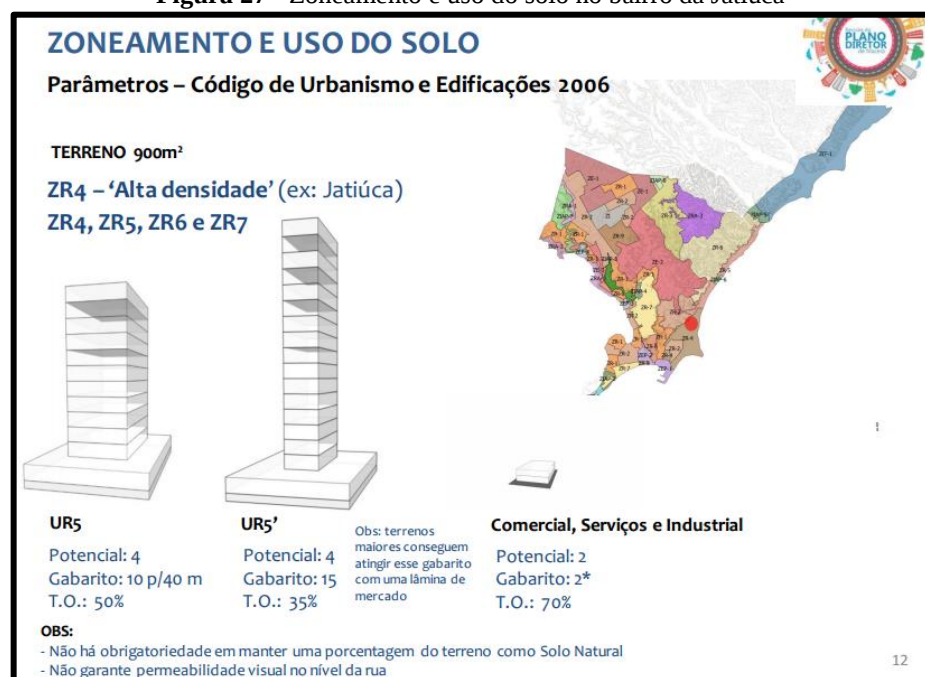


Fonte: MACEIÓ, 2016. Adaptado.

No mapa da Figura 26 (B) da mesma proposta de revisão do plano diretor, é possível visualizar a intenção de um adensamento por substituição das atuais moradias (casas térreas) por edifícios multifamiliares no bairro da Jatiúca.

A revisão relembra como é o uso do solo de acordo com o código de Urbanismo e Edificações de 2016, permitindo para Jatiúca edifícios com 10 pavimentos e T.O. de 50% do terreno e até 15 pavimentos com T.O. de 35% (Figura 27). Foi sugerido por participantes da atual revisão, que esta região se enquadrasse às cidades de maior porte como o Recife, por exemplo, onde é utilizado a T.O. de 25% e gabaritos com mais de 20 andares para melhor aproveitamento da ventilação natural provinda da praia. O presente estudo também levará em consideração essa sugestão nas simulações e análises.

Figura 27 - Zoneamento e uso do solo no bairro da Jatiúca



Fonte: MACEIÓ, 2016.

3.1.2 A Evolução Urbana da Orla de Maceió *versus* Ruído Urbano

Em depoimento à *Revista Em Foco* (2007 p. 10), o arquiteto e nativo da cidade de Maceió Edalmo Lobo⁷ relata sobre o processo de verticalização na faixa litorânea:

em função do Cone do Farol (Figura 28), para direcionar a navegação, os prédios construídos na faixa litorânea do meio da Praia da Avenida à Jatiúca ficaram limitados na sua altura, na média, em oito pavimentos. [...] Quanto mais área horizontal for ocupada, menor será o espaçamento entre um prédio e outro. Quanto menor for a ocupação horizontal (em favor da verticalização) haverá mais espaço entre os prédios. Sabemos que para algumas pessoas, prédios muito altos causam “sensação de desconforto”, daí serem contra que Maceió tenha prédios muito altos, modificando seu padrão estético. A cidade não deveria ser legislada por “sensações”, pois isso é muito pessoal, e a cidade é um todo – e sim por parâmetros técnicos a fim de se definir o que é melhor para a cidade de hoje e a de amanhã, em termos de saneamento, transporte, qualidade de vida e equilíbrio na sua ocupação. [...] Em minha opinião, se tivéssemos prédio com 16 pavimentos, na Ponta Verde, no lugar dos de 8 andares, o número de apartamentos por andar seria reduzido pela metade e consequentemente melhoraria consideravelmente a ventilação e a vista, sem mudar o adensamento da área.

Para detalhar essa conexão entre ventilação, ruído e disposição dos prédios na cidade, pode se citar Matos e Santos (1996 p. 1):

Para reduzir o ruído, é importante lembrar que o som se propaga no ar e nos sólidos sob forma de vibração. A maior parte das fontes sonoras produzem simultaneamente ruídos aéreos e ruídos transmitidos por vibrações de sólidos.

Figura 28 - Raio de visibilidade do Cone do Farol



Fonte: A autora, 2015.

Segundo Cavalcante (2014), alguns dos primeiros edifícios verticais na orla de Maceió, como o Ed. Versailles, o Graciliano Ramos (Figura 30) e o Barroca (Figura 29),

⁷ Edalmo Lobo é um dos arquitetos mais atuantes no mercado imobiliário de Maceió, constando em seu portfólio o projeto de 110 edifícios verticais na cidade, muitos no bairro estudado, porém a maioria a partir da segunda quadra.

teriam, por serem mais antigos, a altura de seus gabaritos ainda não delimitada pela legislação que incorporava as restrições do raio de visibilidade do Farol, apesar de tal legislação, Lei Federal nº 6.421, já existir desde 1977. (BRASIL, 1977).

Figura 29 - Edif. Barroca



Fonte: CAVALCANTE, 2014.

Figura 30 - Edif. Solar Graciliano Ramos em reforma



Fonte: CAVALCANTE, 2014.

O código de edificações vigente no ano de 1989 limitava o número de pavimentos da orla em 6 pavimentos tipo, não contando com o pilotis, e deveria ser escalonada a altura dos edifícios progressivamente (um pavimento por quadra) a partir dos lotes da primeira quadra em direção ao interior dos bairros (CAVALCANTE, 2014).

Com a chegada da Lei Municipal 4.138, de 26 de agosto (1992), instituiu-se uma inovação do recuo compensatório nas edificações. Na época, muitos argumentavam que a arquitetura da orla estava originando uma malha cheia de “caixões”, onde o arquiteto não poderia explorar plasticamente as potencialidades dos projetos através de recortes e saliências. Assim, a dinamicidade plástica poderia vir com a possibilidade de a área de armários embutidos e elevadores em sacada (CAVALCANTE, 2014).

A Lei Municipal 5.354 (2004), determinou que área mínima na área dos apartamentos deixasse de ser exigida, e só haveria limitação nas áreas de uso comum, permitindo maior liberdade criativa no processo de composição dos espaços internos privados, sob o argumento de que o próprio mercado selecionaria e ditaria as tipologias de planta (CAVALCANTE, 2014).

Cavalcante e Lins (2003 p. 4) afirmam que a valorização do litoral leste de Maceió perdura até hoje, desde a década de 1980, e o processo da verticalização “estimulada pelo crescimento da demanda dos setores de média e alta renda, e pela proximidade com o único espaço de lazer natural de que a cidade dispõe, a praia”.

No bairro da Jatiúca, nos dias atuais, o coeficiente básico de aproveitamento é 4 e o coeficiente máximo 4,5 para uso UR-5, ou seja, pode-se construir com uma taxa de ocupação do terreno de 50% com 10 andares e 35% com 15 andares. Na revisão atual do plano diretor

da cidade, houve a cogitação da porcentagem de 25% em 20 andares para essa localidade, dentre outras opções relacionadas. Mas, por se aproximar de cidades com maior porte no Nordeste, como Recife e João Pessoa, será utilizada essa tipologia como uma das simulações apresentadas por este trabalho.

3.2 Seleção do Objeto em Estudo

Foram selecionados cinco quarteirões que pudessem ser representativos para a realização do estudo. A fração urbana elegida está situada nas imediações da Rua Almirante Álvaro Calheiros (Figura 31), região que possui a maioria dos lotes ainda com pavimentos térreos ou com dois andares, dentro do plano diretor da cidade, está localizada na ZR4.

Optou-se por analisar esta região devido ao recente estudo de modificação do plano diretor e à grande quantidade de investimentos em novas moradias em formato de prédios multifamiliares nas últimas décadas, indicando o processo de verticalização da área, o que possibilita analisar *in loco* a situação atual da área ainda com tipologia térrea e a averiguação dos objetivos desta pesquisa de forma sólida.

Figura 31 - Fração urbana selecionada para o presente estudo



Fonte: A autora, 2016.

A Figura 31 apresenta a localização da fração selecionada para estudo no mapa do bairro da Jatiúca, do canteiro de obra e Edifício X (foi necessário renomear esse edifício devido a valores éticos a fim de resguardar os interesses da propriedade particular). Este é o canteiro de obra que será analisado acusticamente com a obra em pleno funcionamento e obra

inativa, tanto dentro dos apartamentos do Edifício X, quanto no entorno da malha urbana recortada para estudo.

3.3 Levantamento de Dados

A partir de pontos de medição de níveis de pressão sonora no entorno do canteiro de obras, foram caracterizados e contabilizados o fluxo de tráfego e a composição da via. O levantamento desses dados foram realizados em dias de semana (de segundas a sextas-feiras) e em horários considerados de maior fluxo de veículos (das 7h00 às 8h00, no horário diurno, e das 17h30 às 18h30, fim da tarde), evitando-se as situações atípicas geradas pelos fins de semana e feriados.

Alguns cuidados durante as medições foram rigorosamente considerados:

- a) não houve interferência da ação do efeito de ventos sobre o microfone;
- b) não houve medições efetuadas com a interferência de fenômenos da natureza (trovões, chuvas fortes etc);
- c) foram aplicadas as correções necessárias às características peculiares do ruído.

Para melhor visualização dos dados levantados *in loco* será utilizado uma legenda com abreviaturas designadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Lista de abreviaturas para apresentação do levantamento de dados

Abreviatura	Descrição
M	Medição do NPS
I	Interna
E	Externa
A	Obra Ativa
In	Obra Inativa
<i>n</i>	Número do apartamento ou ponto de medição externo

Fonte: A autora, 2016.

Por exemplo:

- a) MIA104 – Medição Interna com a obra Ativa no apartamento 104.
- b) MEIn2 – Medição Externa com a obra Inativa no ponto 2.

A seguir, serão descritos os procedimentos para o levantamento de dados físicos e do nível de pressão sonora da região em estudo, bem como o produto final dos materiais levantados *in loco*.

3.3.1 Dados Físicos do entorno

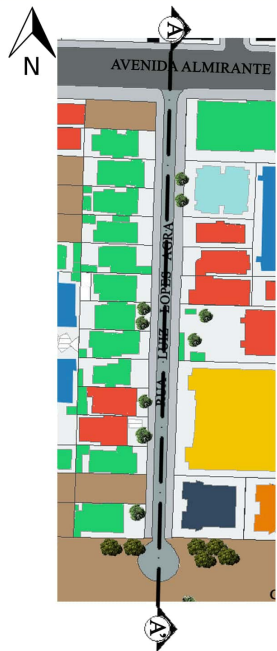
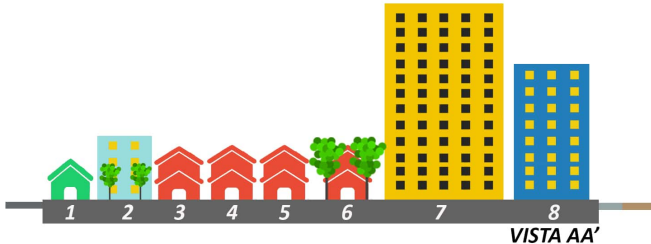
Inicialmente, foram levantados os dados físicos em todo o perímetro do recorte selecionado para o estudo, tais como: o tipo de pavimentação das vias, as alturas das edificações das quadras urbanas quadros, as principais avenidas, vias, áreas livres, edificações, vegetação, área livres existentes. Para esse levantamento, foram considerados 3 metros de altura para edificações térreas e 6 metros para edificações com dois pavimentos e realizado através de mapas cadastrais (disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Maceió) e visitas *in loco*, e complementado por visualização no Google Earth® (acessado on-line), que será demonstrado em formato ampliado na Figura 32, na página 76.

Para melhor compilação e apresentação dos dados físicos do entorno coletados, serão apresentadas em sua composição, nos Quadros 3, 4, 5 e 6, em formato ampliando para melhor visualização, a caracterização do entorno urbano em estudo, bem como a ilustração das fachadas de cada lado das ruas abordadas.

Figura 32 – Recorte da área em estudo



Fonte: A autora, 2016.

Rua Luiz Lopes Agra		
PLANTA BAIXA	PERFIL VERTICAL DA RUA	CARACTERIZAÇÃO
	 VISTA AA'	Perfil da rua em “U”. Margeada em um dos lados (vista AA’) por uma edificação de 8 pavimentos e outra com 12 pavimentos, as demais edificações são de 1 ou 2 pavimentos. Tipo de trânsito: Leve - 5 carros a cada 20 minutos. / Tipo de solo da via: Paralelepípedo Largura da Via: 5,5 metros / Largura da calçada: 3 metros / Piso calçada: Cimento e cerâmica Entorno Urbano: Fachadas com materiais reflexivos (paredes de alvenarias rebocadas e revestidas com pintura); Muros residenciais de alvenaria rebocada com tinha ou pedras e nos edifícios muros com cerâmica; Presenças pontuais de vegetação na calçada.
FOTOGRAFIA 180° - PANORÂMICA 		
PLANTA BAIXA	PERFIL VERTICAL DA RUA	CARACTERIZAÇÃO
	 VISTA BB'	Perfil da rua em “U”. A vista BB’ apresenta a configuração do lado da rua com edificações térreas ou com dois pavimentos. Tipo de trânsito: Leve - 5 carros a cada 20 minutos. / Tipo de solo da via: Paralelepípedo Largura da Via: 5,5 metros / Largura da calçada: 3 metros / Piso calçada: Cimento e cerâmica Entorno Urbano: Fachadas com materiais reflexivos (paredes de alvenarias rebocadas e revestidas com pintura); Muros residenciais de alvenaria rebocada com tinha ou pedras; Presenças pontuais de vegetação na calçada.
FOTOGRAFIA 180° - PANORÂMICA 		

Rua Olidina Campos Teixeira		
PLANTA BAIXA	PERFIL VERTICAL DA RUA	CARACTERIZAÇÃO
	 VISTA AA'	Perfil da rua em “U”. Margeada em um dos lados (vista AA’) por uma edificação com 10 andares, as demais edificações são de 1 ou 2 pavimentos. Tipo de trânsito: Leve - 12 carros a cada 20 minutos. / Tipo de solo da via: Paralelepípedo Largura da Via: 6 metros / Largura da calçada: 3 metros / Piso calçada: Cimento e cerâmica Entorno Urbano: Fachadas com materiais reflexivos (paredes de alvenarias rebocadas e revestidas com pintura, pastilhas cerâmicas pintadas, concreto, vidro, etc...); Muros residenciais de alvenaria rebocada com tinha ou pedras; Poucos pontos de vegetação na calçada.
	FOTOGRAFIA 180° - PANORÂMICA 	
PLANTA BAIXA	PERFIL VERTICAL DA RUA	CARACTERIZAÇÃO
	 VISTA BB'	Perfil da rua em “U”. A vista BB’ apresenta o perfil com edificações com 9, 10 e 12 andares, as demais edificações são de 1 ou 2 pavimentos. Tipo de trânsito: Leve - 12 carros a cada 20 minutos. / Tipo de solo da via: Paralelepípedo Largura da Via: 6 metros / Largura da calçada: 3 metros / Piso calçada: Cimento e cerâmica Entorno Urbano: Fachadas com materiais reflexivos (paredes de alvenarias rebocadas e revestidas com pintura, pastilhas cerâmicas, concreto, vidro, etc...); Muros frontais dos condomínios com altura média de 2,5 m e muros residenciais de alvenaria rebocada com tinha ou pedras; Presenças pontuais de vegetação na calçada.
	FOTOGRAFIA 180° - PANORÂMICA 	

Rua Doutora Rosa Cabus

PLANTA BAIXA	PERFIL VERTICAL DA RUA	CARACTERIZAÇÃO
	 VISTA AA'	Perfil da rua em “U”. Margeada em um dos lados (vista AA’) por uma edificação com 5 andares, as demais edificações são de 1 ou 2 pavimentos. Tipo de trânsito: Leve - 9 carros a cada 20 minutos. / Tipo de solo da via: Paralelepípedo Largura da Via: 6 metros / Largura da calçada: 3 metros / Piso calçada: Cimento Entorno Urbano: Fachadas e muros dos edifícios com materiais reflexivos (paredes de alvenarias rebocadas e revestidas com pastilhas cerâmicas, concreto, vidro, etc...); Muros residenciais de alvenaria rebocada com tinta ou pedras; Presenças pontuais de vegetação na calçada.
		
PLANTA BAIXA	PERFIL VERTICAL DA RUA	CARACTERIZAÇÃO
	 VISTA BB'	Perfil da rua em “U”. Margeada em um dos lados (vista BB’) por edificações com 10, 9 e 12 andares (estudo de caso e a construção analisada), as demais edificações são de 1 ou 2 pavimentos. Tipo de trânsito: Leve - 9 carros a cada 20 minutos. / Tipo de solo da via: Paralelepípedo Largura da Via: 6 metros / Largura da calçada: 3 metros / Piso calçada: Cimento e cerâmica Entorno Urbano: Fachadas com materiais reflexivos (paredes de alvenarias rebocadas e revestidas com pintura, pastilhas cerâmicas, concreto, vidro, etc...); Muros frontais dos condomínios com altura média de 2,5 m e muros residenciais de alvenaria rebocada com tinta ou pedras; Presenças pontuais de vegetação na calçada.
		

Rua José Alves Morgado		
PLANTA BAIXA	PERFIL VERTICAL DA RUA	CARACTERIZAÇÃO
	 VISTA AA'	Perfil da rua em “U”. Margeada em um dos lados (vista AA’) por uma edificação com 4 andares, as demais edificações são de 1 ou 2 pavimentos. Tipo de trânsito: Leve - 7 carros a cada 20 minutos. / Tipo de solo da via: Paralelepípedo Largura da Via: 6 metros / Largura da calçada: 3 metros / Piso calçada: Cimento Entorno Urbano: Fachadas com materiais reflexivos (paredes de alvenarias rebocadas e revestidas com pintura); Muros residenciais de alvenaria rebocada com tinha ou pedras; Presenças pontuais de vegetação na calçada.
FOTOGRAFIA 180° - PANORÂMICA		
	 VISTA BB'	Perfil da rua em “U”. Margeada em um dos lados (vista BB’) por uma edificação de 4 andares, as demais edificações são de 1 ou 2 pavimentos. Tipo de trânsito: Leve - 7 carros a cada 20 minutos. / Tipo de solo da via: Paralelepípedo Largura da Via: 6 metros / Largura da calçada: 3 metros / Piso calçada: Cimento Entorno Urbano: Fachadas com materiais reflexivos (paredes de alvenarias rebocadas e revestidas com pintura); Muros residenciais de alvenaria rebocada com tinha ou pedras; Presenças pontuais de vegetação na calçada.
FOTOGRAFIA 180° - PANORÂMICA		

3.3.2 Dados Acústicos – NPS Interno

Após a coleta de dados físicos, foram realizadas as medições do NPS, por meio de aquisição dos espectros de frequência em bandas de 1/3 de oitava nos ambientes internos (mais especificamente dentro dos dormitórios dos apartamentos nos andares 1, 5 e 9 do Edifício X), como ilustra a Figura 33 e 35, utilizando os parâmetros normativos estipulados pela NBR 10.152 (ABNT, 1987) com a obra ativa, para que desta forma seja possível analisar o impacto que o canteiro de obra exerce sob o interior do Edifício X.

Figura 33 - Localização das medições internas, vista externa



Fonte: A autora, 2016.

3.3.2.1 Equipamentos utilizados

A avaliação ocorreu com base em medições do nível equivalente de pressão sonora com o equipamento de sonômetro da 01DB (Figura 34), com data de calibração pela empresa responsável com vencimento para 2017 e calibrado manualmente antes de cada medição.

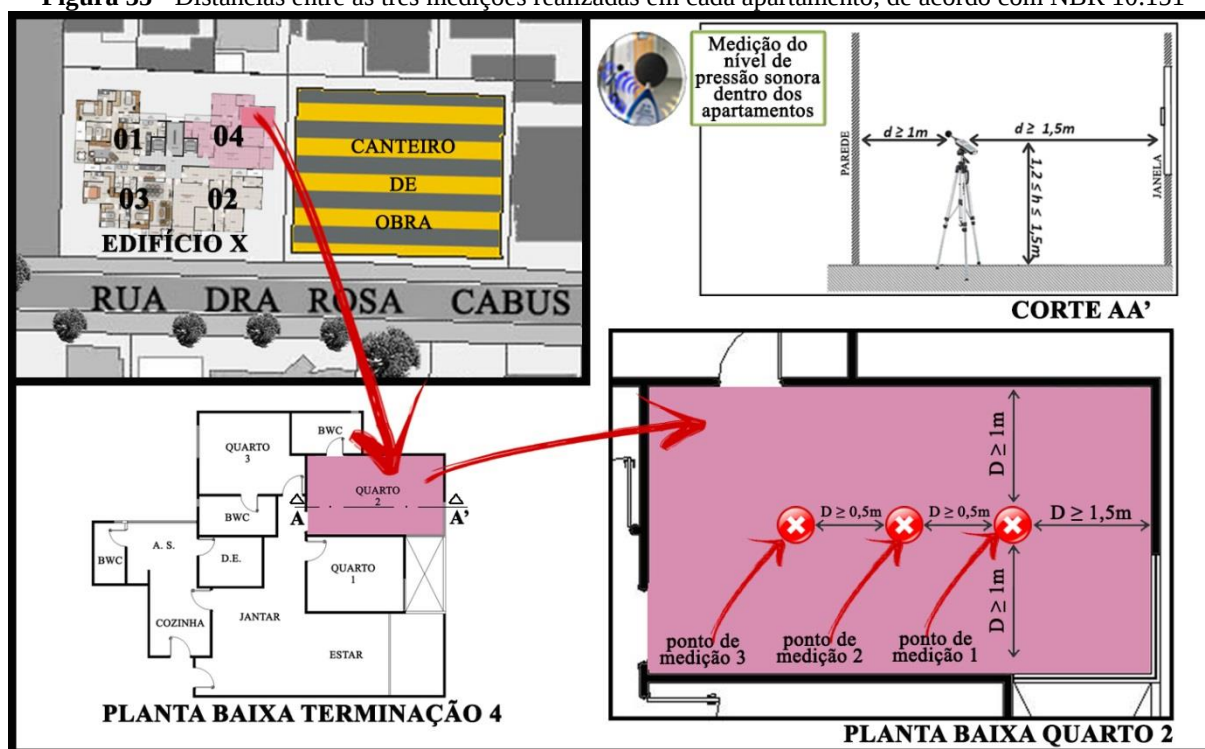
Figura 34 - Instrumentos utilizados para medição do nível de pressão sonora



Fonte: A autora, 2015.

Todas as medições foram realizadas no mês de fevereiro de 2016, no período diurno. Para cada amostra, três medições consecutivas de nível sonoro equivalente-contínuo na escala de ponderação A (L_{Aeq}) em pontos distintos e afastados entre si pelo menos 0,5 m (Figura 35), para que pudessem ser realizadas as médias aritméticas dessas três medições, a fim de aferir a real situação acústica do local estudado. Para cada registro, estabeleceu-se um tempo de medição de 15 minutos e em bandas de oitava, a fim de observar os tipos ruídos emitidos pelo canteiro de obra ao lado.

Figura 35 - Distâncias entre as três medições realizadas em cada apartamento, de acordo com NBR 10.151



Fonte: A autora, 2015.

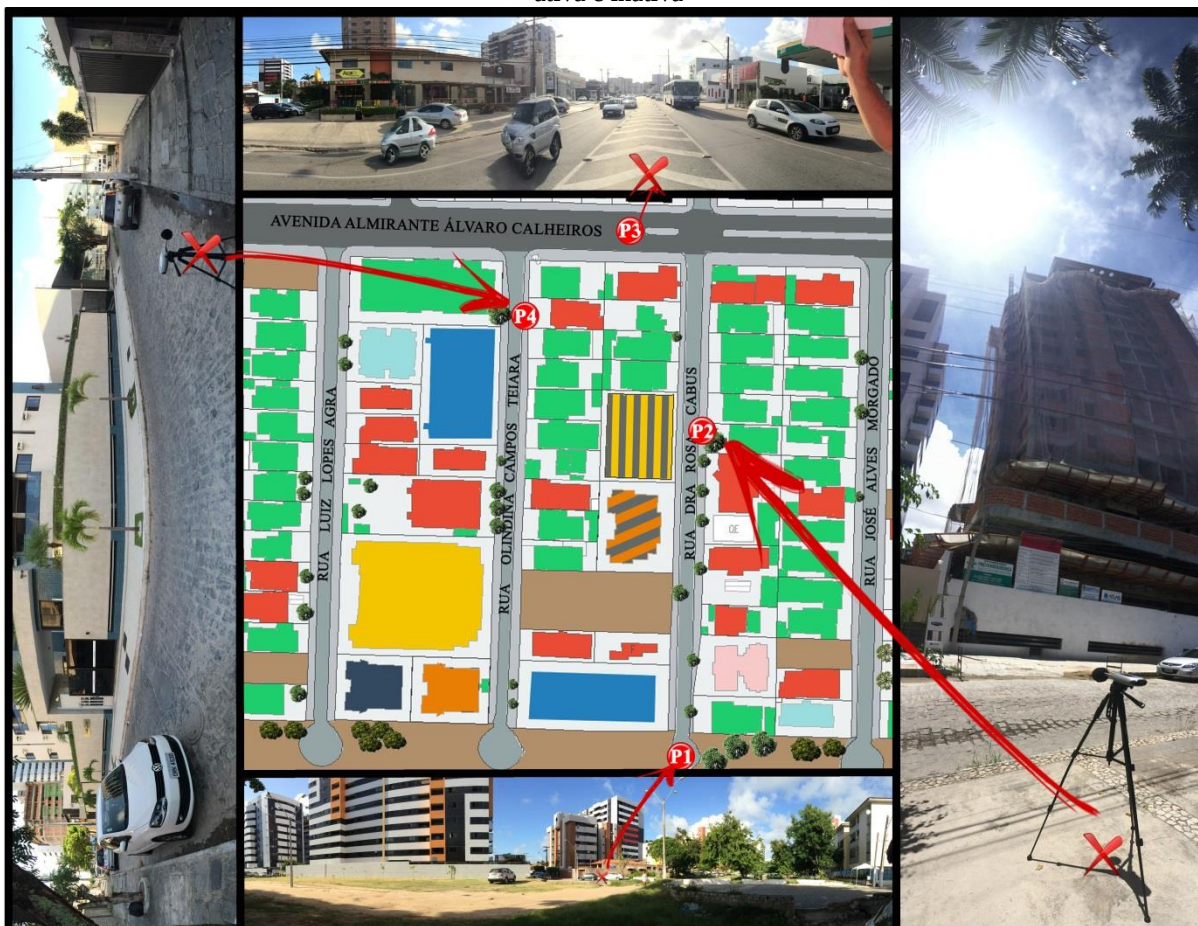
3.3.3 Dados Acústicos – NPS Externo

Foram selecionados três setores que pudessem ser representativos para a realização do estudo. A Figura 36 mostra os pontos de medições acústicas externas, localizados ao longo das ruas: avenidas Almirante Álvaro Calheiros, Olindina Campos Teixeira, Doutora Rosa Cabús e Corredor Vera Arruda (Praça).

Os pontos de 1 à 4 foram determinados de acordo com o entorno do canteiro de obras em estudo e as diferentes tipologias de material do revestimento das vias. Dessa forma, foi possível averiguar os níveis de pressão sonora sob a influência dos veículos nas ruas

pavimentadas com paralelepípedo e com asfalto, sem a influência do barulho da obra e em outra medição com a obra ativa.

Figura 36 - Localização dos Pontos de medições do NPS externos ao canteiro de obra e Edifício X, com obra ativa e inativa



Fonte: A autora, 2016.

O aparelho foi configurado com as especificações para medições externas de ruído ambiental, atendendo às especificações metodológicas indicadas pela NBR 10.151 (ABNT, 2000), sendo mantido afastado de superfícies refletoras, no mínimo 1,5 m de paredes e 1,2 m do solo (Figura 37).

O nível médio de som (L_a) medido no local foi o de ponderação “A”, no modo *fast* (rápido), durante 20 minutos cada. Nos mesmos pontos de medição selecionados, foram realizadas as medições com a obra ativa e a obra inativa.

Posteriormente, foi realizada a transferência de dados com o software *DbTrait* para o computador, a fim de computá-los para análise, bem como transpor as informações para o software *Cadna-A®*, da Datakustik GMBH, 2005, versão 4.4, para realização das simulações descritas no subcapítulo a seguir.

Figura 37 - Distância da medição externa de acordo com a NBR 10.151 (ABNT, 2000)



Fonte: A autora, 2015.

A aferição do nível de pressão sonora na malha urbana ocorreu no dia 22/02/2015 com a obra inativa e 25/02/2016 com a obra ativa, no período entre 10h e 11h e por 20 minutos consecutivos cada.

Essas medições levaram em consideração a norma NBR 10.151 (ABNT, 2000): acústica – avaliação do ruído em áreas habitadas, visando ao conforto da comunidade –, procedimento que recomenda que, para se obter uma melhor avaliação do incômodo à comunidade, faz-se necessária uma correção dependente das características do ruído com respeito ao fator de pico, característica espectral, duração e flutuação; portanto, deve-se fazer uma comparação dos níveis corrigidos com um critério que leva em conta os vários fatores ambientais.

3.4 Simulações de diferentes cenários da massa edificada

Diversos parâmetros interferem sobre a propagação do ruído, e, o caso, sobre os níveis de ruído calculados. Deve-se então, configurar adequadamente o modelo computacional para que represente a situação (existente ou futura) com o máximo de realismo e precisão possível.

O objetivo do levantamento de dados físicos e acústicos foi organizar um banco de informações para a construção e calibração do modelo acústico da região no *Software* CadnaA.

Para modelar a área escolhida como recorte nesse trabalho foi realizada um levantamento de dados que engloba o Nível Sonoro Equivalente – Contínuo, LAeq dos pontos descritos no subcapítulo 4.2.3 com a obra ativa e inativa, dados de tráfego (fluxo, composição de veículos e velocidade média) e geométricos (alturas das edificações - gabaritos, larguras de

ruas e avenidas, passeios, etc.), verificando os aspectos semelhantes e diferentes da forma urbana, tais como, maior ou menor densidade de edifícios, presença de áreas livres, afastamentos entre fachadas, largura das vias, alturas das edificações, etc.

Para avaliar acusticamente o recorte urbano selecionado, não é necessário realizar medições de nível de pressão sonora em todos os lugares na área em estudo para tornar uma avaliação mais precisa. A extrapolação dos resultados para as áreas localizadas entre esses pontos seria particularmente imprecisa, não tornando viável a realização de medições em toda a extensão do recorte da pesquisa.

Isto posto, é aqui adotada outra estratégia para melhorar a confiabilidade e a abrangência do estudo: as medições do ruído existentes permitem alimentar um modelo computacional a fim de calcular o mapa de ruído existente de toda a região de interesse.

A esse mapa de ruído existente e as outras demais simulações de diferentes tipologias de malha urbana, podem ser subtraídos os padrões de ruído definidos pela NBR 10.151 (ABNT, 2000) (50 dB(A) diurno e 45 dB(A) noturno para áreas predominantemente residenciais), e assim identificar visualmente de forma muito clara em formato de mapas que utilizam as cores como legenda, as áreas onde o ruído ultrapassa esses limiares, a esse mapa dar-se o nome de mapa de conflito. Com o uso da simulação computacional, é então possível determinar precisamente os critérios de avaliação em cada malha simulada.

A tabela 13 apresenta os valores dos parâmetros utilizados para o cálculo. Os mesmos parâmetros foram usados para o diagnóstico e prognóstico, ou seja, em todas as simulações.

Tabela 13 - Parâmetros de cálculo globais usados nos modelos computacionais do estudo

Parâmetro	Valor inserido no programa
Norma emissão rodoviária	RLS-90
Norma propagação sonora	ISO9613
Coefficiente de Incerteza de propagação	$3 \cdot \log_{10}(d/10)$
Malha de cálculo	1 x 2 m
Número de reflexões	2
Absorção do solo	0,20 ⁸
Absorção das edificações	0,21 ⁹
Pavimento da Rodovia	Estritamente RLS-90

⁸ O coeficiente de absorção do solo G é um parâmetro adimensional cujo valor pode variar de 0 a 1. $G = 0$ corresponde a onda incidente no solo é refletida no solo com a mesma intensidade e provoca uma amplificação do ruído no ponto receptor. $G = 1$ corresponde a um solo poroso. A onda sonora incidente é totalmente absorvida.

⁹ O valor de 0,21 corresponde a edificações com “fachada lisa / barreira refletiva”, corresponde a uma perda de 1 dB a cada reflexão das ondas sonoras. Esse é o valor mais conservador proposto pelo CadnaA para fachadas de edificações.

Interpolação do Grid	9*9
Distância máx. fonte - receptor	1000.00 m
Distância mín. receptor - refletor	1.00 m
Distância mín. fonte - refletor	0.10 m
Período diurno	6:00 h às 23:00 h
Período noturno	23:00 h às 6:00 h
Temperatura média	30°C
Umidade relativa média	80%

Fonte: A autora, 2016.

Como dito anteriormente, não é necessário fazer medições em todos os pontos do recorte, pois o software CadnaA calcula os níveis de pressão sonora interpolando os pontos medidos a partir das equações da norma ISO 9613. Nesse trabalho foi considerada uma malha de receptores de 1 por 2 metros garantindo a representatividade dos mapas de ruído, calculados a 1,5 metros de altura acima do nível do solo para representar o ruído na altura dos ouvidos dos moradores do entorno.

Para o ruído gerado pelo canteiro de obra foi proposto, em cada fachada do mesmo, um plano emissor do ruído encontrado na medição *in loco*. Desta forma, o ruído é emitido e considerado nas simulações de forma homogênea em todos os andares e para todos os lados.

Sobre as edificações existentes que possuem mais 3 três andares, foi optado por não modificar as alturas nem a T.O. nas simulações, pois estas não apresentam inclinação de mudança no seu perfil, portanto a mudança de sua forma não configura uma real proposta para prospecções futuras da região. Também não foram modificadas as alturas das edificações que ficam a margem da Avenida Almirante Álvaro Calheiros possuidora de maior fluxo de carros, pois por anos ali se localizam apenas prédios de cunho comercial e estima-se que esses lotes permaneceram com essa tendência ao comércio.

As simulações foram divididas em Cenários para melhor compreensão dos resultados. Foi analisado o cenário acústico atual dentro dos quartos localizados no Edifício X, vizinho à obra (Cenário 1) com medições do NPS interno e os resultados já foram expostos no capítulo sobre levantamento de dados acústicos internos.

Um cenário foi criado simulando acusticamente a região sem a interferência da obra – Inativa (Cenário 2) - na malha urbana em que o recorte em estudo se encontra atualmente e outra simulação com a mesma malha urbana sob a presença ativa do ruído do canteiro de obra e - Ativa (Cenário 3) - no *Software CadnaA*.

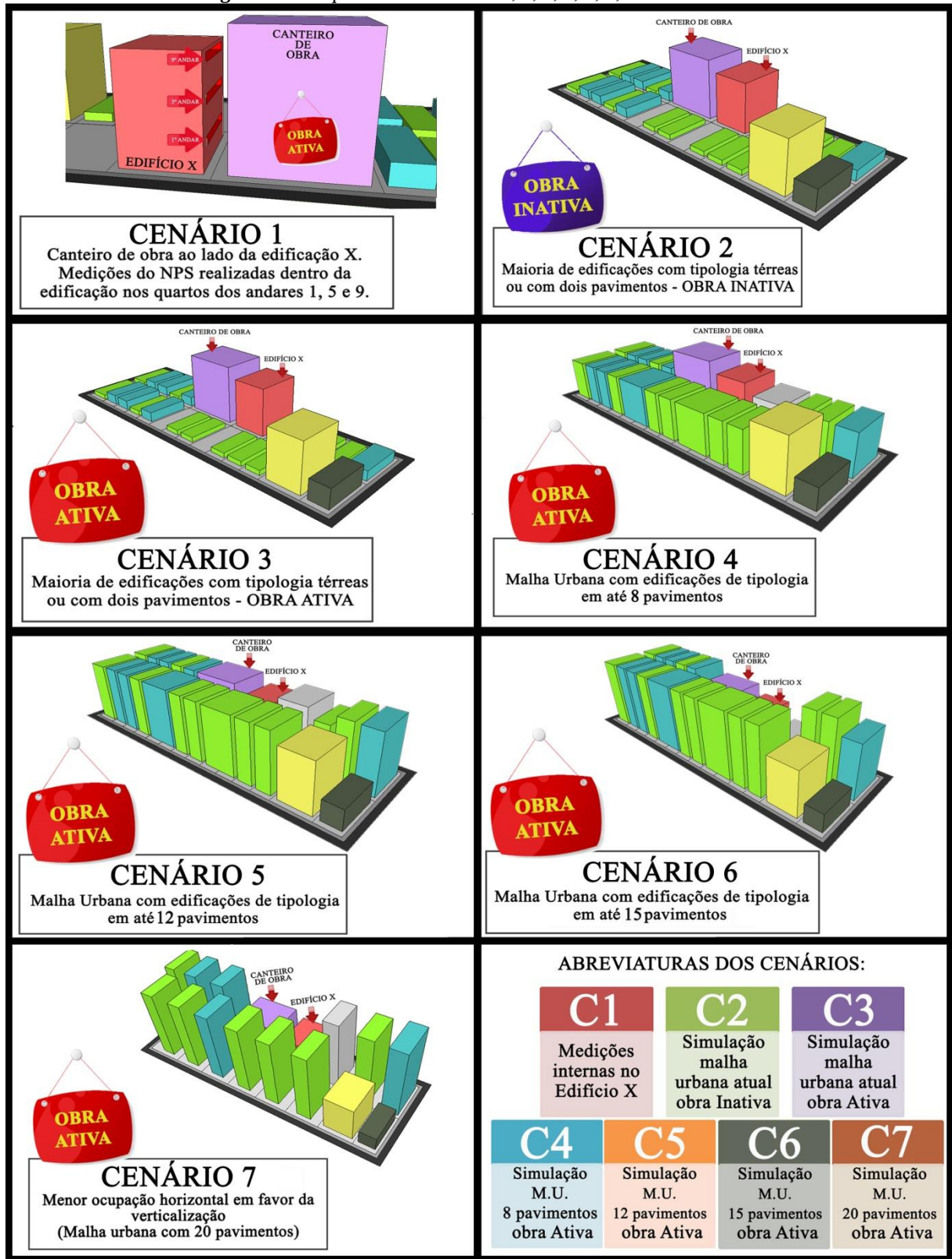
Também foi criado um cenário diferenciado do que se encontra *in loco*, a partir de modificações nas alturas das edificações (que no recorte em estudo se encontram com

tipologia térrea ou com dois pavimentos), substituindo-as pela possível evolução da malha urbana nos próximos anos e permitido pelo plano diretor da cidade, que podem atingir uma altura de até 15 pavimentos (Cenário 6).

Outros três cenários hipotéticos foram gerados: (I) simular caso os prédios possuísem 8 pavimentos, caso este que leva em consideração a antiga restrição de altura definida pelo Cone do Farol (Cenário 4); (II) simular caso os edifícios possuísem 12 pavimentos (Cenário 5), que é a tipologia mais usada nas novas edificações, nos últimos anos, no bairro da Jatiúca; (III) simular caso o Código de Edificações de Maceió limitasse a porcentagem de área construída a 25%, possibilitando prédios com 20 pavimentos (Cenário 7), situação esta cogitada na atual revisão do plano diretor da cidade, permitindo, dessa forma, que existissem menos apartamentos por andar e, conseqüentemente, mais espaço entre os edifícios da malha. Um cenário hipotético assemelhado a outras cidades litorâneas de maior porte, como Recife, por exemplo.

Para melhor visualização, a divisão dos Cenários (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7) será exemplificada em forma de esquemas, na Figura 38, na página a seguir.

Figura 38 - Esquema dos Cenários 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e abreviaturas



Fonte: A autora, 2016.

4 ANÁLISES E DIAGNÓSTICO

É importante ressaltar que as análises presentes neste capítulo são embasadas nas pesquisas apresentadas anteriormente na revisão de literatura e para isso, foi tomado o cuidado de levar em consideração os aspectos físicos, tais como: solo, tipo de perfil da rua e nível de trânsito em cada região estudada, além das exposições e discursões sobre as medições *in loco*.

Para fins de comparação e para estabelecer parâmetros de acordo com a legislação, utilizou-se os limites de NPS para ambientes externos, estabelecidos pela NBR 10.151 (ABNT, 2000) que estipula o nível sonoro para conforto em área mista, predominantemente residencial, o limite máximo para período diurno de 55 dB(A), não foi analisado o período noturno, pois a obra não funciona nesse horário. Para ambientes internos, parâmetros estabelecidos pela NBR 10.152 (ABNT, 1987), que estipula o NPS dentro dos dormitórios em residências o nível sonoro para conforto de 35 dB (A) e de no máximo 45 dB (A) nível sonoro aceitável para a finalidade.

A ANSI (1995) estipula um valor ainda mais restritivo, para quartos de dormir 35 dB(A). Esse padrão internacional não permite que passem dos 42 dB(A) nos quartos.

Nos diagnósticos internos a seguir, serão levadas em consideração as normas nacionais e internacionais, a fim de verificar se o presente estudo de caso se enquadra nesses padrões, fazendo uma comparação entre as diferentes normas. Também serão relacionados e discutidos aqui, a relação H x TO (Altura *Versus* Taxa de Ocupação) das simulações computacionais e também os possíveis sintomas psicoacústicos acometidos devido ao nível de ruído encontrado, utilizando-se os critérios das curvas NC e Noy.

As análises foram realizadas com base nos mapeamentos acústicos em relação aos planos, horizontal (Grid Noise Map) e vertical (Vertical grid Noise Map) e nos mapas de conflito obtidos após a simulação do grid de cada tipologia de malha urbana, no *software* CADNA-A® (Datakustik GMBH, 2005), versão 4.4;

4.1 Diagnóstico da situação existente

Além dos resultados do NPS encontrados no local e nas simulações fornecidas pelo *Software* CadnaA, neste capítulo serão apresentados o tipo de ruído e o Nível Corrigido (Lc) de cada média aritmética que a norma requiere.

A norma brasileira demanda que para se obter uma melhor avaliação do incômodo à comunidade, são necessárias correções nos valores medidos dos níveis de pressão sonora, se o ruído apresentar características especiais que é o caso do presente trabalho.

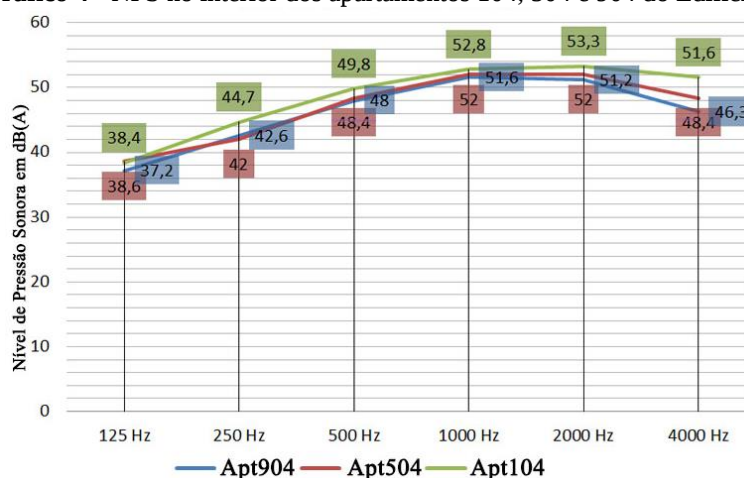
Foi considerado para ruído com características impulsivas ou de impacto um acréscimo de 5 dB (A) ao valor encontrado nas medições, que é determinado pelo valor máximo medido com o medidor de nível de pressão sonora ajustado para resposta rápida (fast).

4.1.1 Resultados e Análise do Nível de Pressão Sonora Interno

A seguir serão apresentados os resultados das medições no NPS para cada apartamento. A aferição do NPS no apartamento 104 do Edifício X, localizado no primeiro andar, ocorreu no dia 17/02/2016, no período entre 15h13m e 16h15m. Obteve-se a média de 59 dB(A), como demonstrado no Gráfico 4, entre as três medições realizadas. O Apêndice A apresenta essas três medições separadamente.

A verificação no NPS no apartamento 504, aconteceu no dia 23 de fevereiro de 2016, no período entre 9h35 e 10h20, se registrou uma média de 57 dB(A) entre as três medições realizadas (Anexo A) e o LaeqMáx de 68 dB(A). As medições no apartamento 904 do Edifício X ocorreram no dia 17/02/2016, no período entre 14h21 e 15h07. Obteve-se a média de 56 dB(A) entre as três medições realizadas (Anexo A). O Maior nível de L_{máx} foi o de 79db(A) (Gráfico 4).

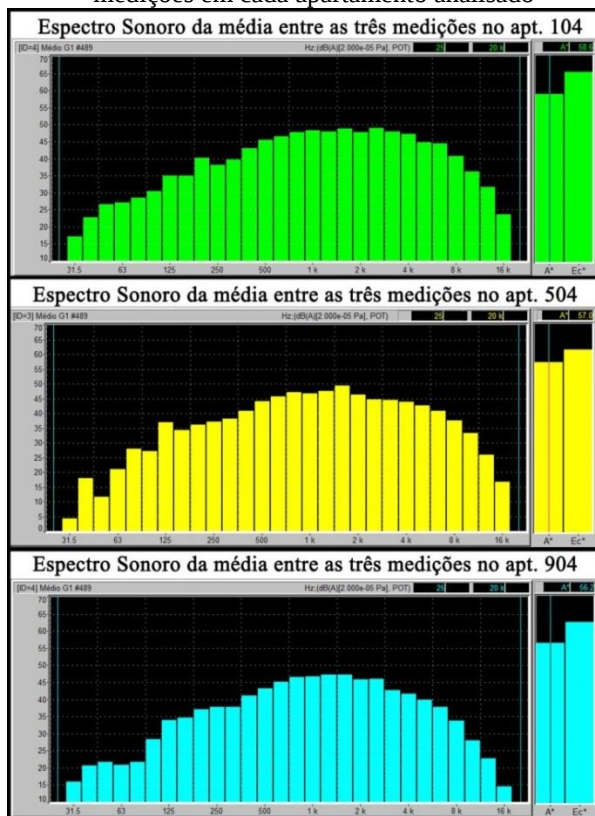
Gráfico 4 - NPS no interior dos apartamentos 104, 504 e 904 do Edifício X



Fonte: A autora, 2016.

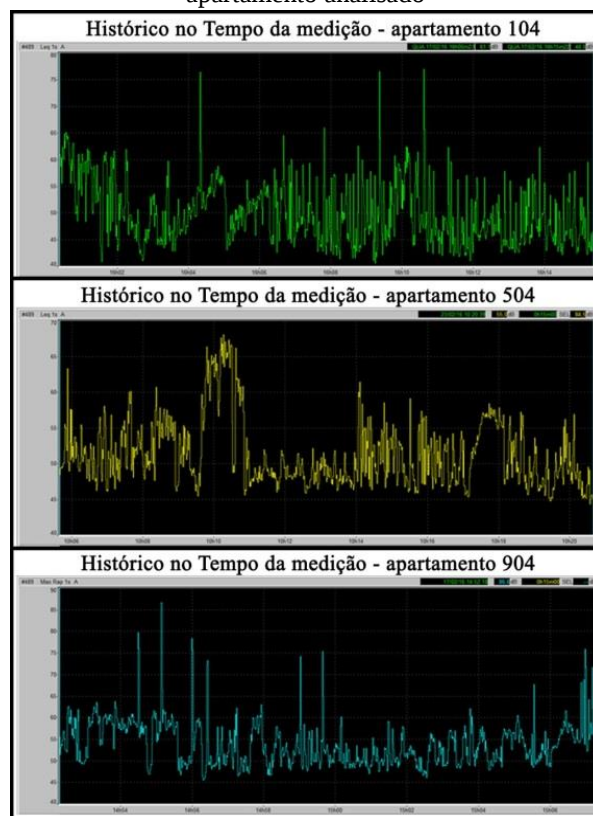
A Figura 39 apresenta o espectro sonoro da média entre as três medições em cada apartamento.

Figura 39 - Espectro Sonoro das médias entre as três medições em cada apartamento analisado



Fonte: Software dB Trait, adaptado pela autora, 2016.

Figura 40 - Histórico no Tempo da medição de cada apartamento analisado



Fonte: Software dB Trait, adaptado pela autora, 2016.

A fim de justificar o tipo de ruído encontrado, a Figura 40 apresenta o histórico no tempo das medições, onde se verificam a caracterização de um ruído com caráter impulsivo, devido aos picos de energia acústica ter duração menor do que 1 segundo e que se repetem a intervalos maiores do que 1 segundo.

A Tabela 14 demonstra o Laeq e o Laeq Máximo de cada uma das três medições nos apartamentos 104, 504 e 904, respectivamente, a média aritmética entre elas e o Lc.

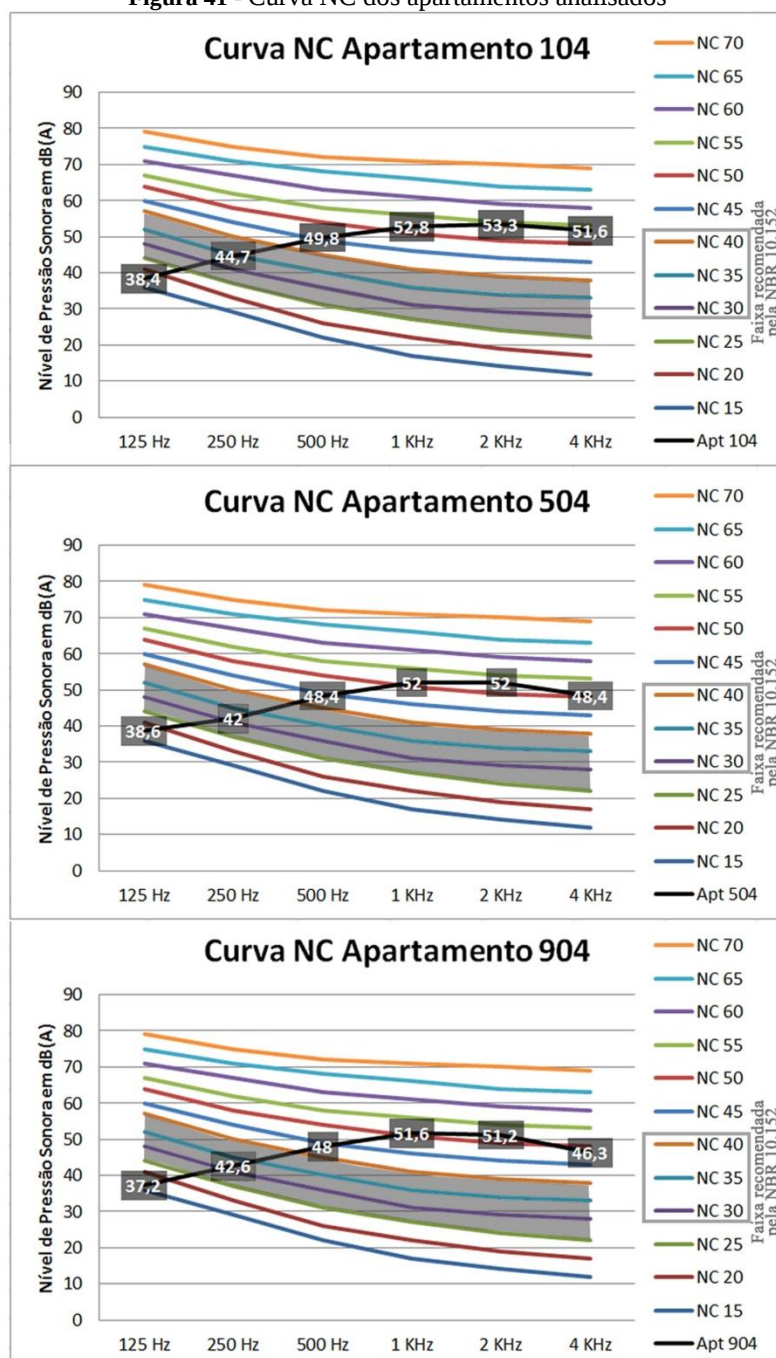
Tabela 14 - Medições Internas nos apartamentos 104, 504 e 904 com a obra ativa

Apartamento	Nº medição	Dia	Hora	LAeq	LAeqMáx	Tipo de ruído	Lc
MAIn104	006	17/02/2016	15:13 às 15:28	59 dB(A)	69 dB(A)	Impulsivo	$69 + 5 = 74$
MAIn104	007	17/02/2016	15:28 às 15:43	60 dB(A)	74 dB(A)	Impulsivo	$74 + 5 = 84$
MAIn104	009	17/02/2016	16:00 às 16:15	56 dB(A)	77 dB(A)	Impulsivo	$77 + 5 = 82$
Média entre as três medições MAIn104				58 dB (A)	73 dB(A)	Impulsivo	$73 + 5 = 78$
MAIn504	001	23/02/2016	09:35 às 09:50	56 dB(A)	67 dB(A)	Impulsivo	$67 + 5 = 72$
MAIn504	002	23/02/2016	09:50 às 10:05	58 dB(A)	67 dB(A)	Impulsivo	$67 + 5 = 72$
MAIn504	003	23/02/2016	10:05 às 10:20	55 dB(A)	68 dB(A)	Impulsivo	$68 + 5 = 73$
Média entre as três medições MAIn504				56 dB (A)	67 dB(A)	Impulsivo	$67 + 5 = 72$
MAIn904	003	17/02/2016	14:21 às 14:36	55 dB(A)	71 dB(A)	Impulsivo	$71 + 5 = 76$
MAIn904	004	17/02/2016	14:36 às 14:51	56 dB(A)	77 dB(A)	Impulsivo	$77 + 5 = 82$
MAIn904	005	17/02/2016	14:52 às 15:07	57 dB(A)	79 dB(A)	Impulsivo	$79 + 5 = 84$
Média entre as três medições MAIn904				56 dB (A)	76 dB(A)	Impulsivo	$76 + 5 = 81$

Fonte: A autora, 2016.

A Figura 41 apresenta a Curva de Avaliação de ruído (NC) dos apartamentos analisados. De acordo com a NBR 10.152 (ABNT, 1987) a curva NC é o método de avaliação de um ruído num ambiente determinado e para dormitórios em residências os valores em dB(A) são de 35 à 45, já para o NC são de 30 à 40, níveis superiores a estes valores estabelecidos são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde. De acordo com os valores das medições, todos os apartamentos analisados encontram-se na curva NC 55.

Figura 41 - Curva NC dos apartamentos analisados



Fonte: A autora, 2016.

A tabela 15 reúne os resultados das medições internas do NPS dos apartamentos 104, 504 e 904 e também os NPS e NC máximos das referências normativas.

Tabela 15 – Nível de pressão sonora interna dos apartamentos 104, 504 e 904 e as referências normativas.

Apt.	L _{Aeq} dB(A)	Tipo de ruído	L _c	NBR 10.152 dB(A)	Classificação NBR 10.152	NC	NC NBR 10.152 dB(A)	Classificação NC	ANSI	Classificação ANSI
104	58	Impulsivo	78	35 - 45		55	30 - 40		35 - 42	
504	56	Impulsivo	72	35 - 45		55	30 - 40		35 - 42	
904	56	Impulsivo	81	35 - 45		55	30 - 40		35 - 42	

Fonte: A autora, 2016.

De acordo com as medições do nível de pressão sonora no interior dos quartos do Edifício X, foi possível verificar que a influencia da obra neste edifício esta relacionada à altura.

Quanto mais alto estiver o apartamento em relação ao canteiro de obra, menos incidência de barulho interno ele terá, comprovando o citado por Niemeyer e Santos (2001, p. 3) na metodologia deste trabalho, onde cita o Espaço Acústico Fechado, no qual se forma um campo sonoro semi-reverberante, onde a onda sonora sofre inúmeras reflexões, fazendo com que os níveis sonoros decaiam lentamente, mantendo os níveis sonoros por mais tempo no espaço. As autoras explicam que a atenuação acontece pelo fato de que em cada reflexão ocorre uma perda de energia por absorção, ou quando, a onda sonora encontra um ângulo de escape.

Outro fator determinante é a presença do ruído do tráfego que se soma ao do canteiro de obra, acentuando o ruído que chega nos apartamentos em andares mais baixos.

O nível sonoro não depende apenas da distância fonte/receptor, mas existe a possibilidade de se modificar em função de outras variáveis, como a capacidade de absorção dos planos refletos. Neste caso específico do canteiro de obra ainda sem acabamento em cerâmica na fachada, o material poroso dos tijolos aparente, vigas de concreto e a malha fina de proteção utilizada para reter objetos e sujeiras provindas da construção resultaram em uma atenuação da reflexão das ondas sonoras até os pavimentos mais altos, pois desta forma a absorção do ruído é melhor do que uma parede lisa.

Todavia, mesmo com o fator atenuante da altura, o quarto mais alto que estava localizado no apartamento 904 não conseguiu se enquadrar ao nível de NPS determinado pela

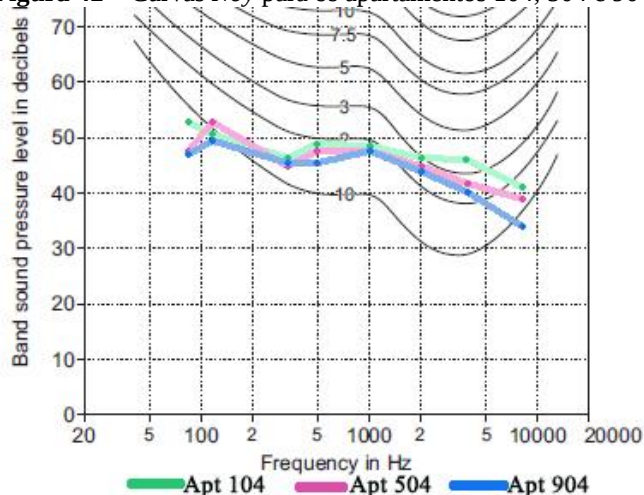
norma, ficando com 11 dB (A) acima do permitido pela NBR 10.152 (ABNT, 2000) e 14 dB (A) de acordo com a ANSI. Já o quarto mais baixo, localizado no apartamento 104, obteve 14 dB (A) acima da norma nacional e 16 dB (A) da internacional (utilizando os respectivos LAeq). Considerando o nível corrigido (Lc), para ruído com características impulsivas, esse valor se agrava ainda mais. O apartamento 104 ultrapassa 33 dB a norma, o apt 504 ultrapassa 27 dB e o apt 904 ultrapassa o valor de 36 dB. Para os valores corrigidos, percebe-se que os LAeq tiveram uma resposta inversa ao Lc, nos apartamentos analisados. De acordo com a Tabela 4, quando o nível Lc ultrapassa um valor de 10 dB(A) são possivelmente geradas queixas generalizadas, em 15 dB(A) uma ação comunitária e a 20 dB(A) uma ação comunitária enérgica poderá acontecer entre os moradores da região.

Levando em consideração apenas o LAeq encontrado nos dormitórios é possível afirmar de acordo com a revisão de literatura deste trabalho que numa faixa de 55 dB(A) pode existir um início do estresse leve que excita o sistema nervoso central autônomo simpático, produzindo desconforto auditivo, maior vigilância e agitação, início da perda de concentração, interferência na comunicação – torna difícil a conversa entre duas pessoas, ou dificulta falar ao telefone ou ouvir rádio ou televisão, e que o indivíduo presente neste quarto fica em estado de alerta, não relaxa.

Ficou constatado então, nas medições internas do Edifício X, que todos os quartos avaliados são influenciados negativamente enquanto qualidade acústica para os moradores.

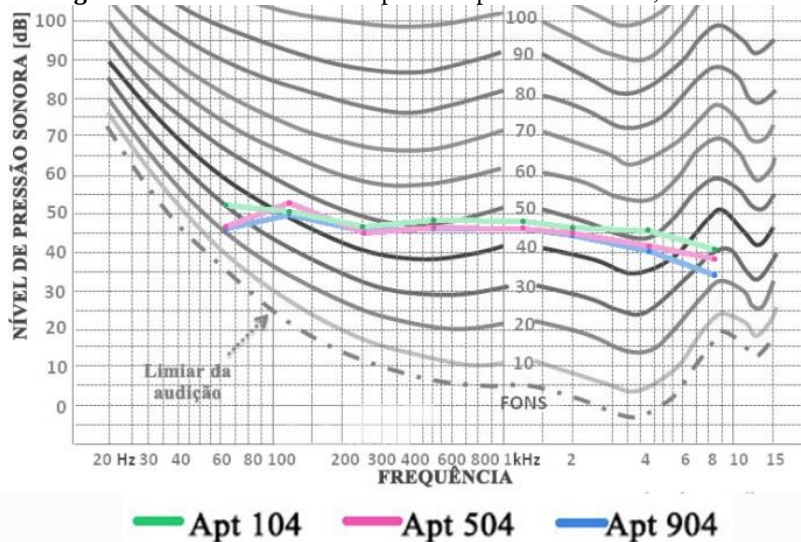
Níveis superiores aos estabelecidos pela NBR 10.152 (ABNT 2000) são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde. No entanto, quando posto a curva NC como critério de avaliação, o permitido para o quarto seria de 25 a 40 dB (específico para dormitórios, quartos de dormir, hospitais, residências, apartamentos, hotéis, motéis, ou seja, ambientes para o sono, relaxamento e descanso). O encontrado para os ambientes analisados foi o valor de NC 55, comparando-se à ambientes do tipo lojas, garagens, etc.

No critério de avaliação da curva NOY, a Figura 42 mostra o gráfico das frequências em dB de todos os apartamentos sobrepostas às curvas NOY, ou seja, são considerados como tendo uma ruídosidade percebida 2 vezes maior do que 1 NOY (40 dB) nas médias frequências e até 3 vezes maior do que 1 NOY nas altas frequências. Para o apartamento 104, na frequência de 4kHz a ruídosidade percebida é 5 vezes maior. Cabe ressaltar que a sensação subjetiva do som é em grande parte função da intensidade, mas é também influenciada pela frequência. Quanto maior a frequência maior o incômodo.

Figura 42 – Curvas Noy para os apartamentos 104, 504 e 904

Fonte: A autora, 2016.

Já para o critério de avaliação segundo as curvas Isofônicas (Figura 43), o ruído do canteiro de obra e do tráfego é percebido pelo ouvido humano como se estivessem a cima da curva de 50 *FONS* ou 50 dB no interior dos apartamentos 504 e 904 nas frequências de 125 Hz e 4kHz.

Figura 43 - Curvas Isofônicas para os apartamentos 104, 504 e 904

Fonte: A autora, 2016.

Na análise do gráfico da Figura 43, o apartamento 104 obteve 46 dB à 4 kHz e 4,8 dB à 500 Hz correspondendo aproximadamente à isofônica de 60 dB, ou seja, para um ouvido humano médio, a sensação é próxima de 57 dB(A). Para a OMS em 30 dB(A) a pessoa não relaxa totalmente durante o sono, não atingindo os estágios mais profundos do sono e reduzindo o tempo – Perturbação do sono. À 55 dB(A) é o nível de ruído limite para que exista estresse leve, com excitação do sistema nervoso e produção de desconforto acústico.

As análises acima foram realizadas de acordo com o LAeq das referidas medições internas do Edifício X, mas levando em consideração a característica de ruído impulsivo e sua correção do nível Lc (Nível corrigido) o problema se agrava, para o apartamento 104 a máxima foi somada a 5 dB e se obteve um valor de 78 dB ($73 + 5$), no apartamento 504 o valor de 72 dB ($67 + 5$) e no apartamento 904, 81 dB ($76 + 5$). Ruídos acima de 75 dB(A) já pode haver um risco de perda auditiva – a pessoa exposta pode contrair perda de audição induzida por ruído para exposições de 8 horas diárias.

Em suma, as análises dos quartos no Edifício X não passaram pelos critérios mínimos de avaliação da norma NBR 10.152 (ABNT,2000), estando a cima dos limites de conforto para a classificação do cômodo e podendo causar problemas de saúde como, no mínimo stress, falta de concentração, perturbação do sono, irritabilidade caso haja uma permanência prolongada quando a obra estiver ativa, mas como visto nas referências bibliográfica, os sintomas podem diferir muito de um indivíduo para outro, dependendo de sua sensibilidade ao ruído.

4.1.2 Resultados e Análise do Nível de Pressão Sonora Externo

As medições levaram em consideração a norma NBR 10.151 (ABNT, 2000): acústica – avaliação do ruído em áreas habitadas, visando ao conforto da comunidade –, procedimento que recomenda que, para se obter uma melhor avaliação do incômodo à comunidade, faz-se necessária uma correção dependente das características do ruído com respeito ao fator de pico, característica espectral, duração e flutuação; portanto, deve-se fazer uma comparação dos níveis corrigidos com um critério que leva em conta os vários fatores ambientais. Ou seja, sugere que se especifique o nível de pressão sonora corrigido ou simplesmente nível corrigido (Lc), apresentado na tabela 16.

Tabela 16 – Resultados das medições externas, com obra ativa e inativa

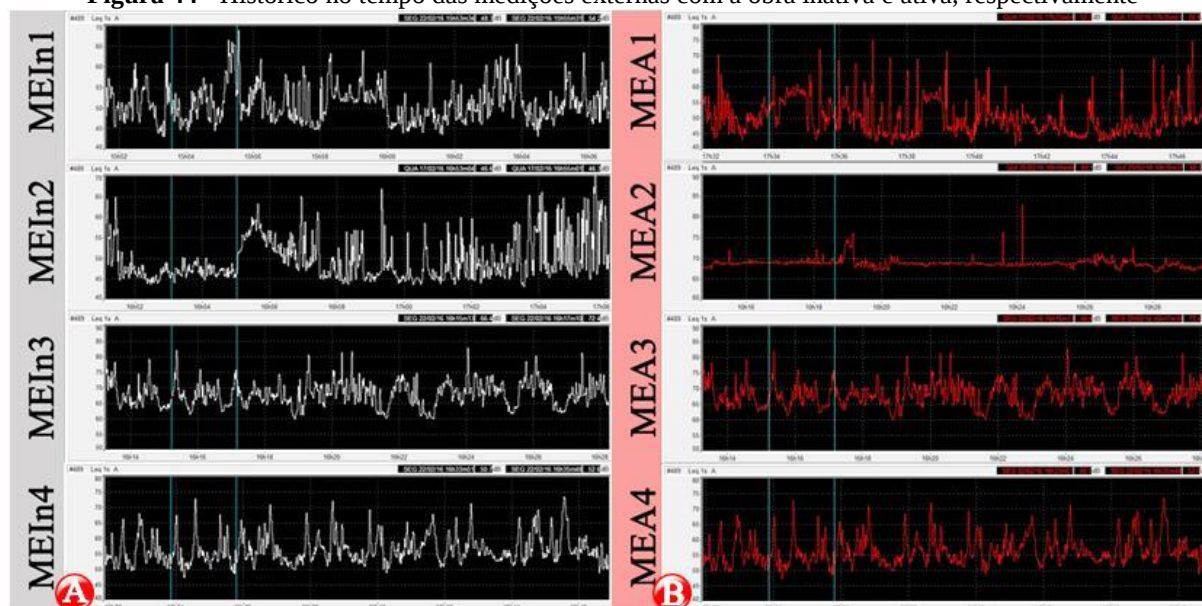
Medição	LAeq	Lc em dB(A)
MEA1	54	--
MEA2	69	$82,7 + 5 = 88$
MEA4	70	--
MEA5	59	--
MEIn1	54	--
MEIn2	55	--
MEIn3	70	--
MEIn4	59	--

Fonte: A autora, 2016.

Essas medições externas com a obra ativa e inativa nos pontos 1 à 4 foram utilizadas para reconhecer acusticamente o local em estudo e para a realização dos cenários, simulações e prospecções no *Software CadnaA*.

A Figura 44 (A) mostra o histórico no tempo das medições externas com a obra inativa, onde se verifica a caracterização de ruídos flutuantes ou intermitentes, que são aqueles que apresentam grandes variações de nível (superior a ± 3 dB) em função do tempo. São os ruídos mais comuns nos sons diários.

Figura 44 - Histórico no tempo das medições externas com a obra inativa e ativa, respectivamente



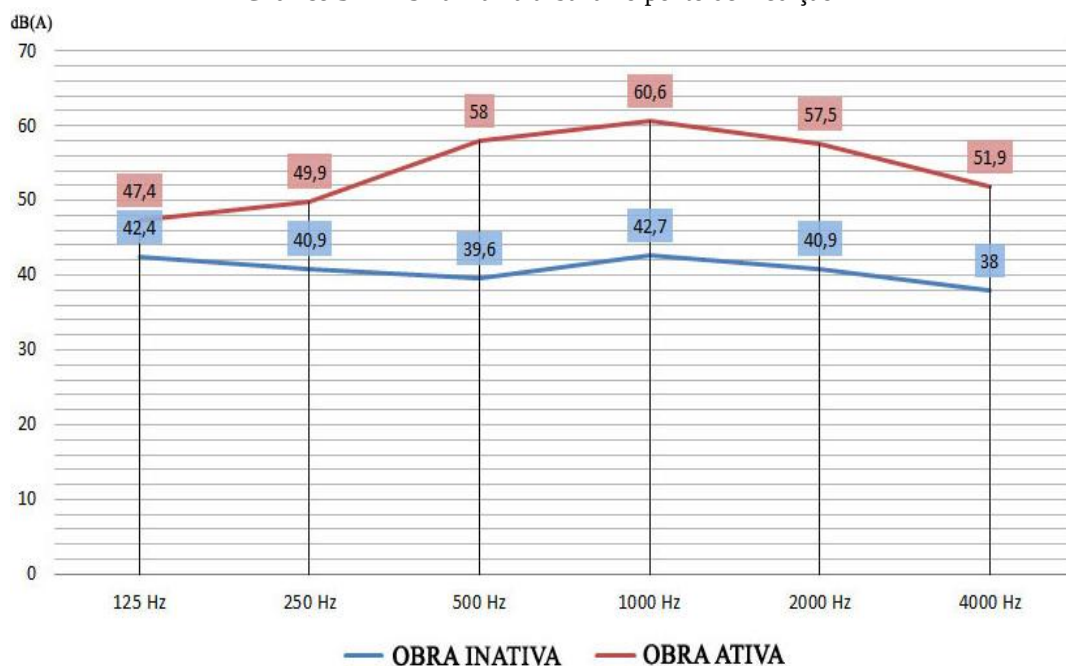
Fonte: *Software dB Trait*, adaptado pela autora, 2016.

A figura 44 (B) apresenta o histórico no tempo das medições externas com a obra ativa, onde se verifica a caracterização de um ruído com caráter impulsivo no Ponto 2, devido aos picos de energia acústica terem duração menor do que 1 segundo e que se repetirem a intervalos maiores do que 1 segundo. Os demais pontos não apresentam influência dos ruídos impulsivos da obra permanecendo com a caracterização de ruídos flutuantes ou intermitentes.

De acordo com a Tabela 16 - Resultados das medições externas, com obra ativa e inativa – os pontos 1, 3 e 4, mantiveram o mesmo nível de pressão sonora, independente da construção ativa ou inativa. De qualquer forma, exceto o ponto 1 que obteve 54 dB(A) - ponto este que se encontra muito próximo a uma área aberta de pavimentação de barro e algumas árvores de altura considerável - todos os outros resultados das medições externas encontram-se fora do permitido pela NBR 10.151 (ABNT, 2000, p.3) que dita que o limite para ambientes externos em área mista, predominantemente residencial é de 55 dB(A).

Vale salientar, que o ponto 3 se encontra no canteiro de uma avenida bastante movimentada e a obra ativa não causa nenhuma interferência no perímetro próximo a esse ponto, permanecendo o LAeq de 70 dB(A) nos dois casos (obra ativa e inativa). O ruído do tráfego, como dito anteriormente na revisão de literatura, ainda é uma das grandes causas de desconforto acústico nas cidades e nesta aferição pode-se constatar a influência do ruído no ponto 4, com um acréscimo de 5 dB(A) em relação ao ponto 1.

Gráfico 5 - NPS na malha urbana no ponto de medição 2

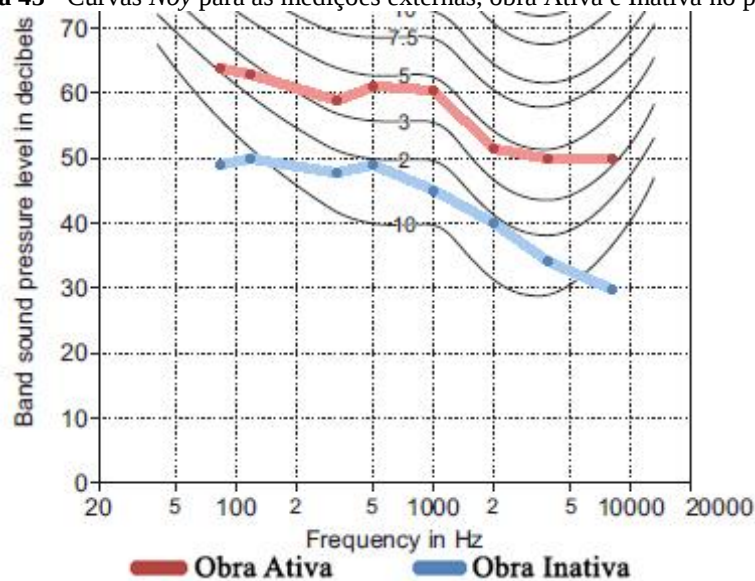


Fonte: A autora, 2016.

De acordo com as medições externas, o nível de pressão sonora equivalente (LAeq) entre a obra ativa e inativa apenas pôde ser percebida uma diferença no ponto 2 (Gráfico 5). Este é o ponto mais próximo do canteiro de obras e por isso a aferição demonstrou um acréscimo de 14 dB(A) quando a construção estava em pleno funcionamento, como demonstra a tabela 16.

Quando colocada a medição do ponto 2 em conflito a curva NOY (Figura 45), com a obra inativa, o ruído urbano (barulho do tráfego, principalmente) é percebido em quase todas as frequências como 2 vezes maior pelo ouvido humano do que o encontrado nas medições. Já quando a obra está ativa, o ouvido percebe o barulho do canteiro de obra e o ruído do tráfego como se ele fosse 3 vezes maior do que 1 NOY nas baixas frequências e até 5 vezes maior nas médias e altas frequências em relação ao encontrado nas medições *in loco*.

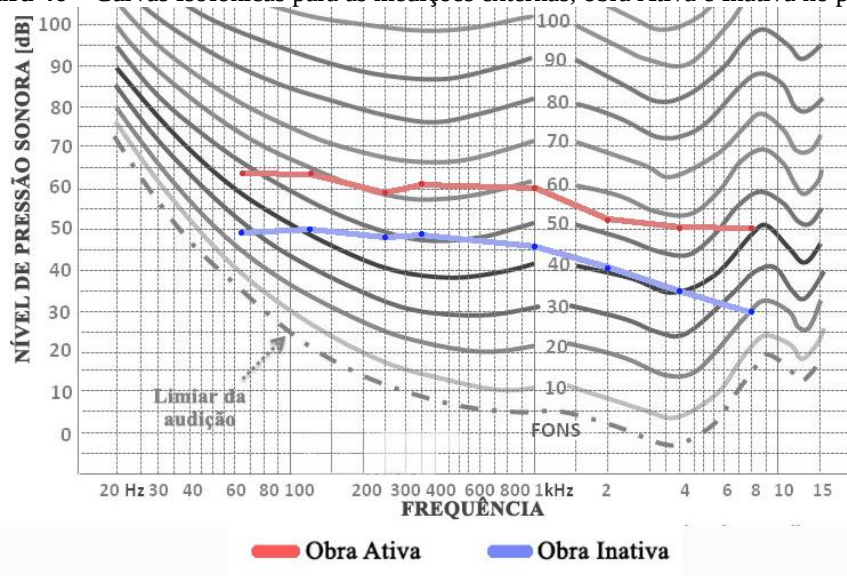
Figura 45 - Curvas Noy para as medições externas, obra Ativa e Inativa no ponto 2



Fonte: A autora, 2016.

O conflito da medição do ponto 2 com a curva Isofônica (Figura 46), com a obra inativa, o ruído urbano (barulho do tráfego, principalmente) é percebido pelo ouvido humano como estando na curva de 50 FONS, ou seja, de igual sensibilidade (Fon = nível subjetivo) em quase todas as faixas de frequência. Já quando a obra está ativa, o ouvido percebe o barulho do canteiro de obra e o ruído do tráfego como se ele estivesse na curva de 70 fons (ou seja, 70 dB(A)).

Figura 46 – Curvas Isofônicas para as medições externas, obra Ativa e Inativa no ponto 2



Fonte: A autora, 2016.

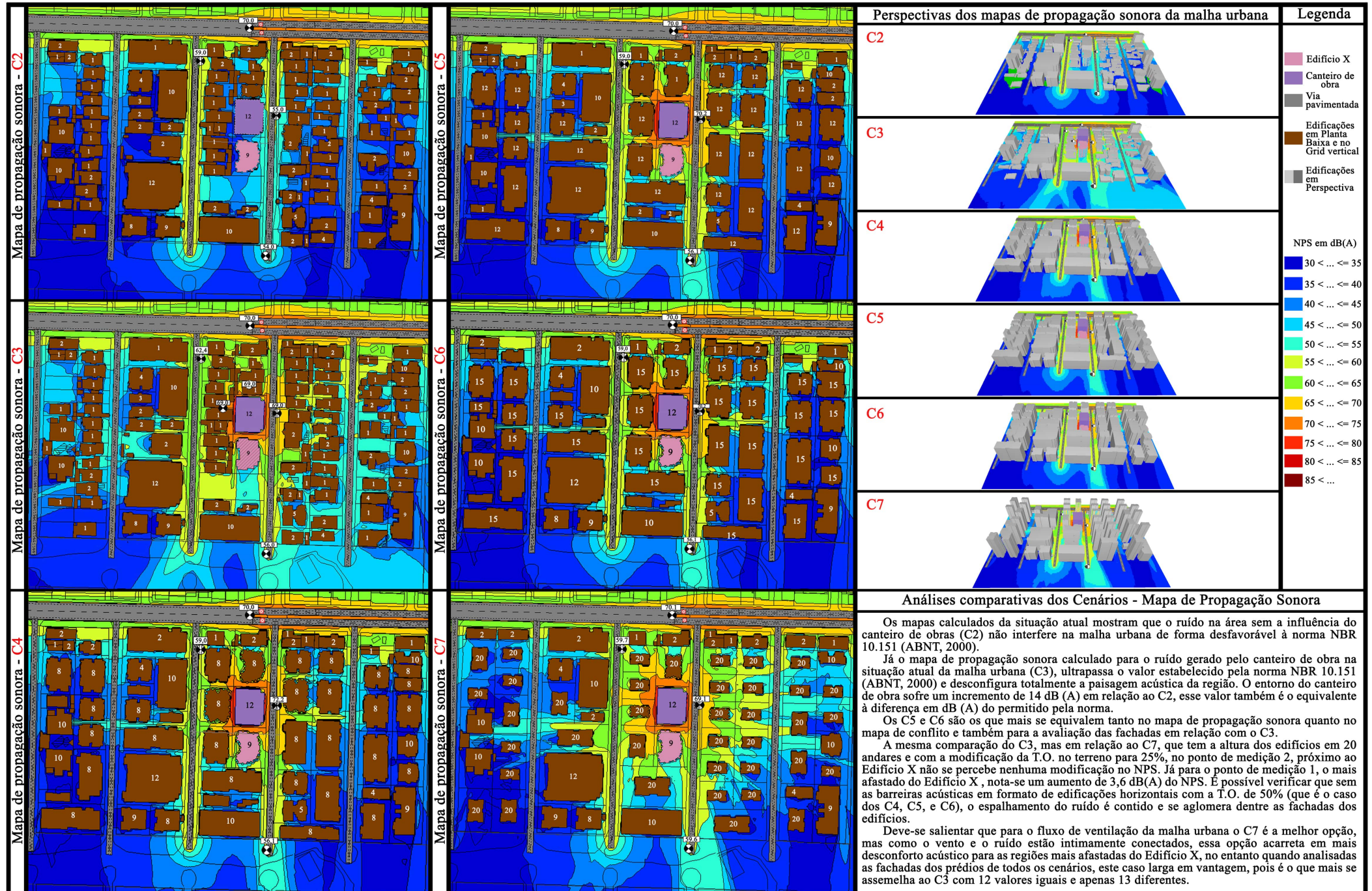
A comunidade científica confirmou em pesquisas (JOB, 1996) que o nível equivalente de ruído de 65 dB(A) é considerado o limiar do conforto acústico. Exposição contínua a

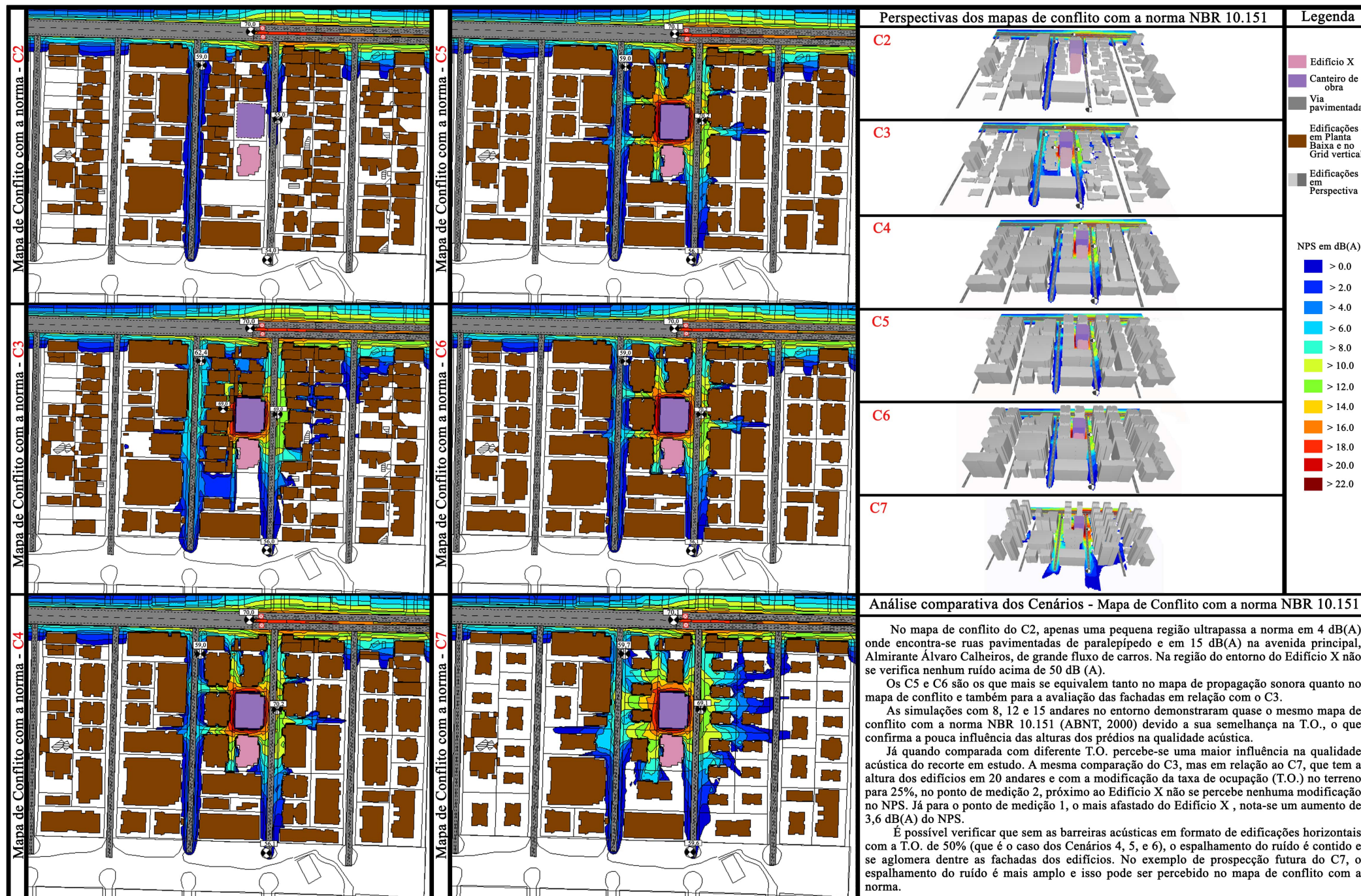
valores acima desse limite pode causar distúrbios psicofisiológicos diversos, independentemente da idade, tais como distúrbios do sono, diminuição do desempenho laboral, hipertensão e agravamento de doenças cardiovasculares.

Áreas residenciais não devem ultrapassar o nível sonoro equivalente $L_{Aeq} = 55$. A partir de 55 dB(A) podem ocorrer estresse leve, acompanhado de desconforto. O nível de $L_{Aeq} = 70$ é tido como o nível de desgaste do organismo, aumentando os riscos de infarto, derrame cerebral, infecções, hipertensão arterial e outras patologias (WHO, 2003).

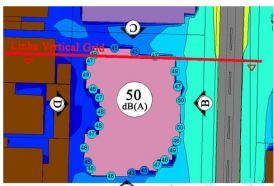
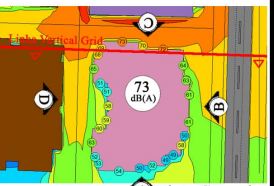
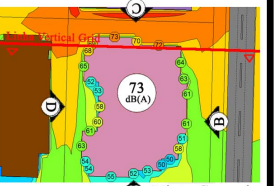
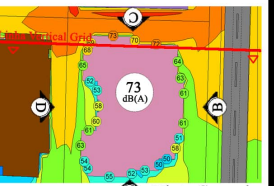
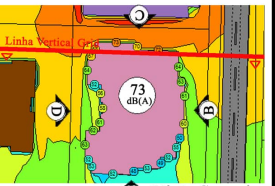
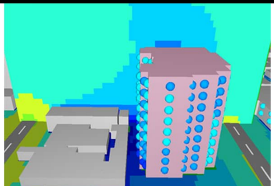
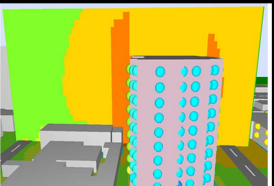
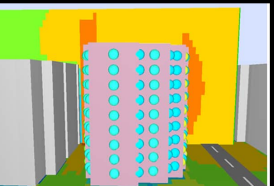
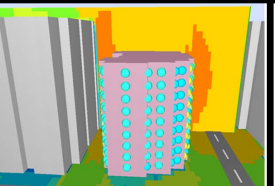
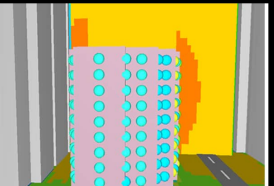
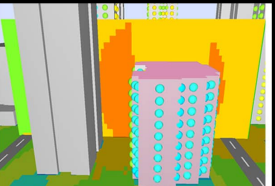
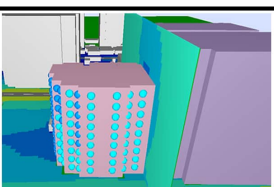
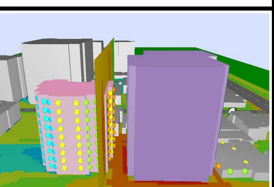
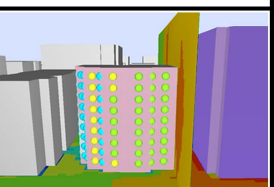
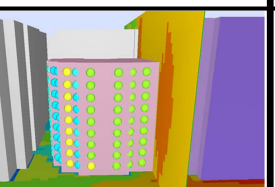
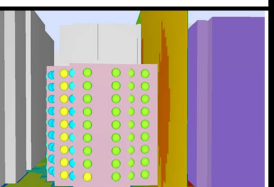
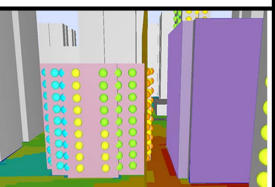
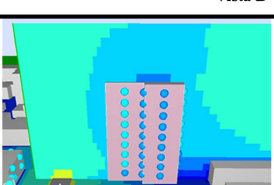
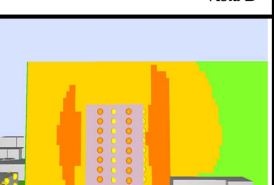
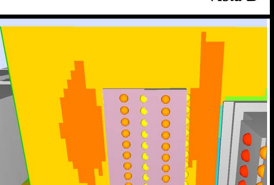
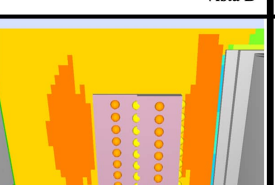
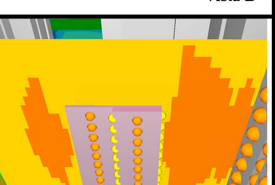
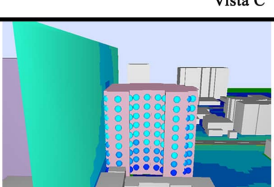
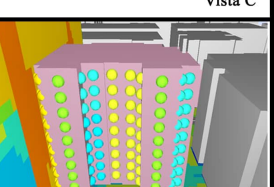
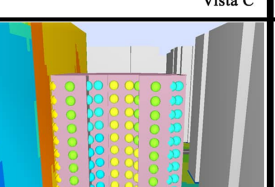
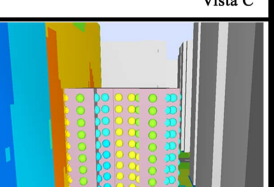
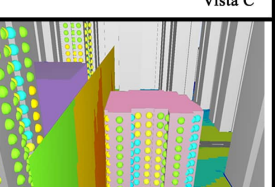
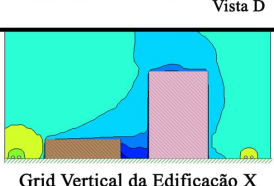
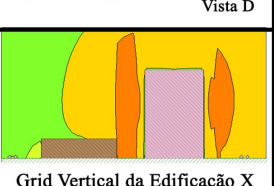
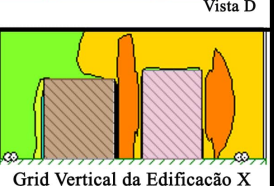
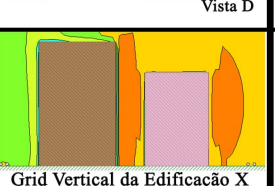
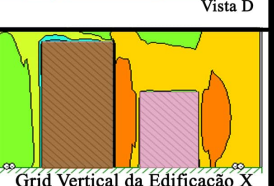
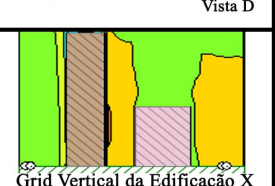
4.2 Prognóstico e Análise das Simulações Acústicas

Nas páginas seguintes, será apresentado em formato ampliado os resultados das simulações realizadas no *software CadnaA* referentes aos Cenários 2 à 7 (C2, C3, C4, C5, C6, C7) onde foram efetuadas no software as devidas construções dos modelos para cada tipologia em estudo e expostos os mapas de propagação sonora do ruído gerado pelo canteiro de obra no recorte da malha urbana, os mapas de conflito com o valor máximo permitido pela norma brasileira NBR 10.151 (ABNT, 2000), a avaliação da fachada (Building Evaluation) e o Grid Vertical (plano vertical gerado pelo *software* que discrimina a faixa em dB(A) em um determinado ponto entre o canteiro de obra e o Edifício X) para cada Cenário.





Quadro 9 - Avaliação da fachada do Edifício X e Grid Vertical em cada Cenário

Obra Inativa Malha Urbana atual (C2)	Obra Ativa Malha Urbana atual (C3)	Obra Ativa 8 Pav. ao redor (C4)	Obra Ativa 12 Pav. ao redor (C5)	Obra Ativa 15 Pav. ao redor (C6)	Obra Ativa 20 Pav. ao redor (C7)	Análise Comparativa	Legenda
						No C2, a avaliação do Edifício X (Building Evaluation) tem o valor de 50 dB(A), resultando em um nível de 5 dB(A) abaixo do permitido pela norma NBR 10.151. Na avaliação do Edifício X em todos os cenários com a obra ativa, resultou em um valor de 73 dB(A), ficando 18 dB(A) acima do permitido pela norma. No mapa simulado para o C4, para malha urbana contendo edificações com 8 andares e sob a influência da obra, o Building Evaluation continua no valor de 73 dB(A), mas a diferença entre esse e o C3 é que uma maior porcentagem das fachadas do Edifício X se encontram com níveis acima dos 55 dB(A) permitidos pela norma NBR 10.151 (ABNT, 2000). Numa comparação entre o C5 e o C4, percebe-se pouca diferença na influência da altura das edificações no ruído urbano e nas fachadas do Edifício X. Para uma comparação entre o C3 e o C6, nota-se a influência de apenas 1 dB(A). Os C5 e C6 são os que mais se equivalem para a avaliação das fachadas em relação com o C3. Os dois estudos possuem 11 valores iguais e 14 diferentes em relação ao C3 na avaliação das fachadas. Quando analisadas as fachadas dos prédios de todos os cenários, o C7 larga em vantagem, pois é o que mais se assemelha ao C3 com 12 valores iguais e 13 diferentes. O C4 está em segundo lugar em similaridade com o C3, com o valor de 11 pontos iguais e 14 pontos diferentes no estudo da fachada. Para o grid vertical do C7, o LAeq fica numa faixa de 60 a 70 dB(A), as demais simulações mostraram em seu grid vertical um valor entre 60 a 75 dB(A).	 NPS em dB(A) 30 < ... <= 35 35 < ... <= 40 40 < ... <= 45 45 < ... <= 50 50 < ... <= 55 55 < ... <= 60 60 < ... <= 65 65 < ... <= 70 70 < ... <= 75 75 < ... <= 80 80 < ... <= 85 85 < ...
							
							
							
							
							
Grid Vertical da Edificação X Obra Inativa	Grid Vertical da Edificação X Obra Ativa	Grid Vertical da Edificação X Obra Ativa/8 pavimentos ao redor	Grid Vertical da Edificação X Obra Ativa / 12 pav. ao redor	Grid Vertical da Edificação X Obra Ativa / 15 pav. ao redor	Grid Vertical da Edificação X Obra Ativa / 20 pav. ao redor		

Fonte: A autora, 2016

Os Quadros 7 à 9, apresentam além do mapa de propagação sonora na malha urbana em cada simulação proposta, o mapa de conflito, e para estes foram utilizados os critérios da norma NBR 10.151 (ABNT, 2000).

Os mapas de conflito representam a diferença aritmética entre o ruído emitido pelo canteiro de obra e os níveis máximos autorizados para o recorte feito no bairro da Jatiúca; 55 dB (A) no período diurno para a Zona Residencial do tipo 4 (ZR4), área na cidade destinada à ocupação mista, predominantemente residencial.

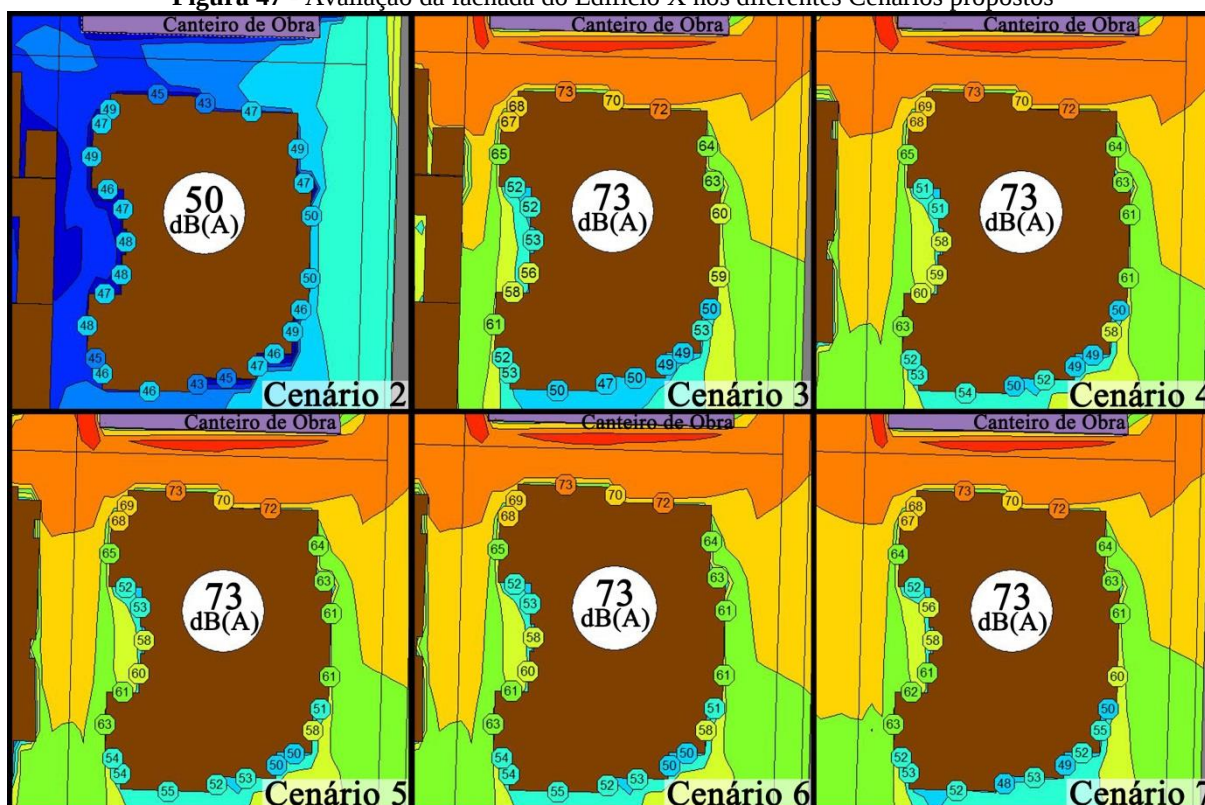
Os mapas calculados da situação atual mostram que o ruído na área sem a influência do canteiro de obras (C2) não interfere na malha urbana de forma desfavorável à norma NBR 10.151 (ABNT, 2000). Neste mapa de conflito, apenas uma pequena região ultrapassa a norma em 4 dB(A) onde encontra-se vias pavimentadas de paralepípedo e em 15 dB(A) na avenida principal, Almirante Álvaro Calheiros, de grande fluxo de carros. Na região do entorno do Edifício X não se verifica nenhum ruído acima de 50 dB(A) e é possível notar que os valores das fachadas ficam em torno de 43 à 50 dB(A), tendo como avaliação do prédio (*Building Evaluation*) o valor de 50 dB(A), resultando em um nível de 5 dB(A) abaixo do permitido pela norma.

Já o mapa de propagação sonora calculado para o ruído gerado pelo canteiro de obra na situação atual da malha urbana (C3), ultrapassa o valor estabelecido pela norma NBR 10.151 (ABNT, 2000) e desconfigura totalmente a paisagem acústica da região. O Ponto 2, mais próximo do canteiro de obra, sofre um incremento de 14 dB (A) em relação ao C2, esse valor também é o equivalente à diferença em dB (A) do permitido pela norma. As fachadas com a avaliação do prédio (*Building Evaluation*) resultou em um valor de 73 dB(A), ficando 18 dB(A) a cima do permitido pela norma.

No mapa simulado para o C4, para malha urbana contendo edificações com 8 andares e sob a influência da obra, o *Building Evaluation* continua no valor de 73 dB(A), mas a diferença entre esse e o C3 é que uma maior porcentagem das fachadas do Edifício X se encontram com níveis acima dos 55 dB(A) permitidos pela norma NBR 10.151 (ABNT, 2000), como demonstra a Figura 47.

Numa comparação entre o C5, onde a maioria das edificações do entorno do canteiro de obra possuem 12 andares, com o C4 – 8 andares, percebe-se pouca diferença na influência da altura das edificações no ruído urbano e nas fachadas do Edifício X, também mostrado na Figura 47.

Para uma comparação entre o C3 e o C6, de edificações do entorno com altura como se encontram hoje e com 15 andares, nota-se a influência de apenas 1 dB(A) no Ponto 2.

Figura 47 - Avaliação da fachada do Edifício X nos diferentes Cenários propostos

Fonte: A autora, 2016.

Os C5 e C6 são os que mais se equivalem tanto no mapa de propagação sonora quanto no mapa de conflito e também para a avaliação das fachadas em relação com o C3. Os dois estudos possuem 11 valores iguais e 14 diferentes em relação ao C3 na avaliação das fachadas. As simulações com 8, 12 e 15 andares no entorno demonstraram quase o mesmo mapa de conflito com a norma NBR 10.151 (ABNT, 2000) devido a sua semelhança na T.O., o que confirma a pouca influência das alturas dos prédios na qualidade acústica.

Já quando comparada com diferente T.O. percebe-se uma maior influência na qualidade acústica do recorte em estudo. A mesma comparação do C3, mas em relação ao C7, que tem a altura dos edifícios em 20 andares e com a modificação da taxa de ocupação (T.O.) no terreno para 25%, no ponto de medição 2, próximo ao Edifício X não se percebe nenhuma modificação no NPS. Já para o ponto de medição 1, o mais afastado do Edifício X, nota-se um aumento de 3,6 dB(A) do NPS. É possível verificar que sem as barreiras acústicas em formato de edificações horizontais com a TO de 50% (que é o caso dos Cenários 4, 5, e 6), o espalhamento do ruído é contido e se aglomera dentro as fachadas dos edifícios. No exemplo de prospecção futura do C7, a permeabilidade do ruído é mais ampla e isso pode ser percebido no mapa de conflito com a norma do Quadro 8.

Como visto na revisão de literatura, as fachadas dos edifícios atuam como barreiras acústicas, favorecendo as reflexões de alta frequência em detrimento das baixas frequências: é quando os cânions influenciam na propagação acústica (PICAUT et al., 2005). Desta forma, as altas frequências são canalizadas dentro do cânion, provocando um aumento dos níveis de pressão sonora.

Deve-se salientar que para o fluxo de ventilação da malha urbana o C7 é a melhor opção, mas como o vento e o ruído estão intimamente conectados, essa opção acarreta em mais desconforto acústico para as regiões mais afastadas do Edifício X, no entanto quando analisadas as fachadas dos prédios de todos os Cenários, este caso larga em vantagem, pois é o que mais se assemelha ao C3 – Obra ativa com a malha urbana como se encontra in loco (Figura 47) com 12 valores iguais e apenas 13 diferentes.

O C4 é a segunda simulação que mais se assemelha ao C3, com o valor de 11 pontos iguais e 14 pontos diferentes no estudo da fachada. Para o grid vertical a simulação do C7 (20 andares no entorno do Edifício X) o LAeq fica numa faixa de 60 á 70 dB(A), as demais simulações mostraram em seu grid vertical um valor entre 60 à 75 dB(A).

A Tabela 17 apresenta os NPS por frequência de cada simulação nos 4 pontos demarcados na malha. Existe uma constância entre os valores por frequência nos C5 e C6. Algumas semelhanças também foram encontradas no C3 e na simulação do C7. Nos pontos 3 e 4 do C7, as frequências são ainda mais brandas do que o encontrado in loco com a obra ativa (C3).

Tabela 17 - NPS por frequência de cada simulação nos 4 pontos demarcados na malha urbana

C3	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	Total
PONTO 1	34.2	39.2	45.3	47.9	44.9	38.9	56.1
PONTO 2	50.1	55.9	62.0	64.7	62.1	57.1	68.9
PONTO 3	35.2	40.7	46.5	48.2	44.9	39.1	70.1
PONTO 4	40.4	47.6	53.7	55.8	52.8	47.3	62.4
C4	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	Total
PONTO 1	34.1	39.2	45.3	47.7	45.0	39.2	56.1
PONTO 2	50.7	57.1	63.4	66.0	63.3	58.3	70.2
PONTO 3	30.5	33.3	39.5	43.2	41.0	35.3	70.1
PONTO 4	28.1	32.1	36.9	37.8	34.3	28.2	59.1
C5	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	Total
PONTO 1	34.1	39.1	45.2	47.6	45.0	39.2	56.1
PONTO 2	50.7	57.1	63.4	66.0	63.4	58.3	70.2
PONTO 3	29.6	32.2	38.7	42.8	41.3	35.6	70.1
PONTO 4	25.3	28.7	33.6	35.1	31.9	26.2	59.0
C6	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	Total
PONTO 1	34.1	39.1	45.2	47.6	45.0	39.2	56.1
PONTO 2	50.7	57.1	63.4	66.0	63.4	58.3	70.2
PONTO 3	29.6	32.2	38.7	42.8	41.3	35.6	70.1
PONTO 4	25.3	28.7	33.6	35.1	31.9	26.2	59.0
C7	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	4 KHz	Total
PONTO 1	34.1	39.2	45.3	47.7	44.4	38.4	56.0
PONTO 2	50.1	55.9	62.4	64.9	62.3	57.3	69.1
PONTO 3	32.0	35.8	41.4	42.6	39.8	36.0	70.1
PONTO 4	30.9	33.8	45.7	48.1	45.0	39.4	59.7

Fonte: A autora, 2016.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A forma como são distribuídos os equipamentos e residências na malha urbana são de extrema importância para qualidade acústica urbana. De acordo com Niemeyer & Santos (2001, p. 1) “os espaços urbanos, a partir do seu desenho, podem contribuir para a qualidade acústica das cidades”. Afirmam ainda que as vias de tráfego, as ruas residenciais, o uso da vegetação e as diversas formas da edificação interferem exponencialmente na sonoridade da cidade. Dessa forma nota-se que os três componentes: densidade, volumetria e a forma com que os edifícios se encontram distribuídos na malha urbana condicionam a propagação do ruído das diversas fontes sonoras urbanas.

O presente estudo constatou que para a região do recorte no bairro da Jatiúca, a relação entre altura e taxa de ocupação ($H \times T.O.$) das edificações se configura como um elemento que influencia diretamente na propagação sonora e na qualidade acústica do entorno urbano quando analisado sob a presença do ruído de um canteiro de obra por consequência da estrutura de recortes de quadras e afastamentos entre lotes.

Como analisado durante a revisão de literatura e confirmado no presente estudo, em climas tropicais é fundamental que a precaução com a qualidade ambiental do espaço construído ultrapasse os limites físicos do edifício, abrangendo também os espaços externos, públicos ou privados, particularmente em climas do tipo quente-úmido, onde não existe fronteira rígida interior-exterior, pois a janela tende a permanecer aberta a maior parte do dia, recurso utilizado tanto pelos moradores quanto pelos projetistas arquitetônicos, em virtude do conforto térmico.

É imprescindível conceituar o projeto considerando as interações com o clima local. O projeto de arquitetura e o de urbanismo precisam ser analisados de forma a coexistirem acentuando a necessidade de conforto ambiental na composição de soluções bioclimáticas para as cidades.

De acordo com o estudo do desenho dos lotes da região analisada, assim como grande parte dos bairros vizinhos localizados na orla marítima de Maceió, as frações do recorte da gleba foram projetadas a princípio para casas unifamiliares, tendo a dimensão da largura muito inferior ao comprimento, forçando assim que novas construções de edificações multifamiliares sejam construídas com o máximo de aproveitamento de ocupação do terreno, o que dificulta a utilização de vegetação arbórea significativa para atenuação das fontes sonoras do tráfego próximo e menor reverberação entre as fachadas.

Com a constante substituição da tipologia unifamiliar pela multifamiliar e verticalizada, de acordo com os parâmetros estabelecidos pela legislação, tem-se a perda de permeabilidade dos ventos, ou por vezes, mudança do fluxo desses ventos, ocasionando sombras acústicas e/ou reflexão excessiva, além do cerceamento das unidades que restam.

Outro fator de extrema importância é o tipo de revestimento empregado nos edifícios, que em geral são de materiais bastante reflexivos, como a cerâmica.

Ressalta-se aqui também, que, apesar de a verticalização ser vista como elemento importante no processo de transformação do espaço urbano, ela por si só não deve ser considerada a grande vilã das alterações de conforto acústico no ambiente urbano. Cada cidade apresenta característica específica logo, é fundamental que se considere a tipologia da cidade em questão para qualificar o estudo observando suas características específicas.

Deve-se avaliar quais elementos e medidas que, em conjunto com a verticalização, poderiam ser responsáveis pelo aumento dos níveis de pressão sonora. Por exemplo, a capacidade das ruas e avenidas de suportar a adição dos novos veículos automotivos provenientes das novas habitações em grande escala. Dentre esses elementos chama-se a atenção aos parâmetros urbanísticos: recuos, índices de ocupação e aproveitamento.

Neste contexto, o conforto no interior do edifício está condicionado às características microclimáticas e acústicas do entorno imediato (Niemeyer, 2007, p.3). A presente pesquisa verificou que a relação entre o exterior e o interior está comprometida em função do ruído do canteiro de obra que se conforma como agente condicionante da qualidade sonora no interior do Edifício X, já que os índices acústicos mensurados nos quartos de todos os andares não estão condizentes com os parâmetros determinados pela NBR 10.152:1987, com médias entre 56 à 58 dB(A) e com curvas de avaliação do ruído por frequência (*NOY* e *FONE*). Para quando a obra está ativa, o ouvido percebe o barulho do canteiro de obra e o ruído do tráfego como se ele fosse 3 vezes maior do que 1 *NOY* nas baixas frequências e até 5 vezes maior nas médias e altas frequências em relação ao encontrado nas medições *in loco*, demonstrando o grande impacto nos moradores residentes nos quartos avaliados.

As análises das simulações computacionais evidenciaram que os afastamentos entre fachadas (T.O.) é uma característica relevante quando posto em questão a qualidade acústica das fachadas das edificações. Com maior espaçamento entre as fachadas a reverberação do ruído encontrado tanto pelo canteiro de obra quanto pelo tráfego é amenizado. No entanto, para que esse afastamento seja possível, é necessário aumentar o número de pavimentos do edifício (que nem sempre é bem visto pelos cidadãos devido aos altos “paredões” que essa alternativa requer gerando desconforto visual). Essa alternativa também permite que o ruído

alcance regiões mais afastadas da fonte sonora, já que as barreiras em forma de prédios com 50% de taxa de ocupação não interrompem a transmissão do ruído para essas áreas, como é caso dos Cenários 4 a 6. No entanto, nas áreas ao redor do canteiro de obra é gerado um cânion urbano reverberante impactando consideravelmente o perímetro próximo.

Como sugestão para o estudo do novo Plano Diretor da cidade de Maceió, o presente trabalho sugere o Cenário 7 como o mais indicado, se levado em consideração o ruído de canteiro de obras na cidade, devido à menor reflexibilidade das fachadas (estando mais afastadas uma das outras). Essa opção gera níveis de frequência mais baixos até do que o encontrado *in loco* nos dias atuais, embora esta opção permita uma maior permeabilidade do ruído para regiões mais afastadas da fonte sonora.

FRITSCH (2006, p. 32) afirma que: “a compreensão dos mecanismos de propagação do som através da malha urbana é, portanto, elemento fundamental para o controle do ruído nas cidades.”. Esclarecidas essas questões, cabe aos pesquisadores e profissionais da área analisar as possíveis modificações da malha urbana para que desta forma seja possível propor alternativas para a melhoria da qualidade de vida dos habitantes da região.

O afastamento entre edificações, gabaritos e taxa de ocupação (T.O.) ou seja os parâmetros urbanísticos precisam ser adequadamente formulados para possibilitar uma boa utilização da relação entre o volume edificado e os espaços livres dentro da malha urbana. Uma forma de dar subsídio a esses parâmetros é a valorização e investimento em métodos preditivos de avaliação para conforto ambiental em glebas urbanas, afim de atenuar os gastos posteriores com reparos das novas construções e por vezes até extinguir os projetos que não contribuem para uma cidade sustentável e atestando desta forma o mínimo de impacto na saúde dos habitantes.

O presente trabalho encontrou algumas limitações no uso do Software CadnaA no que diz respeito a fonte de ruído para canteiro de obras. Este programa permite a inserção de fontes pontuais (indústria, rodovias e ferrovias), no presente estudo foi necessário adaptar o nível de pressão sonora do canteiro de obra para o programa com a inserção de planos de fachadas emitindo o ruído encontrado nas medições *in loco*.

Portanto, além de um aprimoramento desse programa, sugestiona-se um desdobramento deste estudo, com base nos aspectos morfológicos e fundamentais do som, com a estruturação um protótipo em formato de ferramenta digital que auxilie os projetos urbanos ao incluir a preocupação com todos os tipos de sons ambientais. Nesse sentido, surge a possibilidade de um processo de projeto mais dinâmico que mescla morfologia urbana, controle de ruído e manipulação qualitativa dos sons presentes em ambiente urbano.

Entende-se que os objetivos deste trabalho foram cumpridos, pois o estudo de caso foi investigado *in loco* através de medições no nível de pressão sonora previstos na legislação e com as diretrizes expostas na teoria especializada, assim como a análise de cenários futuros envolvendo a região em estudo, sendo assim, deu-se importante contribuição para a reflexão e consideração do tema no processo de análise, concepção dos espaços e da produção da cidade com qualidade acústica.

É imprescindível a luta pela prática da correta execução do Plano Diretor - ferramenta orientadora de um desenvolvimento sustentável, desenvolvida a partir de um consenso entre especialistas e a comunidade local levando em consideração esses parâmetros, direcionando o crescimento ordenado das cidades. Se esse planejamento for executado em sua plenitude, haverá a possibilidade mais efetiva de um modelo de gestão pública eficiente e com menos problemas de poluição sonora e ambiental a serem mitigados, possibilitando o equilíbrio na proteção do meio ambiente para as futuras gerações.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, B. S.; ALVES, A. S.; OITICICA, M. L. **Perfil da poluição sonora na cidade de maceió** – AL. p. 10. Set, 2013.

ANDRADE, S. M. **Metodologia para avaliação de impacto ambiental sonoro da construção civil no meio urbano**. Tese, Programa de pós-graduação em engenharia civil. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ. 2004.

ANSI, American National Standard Institute - USA. **S12.2 - Criteria for Evaluating Room Noise**. 1995.

ARIZMENDI, L. J. **Tratado Fundamental de Acustica en la Edificacion**. Madri: Eunsa. 1983.

ARNFIELD, A. J.; GRIMMOND, C. B. **An urban canyon energy budget model and its application to urban storage hat flux modeling**. Bloomington. 1998. 61 – 68 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.151 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade**. ABNT. 4. Rio de Janeiro. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.152 - Níveis de ruído para conforto acústico**. Rio de Janeiro, 1987.

BARBIRATO, G. M.; LYRA, R.; FERNANDES, E. F.; BARBOSA, R. V.; OLIVEIRA, T. C.; TELES, V. R. **Análise do clima urbano de maceió-al: comparações entre diversas escalas**. In: *XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro-RJ*. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. 2000. 628-634 p.

BARING, J. G. **Insolação Sonora de Paredes e Divisórias**. In: *A Construção São Paulo*. 1985.

BERANEK, L. L.; VÉR, I. L. **Noise and vibration control engineering: principles and applications**. New York: John Wiley and Sons. 1992.

BERISTÁIN, S. **El ruído es un serio contaminante**. In: *1º Congresso Iberoamericano de Acústica*. Florianópolis, Brasil. 1998. 135-46 p.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Edgard Blucher. 2ª ed. 2013. 370 p.

BOLLNOW, O. F. **O homem e o Espaço**. (A. L. Schmid, Trad.) Curitiba, Paraná, Brasil: UFPR. 2008.

BRASIL. LEI Nº 6.938 - **Política Nacional do Meio Ambiente**. *Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências*. Brasil. 31 de Agosto de 1981.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988. Organização do texto: Juarez de Oliveira. 4ª ed. São Paulo: Saraiva, 1990. 168 p. (Série Legislação Brasileira).

BRASIL. Lei nº 10.257 - **Estatuto da Cidade e Legislação Correlata**. (Senado Federal, Ed.) Brasília. 2001. 80 p.

BRASIL. LEI Nº 10.406 - **Código Civil Brasileiro**. Lei de Introdução às normas do Direito Brasileiro. 10 de Janeiro de 2002.

BRASIL. **Norma Regulamentadora nº15**. NR15- Dispõe sobre atividade ou operações insalubres. Ministério do Trabalho. Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho. 1978.

BRASIL. **Norma Regulamentadora nº17**. NR17- Estabelece parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores. Ministério do Trabalho. Departamento de Segurança e Saúde no Trabalho. 1992.

BRASILEIRO, V. M. **Poluição Sonora**. Brasília: Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados. 2012.

BRIOSCHI, R. **Análise paramétrica da relação entre massaedificada e níveis sonoros no ambiente urbano por simulação computacional**. *Dissertação Mestrado*. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina. 2011.

BUARQUE, S. C. **Metodologia e técnicas de construção de cenários globais e regionais**. *Textos para discussão nº 939, 75*. Brasília: IPEA. 2003.

CARNEIRO, W. D. **Perturbações sonoras nas edificações urbanas**. 4ª ed. Belo Horizonte: Del rey. 2014.

CARVALHO, L. C. **Aplicação da legislação sobre ruído à escala do aglomerado urbano.** 2006. 12 p.

CAVALCANTE, M. M. **O Projeto: Diálogos da forma na orla de Maceió.** Edifícios verticais 1980-2012. São Paulo. Abril de 2014.

CAVALCANTI, V. R.; LINS, R. D. **“Vazios” urbanos de Maceió: fronteiras e interstícios da urbanização.** *Projeto de Pesquisa.* Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Alagoas. Maceió. 2003.

CONAMA. Resolução 001/93. **Estabelece, para veículos automotores nacionais e importados, limites máximos de ruído com o veículo em aceleração e na condição parado,** 1993. 290-302 p.

CONAMA. Resolução 002/90. **Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – SILÊNCIO.** 08 de Março de 1990.

COPPE, I. A.C. **Ruído e formas urbanas, curso de transporte ambiental.** Rio de Janeiro. 1999.

COSTA, E.; KITAMURA, S. **Órgão do sentido - Audição.** In: MENDES *Patologia do Trabalho.*, São Paulo. 1995. 365 p.

COWAN, J. P. **Handbook of enviromental acoustics.** Jon wiley & Sons, INC. 1994. 283 p.

DATAKUSTIK. **Applications softwere CadnaA.** 2015. Disponível em: <<http://www.datakustik.com/en/applications/>> Acesso em: 15jan. 2015.

DINATO, A. C.; SCHAAL, R. E. **Abordagem alternativa para aferição de ruído sonoro no entorno de aeroportos.** 2006. 247-254 p.

ENIZ, A.; GARAVELLI, S. L. **A contaminação acústica de ambientes escolares devido aos ruídos urbanos no Distrito Federal, Brasil.** 2006. 137-150 p.

EUROPEIA, J. O. 2002/49/CE. **Diretiva (UE) 2015/996 da Comissão.** Estabelece métodos comuns de avaliação do ruído de acordo com a Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho. União Europeia. 19 de Maio de 2015.

FEDERAL, S. (2012). **Senado Federal - Jornal do Senado**. Disponível em: <<http://www12.senado.gov.br/jornal/edicoes/2012/06/19/invisivel-poluicao-sonora-cresce-e-se-agrava>> . Acesso em: 04jul. 2015.

FERNANDES, J. C. **Acústica e ruídos**. Bauru, São Paulo, Brasil: UNESP. 2005. 102 p.

FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional** - Procedimento Técnico. *Avaliação da Exposição Ocupacional ao ruído*. Brasil. 2001.

GERGES, S. **Ruído. Fundamentos e Controle**. Florianópolis: Imprensa Universitária. 1992.

GUEDES, I. C. Influência da forma urbana em ambiente sonoro: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE). *Dissertação Mestrado*. Universidade Estadual de Campinas. 2005.

GUEDES, I. C.; BERTOLI, S. **Forma urbana: Um indicativo de sua influência no ambiente sonoro no bairro Jardins em Aracaju (SE)**. 2005.

HINCUI, G. **Computer assisted evaluation of traffic noise level**. Electronic Journal Technical Acoustics. 2013. Disponível em: <<http://webcenter.ru/~eeaa/ejta/>> Acesso em: 23fev. 2016.

HUANG, Y., HU, X.; ZENG, N. **Impact of wedge-shaped roofs on airflow and pollutant dispersion inside urban street canyons**. Building and Environment. Shanghai. 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Maceió-Alagoas**. 2010 . Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=270430>> Acesso em: 01nov. 2015.

JOB, R. **The Influence of subjective reactions to noise on health effects of the noise**. *Environ Int*. 1996. 104 p.

KESSLER, F. M. **Community noise**. In: CROCKER, M. J. ; KESSLER, F. M. *Noise and noise control*. Flórida. 1982. 182-216 p.

KONG, The Government of the Hong. **Environmental Protection Department of Hong Kong**. Noise Control Ordinance. January, 1, 2002. Disponível em: <<http://migre.me/u5oQw>> Acesso em: 26 ago. 2015.

KONG, The Government of the Hong. **Thecnical Memorandum on noise from construction work other than percussive piling**. Hong Kong. 1989.

KRIER, R. **Teoria y Practica de los Espacios Urbanos**. Barcelona: Gustavo Gilli. 1985.

KROHN, O. C. **Ruídos gerados por obras da construção civil**. Brasília, DF, Brasil: Universidade Católica de Brasília. 2012.

KRYTER, K. D. **Scaling human reactions to the sound from airport**. Massachusetts. 1959.

LACERDA, A. B.; MAGNI, C.; MORATA, T.; MARQUES, J.; ZANNIN, P. H. **Ambiente Urbano e Percepção da Poluição Sonora**. Paraná: Laboratório de Acústica Ambiental da Universidade Federal do Paraná. 2005.

LISBOA, H. B.; MAROJA, A. M.; A. M.; GARAVELLI, S. L. **Mapa de ruído como instrumento de gestão da poluição sonora**: Estudo de Caso na Região Central de Brasília - DF. In: *PLURIS. Planejamento Urbano Regional Integrado e Sustentável, Brasília-DF*. 2012.

LOBO, E. Revista Em Foco Nº 28 - **Entrevista com Edalmo Lobo**. 2007. Disponível em: <<http://www.gw3mn.com.br/site/index.php/revista-em-foco-n-28/229-entrevista-com-edalmo-lobo>> Acesso em: 15mar. 2014.

LOPES, A. C.; JUNQUEIRA, E. **Habitação de interesse social em Maceió**. Rio de Janeiro: IBAM/ DUMA. 2005.

LOPES, R. **O mundo construído**. Rio de Janeiro: Forense Universitária. 2001.

LORDSLEEM Jr, A. C.; Lima, P. R. **Canteiros de obras com menor impacto ambiental**: avaliação baseada no referencial AQUA. Teoria e Prática na Engenharia Civil, n.18 , Novembro de 2011. 39-48 p.

LOURA, R. M.; VALADARES, V. M. **Morfologia urbana e ruído ambiental**: verificação da metodologia de pesos aplicada no bairro Floresta. In: *Encontro Nacional sobre Conforto*

no Ambiente Construído, CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA SOBRE CONFORTO E DESEMPENHO ENERGÉTICO DE EDIFICAÇÕES. ANAIS, 2003. 745-752 p.

MACEIÓ. Lei 5.486. **Plano Diretor Maceió - Alagoas**. Maceió, Alagoas, Brasil. 30 de Dezembro de 2005. Disponível em:
<http://sempla.maceio.al.gov.br/sempla/dpu/PLANO%20DIRETOR_MAPAS%20A3/PLANO%20DIRETOR%202006_AT3.pdf> Acesso em: 01Jul. 2016.

MACEIÓ. Lei 5.593. **Código de urbanismo e edificações do município de maceió**. Maceió, Alagoas, Brasil. 08 de Fevereiro de 2007. Disponível em:
<<http://www.camarademaceio.al.gov.br/downloads/codigo-de-obras-e-edificacoes-de-maceio.pdf>> Acesso em: 01Jul. 2016.

MACEIÓ. **Caderno Técnico revisão do Plano Diretor da Cidade de Maceió** - Audiência. 12 de Março de 2016. Disponível em: <<http://www.maceio.al.gov.br/wp-content/uploads/admin/pdf/2015/10/caderno-tecnico-reuniao-audiencia-PD-maceio-12-mar-2016-versao-completa.pdf>> Acesso em: 01Jul. 2016.

MACEIÓ, C. M. Lei nº 3.538. **Código de posturas do município de maceió**. Maceió. 23 de Dezembro de 1985. Disponível em: <<http://www.maceio.al.gov.br/wp-content/uploads/admin/documento/2013/11/Lei-Municipal-3.538-de-23-de-dezembro-de-1985-C%C3%93DIGO-DE-POSTURAS-DO-MUNIC%C3%8DPIO-DE-MACEI%C3%93.pdf>> Acesso em: 01Jul. 2016.

MACIEL, B.; GARAVELLI, L. S.; SILVA, D. R. **Estudo do Ruído ambiental na cidade de Águas Claras**. 2008.

MAIA, M. A.; SATTTLER, M. A. **Contribuição ao mapeamento do ruído urbano na cidade de Porto Alegre**. In: *encontro nacional sobre conforto no ambiente construído, 7, conferência latino-americana sobre conforto e desempenho energético de edificações*. Anais. 2003. 761-769 p.

MARCONDES, M. d. **Cidade e natureza: proteção dos mananciais e exclusão social**. São Paulo: Studio Nobel: Edusp/Fapesp. 1999.

Marcos Paiva Matos, U. d. **Medidas de controle do ruído**. São Paulo: Hucitec. 2ª ed. 1996.

MAROJA, A. M.; CARVALHO JÚNIOR, E. B.; GARAVELLI, S. L. **Noise mapping using vehicles electronic speed controllers**. In: *18th ICSV*. Rio de Janeiro. 2011.

MATHEUS, D. **Acústica de Edifícios e controle de ruído**. Universidade de Coimbra - FCTUC. Coimbra. 2008.

MENEZES JÚNIOR, C. T. **Ambiente sonoro em canteiro de obra da construção civil**. Estudo de Caso: Maringá - PR. *Dissertação Mestrado*. Florianópolis. 2002.

METZEN, H. A. **Introduction to CadnaA. DataKustik**. Greifenberg, Alemanha. 2009.

MURGEL, E. **Fundamentos de acústica ambiental**. São Paulo: SENAC. 2007.

NIEMEYER, M. L. **Ruído urbano e arquitetura em clima tropical – úmido**. *Dissertação* - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 1998. 133 p.

NIEMEYER, M. L. **Conforto acústico e térmico, em situação de verão, em ambiente urbano: uma proposta metodológica**. *Tese doutorado*. Rio de Janeiro-RJ. 2007.

NIEMEYER, M. L.; CORTÊS, M. **Avaliação do incômodo sonoro da linha vermelha no bairro de são cristóvão**, Rio de Janeiro. 2012.

NIEMEYER, M. L.; SANTOS, M. J. **Qualidade acústica no espaço urbano**. In: encontro nacional sobre conforto no ambiente construído, encontro latino-americana sobre conforto no ambiente construído. São Paulo. 2001.

NIEMEYER, M. L.; SLAMA, J. G. **Ruído e a cidade: elementos do ruído urbano**. In: *RIO, V. D. (Org.)*. Arquitetura: pesquisa projeto. São Paulo: Proeditores, Rio de Janeiro: FAU UFRJ. 1998. 76-89 p.

NUDELMANN, A. **Pair: Perda Auditiva Induzida pelo Ruído**. Porto Alegre: Bagagem Comunicação. 1997.

PANÃO, M.; GONÇALVES, H.; FERRÃO, P. **Numerical analysis of the street canyon thermal conductance to improve urban design and climate**. *Building and Environment*. Lisboa. 2009.

PICAUT, J.; POLLÈS, T. L.; L'HERMITE, P.; GARY, V. **Experimental study of sound propagation in a street**. *Applied acoustics*. Bouguenais Cedex. 2005. 149-173 p.

RAGAZZI, M. A. **A Poluição Sonora e a Proteção Legal**. 2003. Disponível em: <http://www.eduvaleavare.com.br/ethosjus/revista2/pdf/a_poluicao.pdf> Acesso em: Janeiro de 2016.

REGO, A. Q.; NIEMEYER, M. L. **Qualidade sonora e clima urbano: cotejando dimensões invisíveis. II Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo**. Natal, Rio Grande do Norte. 2012.
SALIBA, T. M. **Manual Prático de Avaliação e Controle do Ruído: PPRA**. LTR Editora. 8ª Ed. São Paulo, Brasil. 2014.

SCHAFFER, R. M. **A Afinação do Mundo**. (M. T. Fonterrada, Trad.) São Paul-SP, Brasil: UNESPE. 2011.

SELIGMAN, J. **Efeitos não auditivos e aspectos psicossociais no indivíduo submetido a ruído intenso**. *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia*. 1993.

SILVA D., D. R. **O ruído ambiental na cidade de Águas Claras – DF : Percepção e Realidade**. *Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental*. Universidade Católica de Brasília, Brasília-DF. Março de 2011. 119 p.

SILVA J., J. D. **Urbanização e saúde em maceió, al: o caso dos bairros Vergel do Lago, Jacintinho e Benedito Bentes**. *Dissertação de mestrado*. Maceió, Alagoas. UFAL. 2011.

SLAMA, J. G.; NIEMEYER, M. L. **Estratégias para elaboração de uma legislação para o controle de ruído urbano em região de clima tropical úmido.** In: *VIII Encontro da SOBRAC*. 1998.

SOUZA, D. **Instrumentos de gestão da poluição sonora para a sustentabilidade das cidades brasileiras.** Rio de Janeiro. 2004.

STANDARD, B. **British Standard 5228-1.** Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites. Noise. April. 2009.

TSUKERNIKOV, I. E.; SHUBIN, I. L.; IVANOV, N. I.; NEVENCHANNAYA, T. O.; NEKRASOV, I. A. **Determination of noise emission data of construction sites.** ICA Montreal. 2013.

VILELA, J. **Variáveis do clima urbano:** análise da situação atual e prognóstico para a região do bairro Belvedere III, Belo Horizonte, MG. *Dissertação* (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Arquitetura, Universidade Federal Minas Gerais. Belo Horizonte. 2007. 213 p.

WHO, W. H. **Guidelines for community noise.** (B. Berglund, T. Lindvall, & D. H. Schwela, Eds.) London, United Kingdom. April de 1999. 159 p.

WHO, W. H. **Résumé d'orientation des directives de l'oms relatives au bruit dans l'environnemental.** Geneve. 2003. Disponível em: <<http://www.who.int/homepage/primers>> Acessado em: 5jan. 2005.

Apêndice A

Relatório de Medições

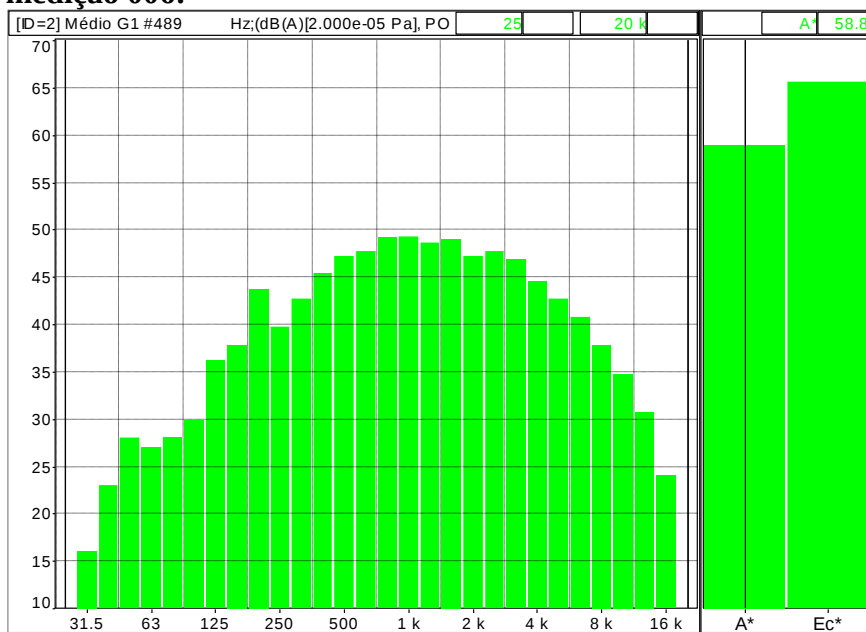
Medição apartamento 104

Data: 17/02/2016

Numero da medição: 006

Tipo de dado	Ponderação	Duração	Valor	Unidade
Leq	A	00:15:00	58,8	dB[2.000e-05 Pa]
Max	A	00:15:00	69,4	dB[2.000e-05 Pa]
Min	A	00:15:00	44,7	dB[2.000e-05 Pa]
Sel	A	00:15:00	88,4	dB[2.000e-05 Pa]
Max Rap	A	00:15:00	73	dB[2.000e-05 Pa]
Min Rap	A	00:15:00	40,5	dB[2.000e-05 Pa]
Pico	C	00:15:00	94,2	dB[2.000e-05 Pa]

Espectro da medição 006:

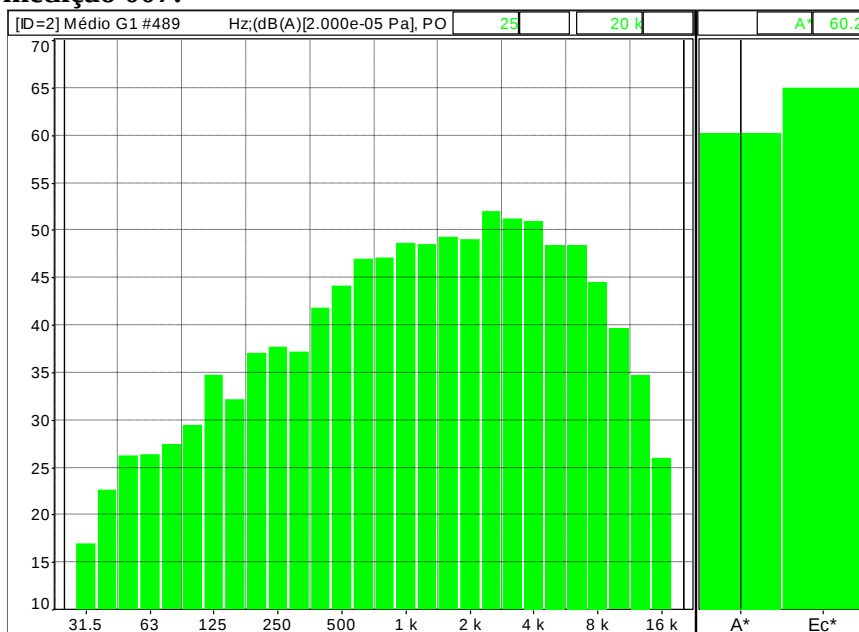


Medição apartamento 104

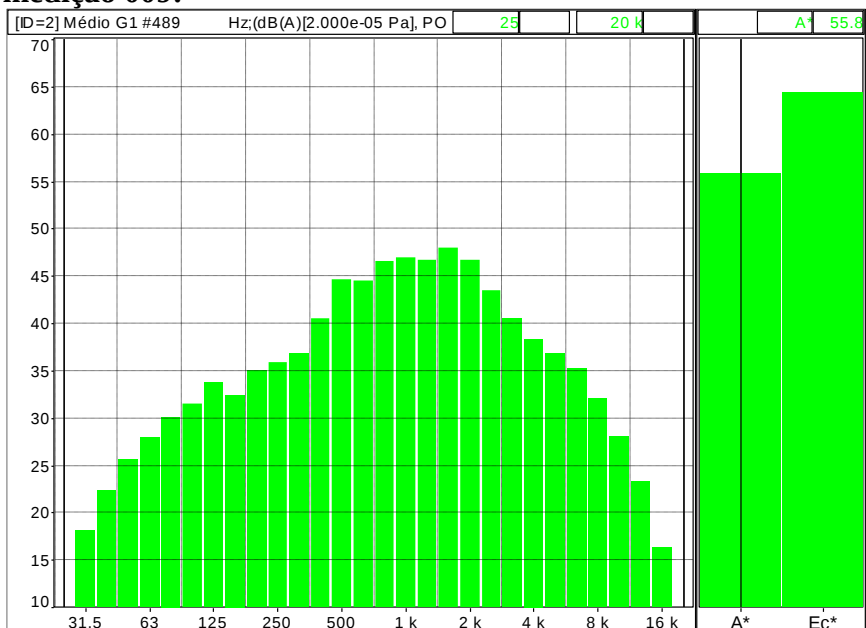
Data: 17/02/2016

Numero medição: 007

Tipo de dado	Ponderação	Duração	Valor	Unidade
Leq	A	00:15:00	60,3	dB[2.000e-05 Pa]
Max	A	00:15:00	74,3	dB[2.000e-05 Pa]
Min	A	00:15:00	45,9	dB[2.000e-05 Pa]
Sel	A	00:15:00	89,8	dB[2.000e-05 Pa]
Max Rap	A	00:15:00	78,6	dB[2.000e-05 Pa]
Min Rap	A	00:15:00	45,1	dB[2.000e-05 Pa]
Pico	C	00:15:00	94,3	dB[2.000e-05 Pa]

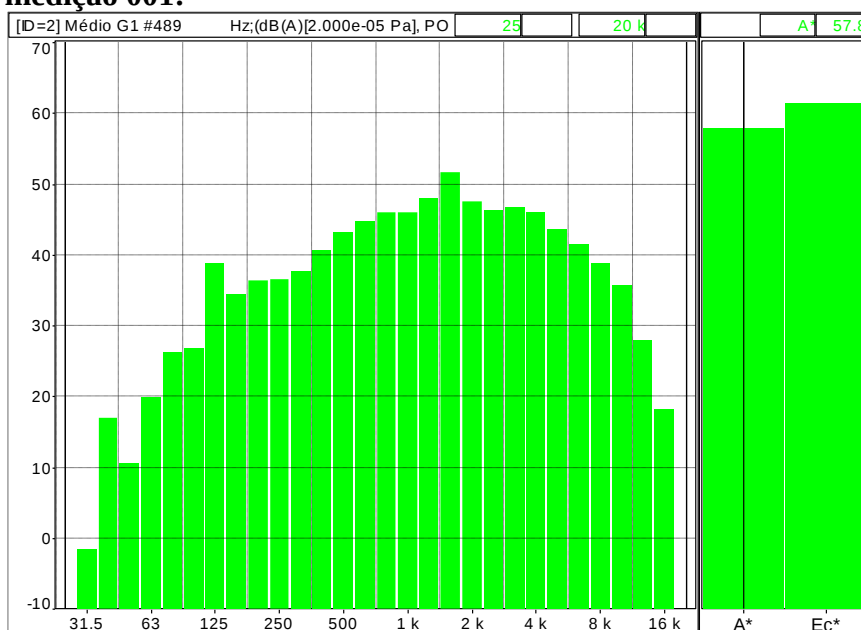
Espectro da medição 007:**Medição apartamento 104****Data: 17/02/2016****Numero medição: 009**

Tipo de dado	Ponderação	Duração	Valor	Unidade
Leq	A	00:15:00	55,9	dB[2.000e-05 Pa]
Max	A	00:15:00	77	dB[2.000e-05 Pa]
Min	A	00:15:00	40,5	dB[2.000e-05 Pa]
Sel	A	00:15:00	85,4	dB[2.000e-05 Pa]
Max Rap	A	00:15:00	81,3	dB[2.000e-05 Pa]
Min Rap	A	00:15:00	39,7	dB[2.000e-05 Pa]
Pico	C	00:15:00	97,5	dB[2.000e-05 Pa]

Espectro da medição 009:

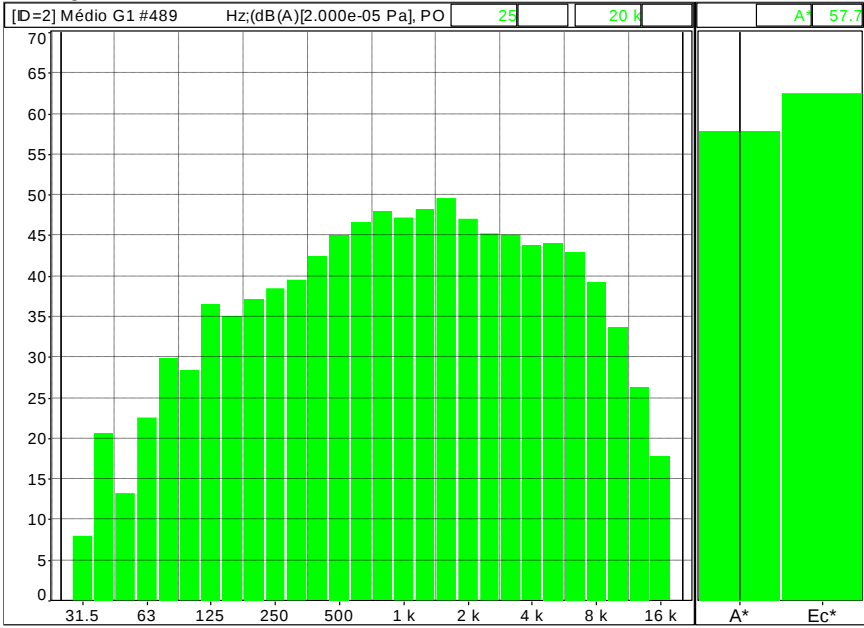
Medição apartamento 504**Data: 23/02/2016****Numero medição: 001**

Tipo de dado	Ponderação	Duração	Valor	Unidade
Leq	A	00:15:00	57,8	dB[2.000e-05 Pa]
Max	A	00:15:00	67,4	dB[2.000e-05 Pa]
Min	A	00:15:00	45,5	dB[2.000e-05 Pa]
Sel	A	00:15:00	87,4	dB[2.000e-05 Pa]
Max Rap	A	00:15:00	70,3	dB[2.000e-05 Pa]
Min Rap	A	00:15:00	38,7	dB[2.000e-05 Pa]
Pico	C	00:15:00	83,4	dB[2.000e-05 Pa]

Espectro da medição 001:**Medição apartamento 504****Data: 23/02/2016****Numero medição: 002**

Tipo de dado	Ponderação	Duração	Valor	Unidade
Leq	A	00:15:00	57,7	dB[2.000e-05 Pa]
Max	A	00:15:00	67,4	dB[2.000e-05 Pa]
Min	A	00:15:00	45,6	dB[2.000e-05 Pa]
Sel	A	00:15:00	87,3	dB[2.000e-05 Pa]
Max Rap	A	00:15:00	69,9	dB[2.000e-05 Pa]
Min Rap	A	00:15:00	33,4	dB[2.000e-05 Pa]
Pico	C	00:15:00	98,4	dB[2.000e-05 Pa]

Espectro da medição 002:



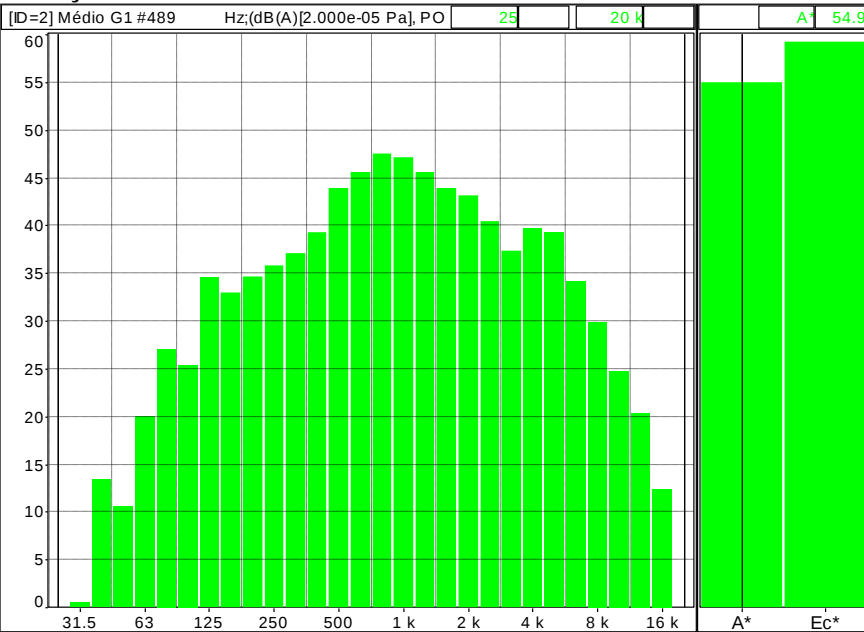
Medição apartamento 504

Data: 23/02/2016

Numero medição: 003

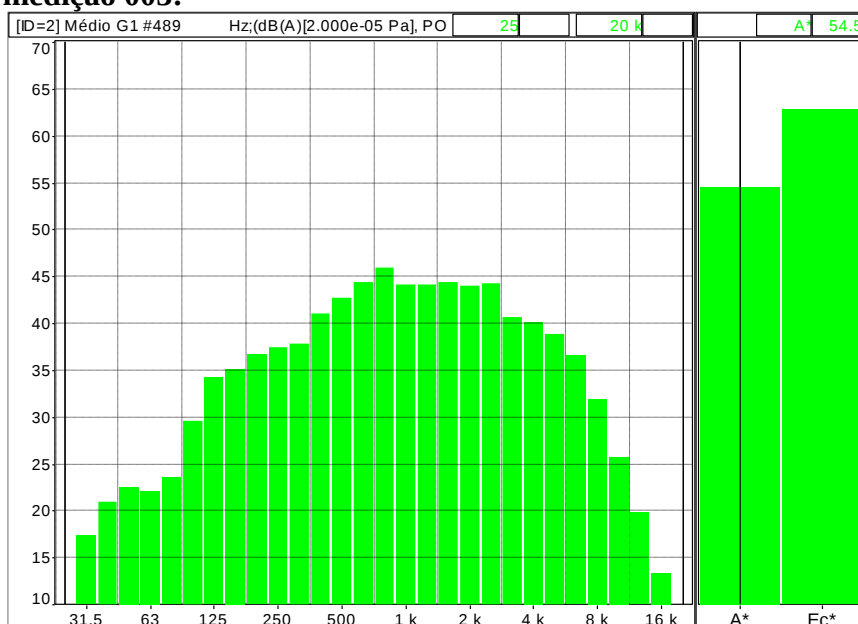
Tipo de dado	Ponderação	Duração	Valor	Unidade
Leq	A	00:15:00	55	dB[2.000e-05 Pa]
Max	A	00:15:00	68	dB[2.000e-05 Pa]
Min	A	00:15:00	44,3	dB[2.000e-05 Pa]
Sel	A	00:15:00	84,5	dB[2.000e-05 Pa]
Max Rap	A	00:15:00	71,1	dB[2.000e-05 Pa]
Min Rap	A	00:15:00	33,7	dB[2.000e-05 Pa]
Pico	C	00:15:00	84	dB[2.000e-05 Pa]

Espectro da medição 003:

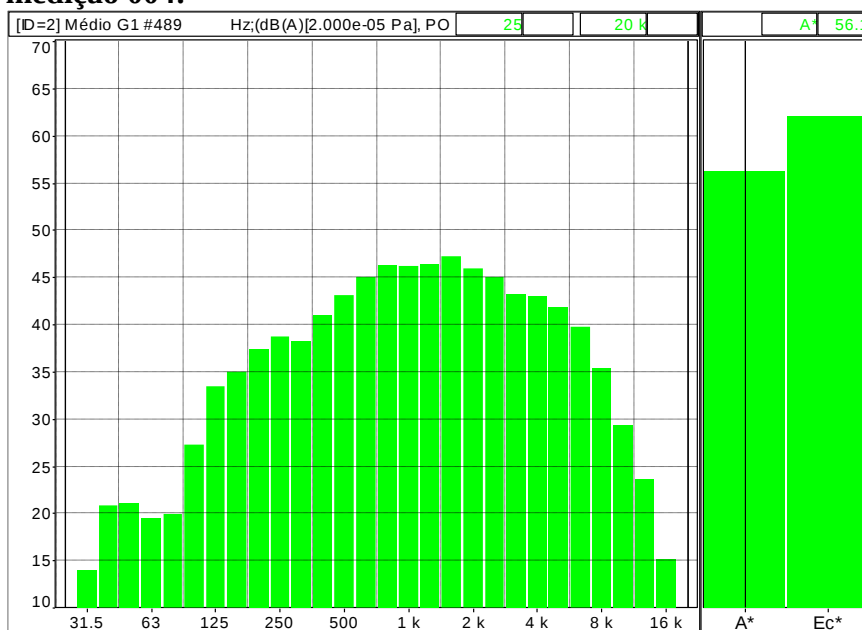


Medição apartamento 904**Data: 17/02/2016****Numero medição: 003**

Tipo de dado	Ponderação	Duração	Valor	Unidade
Leq	A	00:15:00	54,6	dB[2.000e-05 Pa]
Max	A	00:15:00	71,4	dB[2.000e-05 Pa]
Min	A	00:15:00	45,5	dB[2.000e-05 Pa]
Sel	A	00:15:00	84,2	dB[2.000e-05 Pa]
Max Rap	A	00:15:00	75,9	dB[2.000e-05 Pa]
Min Rap	A	00:15:00	37,4	dB[2.000e-05 Pa]
Pico	C	00:15:00	97,6	dB[2.000e-05 Pa]

Espectro da medição 003:**Medição apartamento 904****Data: 17/02/2016****Numero medição: 004**

Tipo de dado	Ponderação	Duração	Valor	Unidade
Leq	A	00:15:00	56,2	dB[2.000e-05 Pa]
Max	A	00:15:00	76,8	dB[2.000e-05 Pa]
Min	A	00:15:00	45,2	dB[2.000e-05 Pa]
Sel	A	00:15:00	85,7	dB[2.000e-05 Pa]
Max Rap	A	00:15:00	83,1	dB[2.000e-05 Pa]
Min Rap	A	00:15:00	40,2	dB[2.000e-05 Pa]
Pico	C	00:15:00	96,5	dB[2.000e-05 Pa]

Espectro da medição 004:**Medição apartamento 904****Data: 17/02/2016****Numero medição: 005**

Tipo de dado	Ponderação	Duração	Valor	Unidade
Leq	A	00:15:00	57,5	dB[2.000e-05 Pa]
Max	A	00:15:00	79,7	dB[2.000e-05 Pa]
Min	A	00:15:00	45,2	dB[2.000e-05 Pa]
Sel	A	00:15:00	87	dB[2.000e-05 Pa]
Max Rap	A	00:15:00	86,6	dB[2.000e-05 Pa]
Min Rap	A	00:15:00	36,8	dB[2.000e-05 Pa]
Pico	C	00:15:00	99,3	dB[2.000e-05 Pa]

Espectro da medição 005