

# Acústica e Vibrações

Sociedade Brasileira de Acústica - Sobrac

Dezembro de 2019 - Vol. 34 ▶ N° 51

**Avaliação da Qualidade Acústica no Entorno do Hospital  
Universitário Clementino Fraga Filho (HUCFF)**

**Avaliação sonora de espaços urbanos na área central de São  
Paulo: o caso da Avenida Ipiranga**

**Mapas Sonoros: histórico e levantamento da atual produção  
brasileira**

**Acústica: visão do docente sobre a elaboração de projetos e o  
impacto na saúde auditiva**

**Tubo de impedância para baixas frequências: construção e  
validação**

***Chamadas & News and Reviews***

**ISSN 2764-3611 (e), 1983-442X (i)**

*(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)*

## Acústica & Vibrações

n. 51, dezembro de 2019, vol. 34

doi: [10.55753/ae.v34e51](https://doi.org/10.55753/ae.v34e51)

<https://revista.acustica.org.br>

ISSN: 2764-3611 (e) | 1983-442X (i)



### Comissão Editorial

#### Editor-Chefe

William D'Andrea Fonseca | ✉

#### Editor Associado

Márcio Avelar Gomes | ✉

#### English Proofreader

Joseph Lacey | ✉

#### Capa e Diagramação

William D'Andrea Fonseca

### Endereços

UFSM – Centro Tecnológico – Sala 212

Av. Roraima no 1000, Camobi

Santa Maria, RS, Brasil - 97105-900

[www.acustica.org.br](http://www.acustica.org.br)

[sobrac@acustica.org.br](mailto:sobrac@acustica.org.br)

### Diretoria Sobrac 2019–2020

Presidente: Stelamaris Rolla Bertoli | ✉

Vice-pres.: Krisdany S. M. Cavalcante | ✉

1º Sec.: Débora Miranda Barretto | ✉

2º Sec.: Maria Lygia Alves de Niemeyer | ✉

1º Tesoureiro: Roberto Jordan | ✉

2º Tesoureiro: Gustavo S. V. Melo | ✉

### Conselhos

#### Deliberativo 2019–2022

Aline Lisot, Cândida de Almeida Maciel, Daniel Fernando Zajarkiewicch, Dinara Xavier da Paixão e José Augusto Mannis.

#### Fiscal 2019–2020

Maria Lucia G. da Rosa Oiticica, Ranny L. X. N. Michalski e Viviane Suzey G. Melo.

#### Regionais 2019–2020

Região Norte, Região Nordeste, Região Centro Oeste, Regional São Paulo e Regional Rio Grande do Sul.

### Informações

*Todos os artigos publicados passam por um sistema de revisão-parecer duplo-cego antes da aceitação. Os pareceristas são profissionais com conhecimento notável no assunto. Os conteúdos dos artigos são de responsabilidade dos autores.*

## Sumário

Editorial .....	3
-----------------	---

## Artigos

Avaliação da qualidade acústica no entorno do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho (HUCFF) .....	5
Avaliação sonora de espaços urbanos na área central de São Paulo: o caso da Avenida Ipiranga.....	13
Mapas de ruído: histórico e levantamento da atual pro- dução brasileira .....	33
Acústica: visão do docente sobre a elaboração de pro- jetos e o impacto na saúde auditiva .....	49
Tubo de impedância para baixas frequências: constru- ção e validação .....	59

## Chamadas

Publique na A&V .....	73
Associe-se à Sobrac .....	75
INAD 2020 .....	77
International Year of Sound 2020.....	85
12º Congresso Iberoamericano de Acústica & XXIX Encontro da Sobrac .....	87
Eventos de acústica pelo Brasil e o mundo .....	89
Agradecimentos aos autores e pareceristas da A&V .....	97

## News & Reviews

Teatro de Santa Maria recebe nova simulação acústica virtual com Odeon .....	99
Harmonia SoundLab .....	103
Brüel & Kjør lança moderna cabeça artificial de alta frequência .....	107

*(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)*

## Editorial

Prezado leitor da Acústica e Vibrações,

é com muita satisfação que lhe trazemos mais este exemplar. Esta edição conta com uma versão gratuita, que contém apenas a primeira página de cada artigo, com o intuito de dar mais subsídio para que aqueles ainda não associados à Sobrac possam avaliar uma das vantagens de se inscrever (veja detalhes como se associar na seção *Chamadas*).

Temos aqui cinco artigos, começando pelo trabalho de Bruna Croce e Júlio Torres da UFRJ, que aborda um tema pertinente, relativo ao problema de ruído em hospitais. Além da metodologia usada na avaliação, há uma discussão que certamente será levada à diante por nossa comunidade, relacionada aos níveis máximos permitidos pela norma ABNT 10151.

O artigo de Ranny Michalsky e Giovanna Caparroz (FAU/USP) descreve a produção do mapa de ruído de uma região no centro da cidade de São Paulo, procurando relacioná-lo com as impressões da população sobre a paisagem sonora do local. Um dos pontos interessantes é o início de uma discussão mais humanizada sobre o problema do ruído urbano, cuja percepção também depende de outros sentidos, além da audição.

As pesquisadoras da UFRN, Tamiris, Luciana, Débora, Virgínia e Bianca, que assinam o terceiro artigo, nos trazem um interessante compêndio de mapas de ruído já realizados no Brasil e discutem outras fontes de informação que poderiam gerar dados geo-referenciados. Nesse artigo, alguns mapas de denúncias sobre poluição sonora são também apresentados.

Vanessa Mariz e Camila Araújo, da UFMG, realizaram um estudo com engenheiros e arquitetos, todos docentes, para quantificar a preocupação com a acústica em seus projetos. Conforme seus resultados, há uma preocupação em cerca de 60% da população estudada. Tal estudo deve nos instigar a promover e intensificar campanhas de conscientização.

Encerrando a seção de artigos científicos, Rodolfo Thomazelli e Stelamaris Bertoli, da FEC/UNICAMP, nos apresentam em detalhes o projeto, construção e avaliação de um tubo de impedâncias específico para medições de impedância sonora em frequências baixas, como requerido ao avaliar ressonadores de Helmholtz.

Além dos artigos científicos, na seção de *Chamadas*, o leitor encontrará um texto de nosso Editor-chefe, incentivando as publicações na revista Acústica e Vibrações. Não deixe de ler e verificar os tipos de artigos aceitos para publicação, bem como algumas sugestões sobre temas a serem abordados.

Não poderíamos deixar de destacar aqui os textos sobre duas ações mundiais, com suas respectivas coordenações no Brasil, para a conscientização sobre questões relacionadas ao som: o INAD e o Ano Internacional do Som. Confiram os detalhes e engajem-se nessas campanhas, cujo sucesso depende de nossa atuação!

Várias chamadas para eventos científicos sobre acústica e vibrações que ocorrerão nos anos de 2020 e 2021 são apresentadas quase ao final desta nossa edição, com destaque ao XII Congresso Iberoamericano de Acústica (FIA) e XXIX Encontro da Sobrac que serão realizados conjuntamente em 2020, na paradisíaca Florianópolis. Além da oportunidade de trocar experiências e conhecimento, o evento nos relembra a primeira edição do FIA, ocorrida na mesma cidade em 1998.

Para alcançarmos uma qualidade e visibilidade cada vez maior, além dos autores, publicamos aqui um agradecimento especial e nominal aos pareceristas e revisores que dedicaram-se à leitura e crítica dos artigos submetidos. Lembramos aqui que, mesmo quando um artigo não é aceito, o parecer cumpre uma função de construção do conhecimento e serve para uma "afinação" de nossos discursos.

Para encerrar esta edição, contamos com mais uma novidade, a nova seção chamada de *News & Reviews*, constando três mini artigos técnicos muito interessantes. Um deles sobre a construção de um modelo computacional e simulação do Theatro Treze de Maio, em Santa Maria (RS), de Caroline Gaudeoso e William Fonseca (UFSM). Carolina, Marcel, Marcos e Paola nos trazem a descrição de uma sala de audição crítica construída na empresa Harmonia, de acordo normas nacionais e internacionais. E, por fim, Rémi Guastavino (adaptado por Rose Esteves e William Fonseca) nos apresenta a descrição da nova cabeça artificial da Brüel & Kjaer com uma construção que reproduz características do sistema auditivo e do aparelho fonador humano, para os mais diversos propósitos, como o desenvolvimento nos ramos de comunicação e entretenimento.

Muito obrigado e uma ótima leitura!

Cordialmente,

Prof. Dr. William D'Andrea Fonseca

Prof. Dr. Márcio Henrique de Avelar Gomes

Dezembro de 2019.

# Avaliação da qualidade acústica no entorno do Hospital Universitário Clementino Fraga Filho (HUCFF)

Croce, B. D. P<sup>1</sup>; Torres, J. C. B.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, {brunacroce, julio}@poli.ufrj.br

## Resumo

As condições acústicas dentro de um hospital devem garantir o conforto necessário para o desenvolvimento de suas atividades, sem que haja incômodo devido ao ruído externo ou interno. O presente artigo propõe uma análise do impacto do ruído emitido pelo tráfego rodoviário sobre o Hospital Universitário Clementino Fraga Filho/HUCFF, localizado no campus Fundão da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). A pesquisa tem a finalidade aferir os níveis de ruído provenientes do tráfego rodoviário no hospital universitário e avaliar se os níveis de pressão sonora no interior da edificação encontram-se adequados para os pacientes e profissionais que atuam no hospital. Os resultados mostraram que, para todos os pontos de medição avaliados nas fachadas, o edifício está exposto a níveis de pressão sonora acima dos recomendados pela legislação federal, excedendo em aproximadamente 10 dB(A). Contudo, considerando o isolamento das fachadas e o posicionamento da edificação em relação às principais vias, não verificou-se uma situação significativamente crítica em relação ao ruído devido ao tráfego.

**Palavras-chave:** ruído de tráfego, conforto acústico, poluição sonora.

**PACS:** 43.50.Jh, 43.50.Rq, 43.50.Sr, 43.50.Lj, 43.58.Ta.

## Acoustic assessment at Clementino Fraga Filho University Hospital Surroundings

### Abstract

Acoustic conditions inside a hospital should guarantee the necessary comfort for the development of its activities, without disturbance due to external or internal noise. This paper proposes an analysis of the impact of road traffic noise on the Clementino Fraga Filho University Hospital / HUCFF, located at the Fundão campus of the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ). The purpose of the research is to assess road traffic noise levels in the university hospital and to assess whether sound pressure levels within the building are appropriate for patients and hospital professionals. The results showed that, for all measuring points evaluated on facades, the building is exposed to sound pressure levels above those recommended by federal law, exceeding approximately 10 dB (A). However, considering the insulation of the façades and the positioning of the building in relation to the main roads, there was no significantly critical situation regarding traffic noise.

**Keywords:** traffic noise, acoustic comfort, noise pollution.

## 1. INTRODUÇÃO

O ruído urbano é um assunto de abrangência global, sendo a sua relação com a qualidade de vida e saúde humana extensivamente abordada em diversos estudos [1–4].

No Brasil, após um atraso de quase 2 décadas, em relação a diversos países da Europa, da América do Norte e da Ásia, finalmente algumas iniciativas de planejamento e combate ao ruído urbano têm sido evidenciadas. Ainda que inexistia uma política nacional efetiva de avaliação e gestão do ruído como na Europa, a recente iniciativa do poder público mostra que o tema do impacto ambiental sonoro nas grandes cidades brasileiras vem sendo objeto de notoriedade. O mapeamento acústico está sendo progressivamente utilizado no Brasil, deixando cada vez mais de estar restrito ao âmbito acadêmico e ganhando destaque de forma sistemática pelas políticas de planejamento urbano.

A cidade de Fortaleza, no estado do Ceará, é um exemplo disto, apresentando um programa de mapeamento sonoro realizado pela Secretaria do Meio Ambiente e Controle Urbano. A elaboração da Carta Acústica de Fortaleza, como ficou conhecido o programa, foi motivada pelas frequentes reclamações da população em relação à poluição sonora da cidade. O programa teve por objetivo diagnosticar a poluição sonora no município e propiciar as informações para melhoria da qualidade sonora da cidade e, consequentemente, a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos. O viés participativo do programa foi preconizado, reforçando a importância do aspecto colaborativo e acessível do instrumento de avaliação sonora.

Outra iniciativa de relevância foi a discussão recente sobre a incorporação do mapeamento de ruído no Plano Diretor da cidade de São Paulo. A Lei 16.499/2016 estabeleceu o mapeamento de ruído em São Paulo como instrumento para o Poder Público Municipal visando, dentre outros, conscientizar a população sobre os efeitos do ruído na saúde humana. Dessa forma, é possível identificar a diversidade de fontes emissoras de ruído, fomentar o uso de novas tecnologias para

mitigar as emissões de ruído acima dos níveis estabelecidos pela legislação e normas vigentes, difundir campanhas educativas e elaborar o Plano de Ação para Redução de Ruídos.

A regulamentação de leis e a definição de diretrizes em planos diretores são reflexos da necessidade de redução do ruído urbano, que, segundo diversos estudos na área de saúde [5–8], provocam, além de desconforto, vários riscos à saúde. O ruído de tráfego, comumente

Alguns estudos [9, 10] indicam medidas capazes de reduzir a exposição de receptores críticos, como hospitais, ao ruído de tráfego urbano. Dentre as alternativas, apontam para a importância de programas de conscientização coletiva dos efeitos do ruído na saúde humana e da gestão da poluição sonora, mascaramento do ruído para diminuir o incômodo com ruídos indesejáveis, tratamento acústico dos ambientes hospitalares a partir de soluções de isolamento e condicionamento sonoro, medidas de mitigação nas principais vias de tráfego a partir do tratamento das vias e da construção de barreiras acústicas, e gestão do tráfego com restrição estratégica de fluxo e tipologia de veículos (leves e pesados).

As diretrizes de planejamento urbano devem orientar o gerenciamento do uso do solo levando em consideração a sensibilidade das atividades humanas desenvolvidas no local. Algumas atividades humanas são caracterizadas por elevados níveis de ruído, provenientes de várias fontes, sendo, em sua grande maioria, relacionadas ao ruído causado pelo tráfego rodoviário.

Nas cidades brasileiras, devido ao crescimento desordenado e à falta de planejamento urbano, o impacto da poluição sonora está presente em todos os lugares, inclusive em locais onde são desenvolvidas atividades sensíveis, como creches, escolas, clínicas de repouso e instituições de saúde. Esses ambientes estão, muitas vezes, localizados em áreas expostas a fontes de ruído externo, como o trânsito de grandes avenidas.

O processo de urbanização da cidade do Rio de Janeiro tem influência nos aspectos de mobilidade urbana. O movimento em torno do ideário



“rodoviarista” ao longo do século XX resultou na construção de vias expressas, túneis e viadutos, processo decisivo para a expansão das cidades em direção aos subúrbios. A implantação de infraestruturas de transporte em contextos urbanos é frequentemente associada a problemas ambientais, seja pelo bloqueio visual, pela interferência na insolação e ventilação e alterações do microclima urbano, ou pela emissão de ruído e de poluentes por veículos automotores.

No Rio de Janeiro, a construção da Via Expressa Presidente João Goulart (Linha Vermelha), data da década de 90. Nas suas imediações, localiza-se o HUCFF, principal complexo médico-hospitalar da UFRJ e um dos mais importantes hospitais universitários do Brasil, sendo um centro de excelência em ensino, pesquisa e extensão, e referência no tratamento de patologias de alta complexidade. O hospital, cuja inauguração data de março de 1978, ocupa um prédio de 13 pavimentos, e conta com um efetivo de mais de 3.000 profissionais, entre professores, enfermeiros, médicos e funcionários administrativos.

Além da avaliação do ruído de tráfego rodoviário, apesar de não integrar o foco deste trabalho, a proximidade do HUCFF com a pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim (Galeão) pode constituir influência negativa no conforto acústico dos usuários do hospital (Fig.1). Além da sensação de incômodo, o ruído aeroportuário pode produzir efeitos semelhantes ao ruído urbano, como a interferência na comunicação e distúrbios do sono.

Esta pesquisa tem por objetivo avaliar a incidência dos níveis de pressão sonora nas fachadas do HUCFF, propondo investigar a influência do ruído de tráfego rodoviário nas atividades desenvolvidas no interior do hospital a partir da comparação dos níveis de pressão sonora medidos e simulados com parâmetros normativos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado com base na avaliação da paisagem sonora nas imediações do HUCFF,

avaliando os níveis de pressão sonora incidentes nas fachadas do edifício, utilizando-se medições *in loco* e mapeamento sonoro por simulação computacional.

### 2.1 Parâmetros de avaliação

A legislação ambiental brasileira para controle da poluição sonora é regulamentada por diretrizes nos níveis federal, estadual e municipal. A Lei 6.938/1981 [11], relativa à Política Nacional do Meio Ambiente, confere ao CONAMA a competência para estabelecer “normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à qualidade de vida”. A Resolução 001/90 do CONAMA [12], por sua vez, determina a adoção dos níveis estabelecidos pela NBR 10.151 [13] e, portanto, suas determinações têm força de lei.

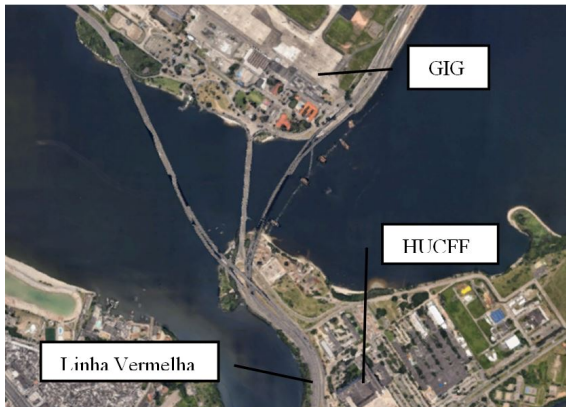
A avaliação da qualidade acústica no Hospital foi realizada através da comparação entre os níveis de pressão sonora registrados em campo, nos pontos de medição definidos na fachada, com os níveis máximos de pressão sonora definidos na NBR 10.151 para áreas estritamente residenciais urbanas ou de hospitais ou de escolas, correspondente a 50 dB(A) (período diurno) e 45 dB(A) (período noturno).

Nesta pesquisa, foram medidos e simulados os níveis de pressão sonora incidentes nas fachadas do hospital. Portanto, a avaliação dos valores de referência para ambientes internos determinados pela NBR 10.152 [14], específicos para ambientes hospitalares, não foi considerada objetivo do trabalho. Ainda assim, foram analisados os níveis de pressão sonora nos ambientes internos do hospital de acordo com a NBR 10.151, a qual indica, para os níveis de critério de avaliação NCA de ambientes internos, que sejam adotados os níveis de avaliação para ambientes externos com a correção de -10 dB(A) para janela aberta e -15 dB(A) para janela fechada.

### 2.2 Delimitação do Estudo

A área de estudo foi escolhida por apresentar-se como um caso da coexistência, em contexto

urbano consolidado, de um receptor crítico (hospital universitário) e de atividades ruidosas (vias com grande fluxo de tráfego). A Linha Vermelha, localizada no entorno imediato do HUCFF, totaliza 16 faixas de rolagem de veículos de mobilidade individual e coletiva. As demais vias no entorno do edifício indicam menores níveis de ruído, por serem vias locais de menor fluxo de veículos.



**Figura 1:** Delimitação da área de estudo.  
Fonte: Google imagens.

### 2.3 Mapeamento por Simulação

O mapeamento sonoro é um instrumento de avaliação e análise de ruído ambiental, desenvolvido com auxílio de *software* específicos, com intuito de caracterizar gráfica e quantitativamente a paisagem sonora de determinado local. Esse tipo de “imageamento sonoro” é adotado há mais de uma década nos países desenvolvidos. O *software* utilizado para a elaboração do mapa sonoro desta pesquisa foi o Predictor-LimA.

O modelo acústico foi desenvolvido a partir do levantamento de dados topográficos, da morfologia dos edifícios e da modelagem da malha viária dentro da região de estudo. Foram realizados levantamentos das fontes de ruído, principalmente do ruído de tráfego. De acordo com o modelo de predição do ruído do *software*, a potência acústica das vias (fontes lineares) é obtida a partir de dados de tráfego, tais como a quantidade e a velocidade média dos veículos leves e pesados.

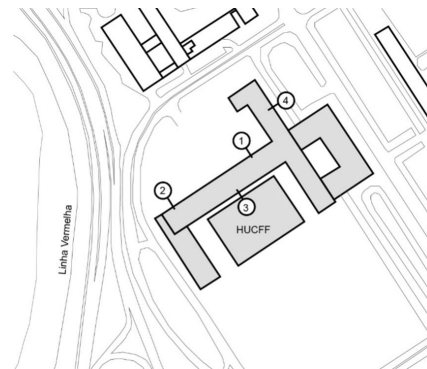
Esses dados foram obtidos através de gravações

de vídeo e posterior contagem manual. Além disso, medições *in loco* foram utilizadas para validar e calibrar o modelo acústico.

Foi produzida, assim, uma previsão do cenário atual, no qual foi possível identificar as áreas mais afetadas e as mais protegidas, acusticamente, do edifício do HUCFF.

### 2.4 Medições *in loco*

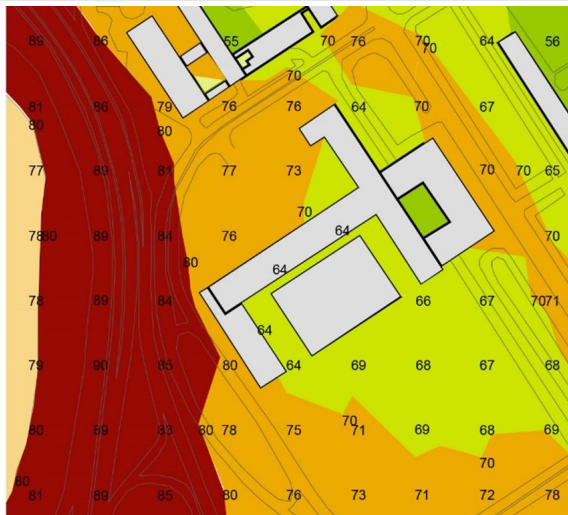
Para calibrar o modelo de simulação, foram realizadas 4 medições em diferentes fachadas da edificação. Todas as medições foram realizadas no dia 05 de maio de 2017, sendo cada medição de 20 minutos de duração, com intervalos de 1s para tomada do  $L_{Aeq}$ . Os pontos de medição, quando não posicionados a 2 metros da fachada, devido aos elementos fixos de fachada (brises), foram posicionados no limite da mesma. A Figura 2 apresenta os quatro pontos de medição localizados na fachada do hospital.



**Figura 2:** Localização dos pontos de medição.

## 3. RESULTADOS

A partir da inserção dos dados de tráfego e da modelagem das edificações foi possível simular o cenário acústico no entorno do Hospital e comparar os valores obtidos por simulação com os medidos nos 4 pontos de aferição. A comparação entre os valores de  $L_{Aeq}$ , simulados e medidos nos 4 pontos de aferição, é apresentada na Tabela 1. O mapa de ruído resultante é apresentado na Figura 3, para uma malha de pontos horizontal a 1,5 m do solo, de onde foram extraídos os valores simulados para os pontos de aferição.



**Figura 3:** Mapa de simulação computacional gerado pelo software Predictor-LimA.

**Tabela 1:** Comparação entre os níveis de pressão sonora simulados e medidos.

Ponto de medição	$L_{Aeq}$ dB(A)	
	Simulado	Medido
1	68	68
2	75	72
3	64	62
4	63	60

Da Tabela 1, verifica-se uma diferença máxima de 3 dB(A) entre os valores medidos e simulados. Essa é uma diferença aceitável nesse tipo de avaliação, considerando que as medições foram realizadas em curtos períodos de tempo, que não correspondem exatamente à média ao longo de todo o período diurno (LD). Apesar dessa diferença, pode-se considerar que o mapa gerado é representativo da situação acústica local e serve como base para análise do ruído no entorno do Hospital.

A Figura 3 apresenta o mapa acústico, resultado da simulação, onde observam-se níveis sonoros entre 65 e 90 dB(A). Confirma-se, portanto a hipótese de que o edifício HUCFF encontra-se exposto a níveis de ruído acima dos estabelecidos pela legislação federal. Observando o mapa da Figura 7 e a Tabela 1, verifica-se que os maiores níveis de exposição ao ruído de tráfego foram encontrados nas proximidades das vias de maior fluxo de veículo (pontos 1 e 2). Con-

tudo, todos os níveis indicam valores acima de 50 dB(A) no período diurno, como estabelecido pela NBR 10151.

Se considerarmos uma correção de -10 dB(A), entre o ruído externo e o interno (caso de janelas abertas, conforme NBR 10151, art. 6.2.3) e tendo em vista os brises nas fachadas, verifica-se que o ruído interno varia de 50 dB(A) (ponto 4) a 62 dB(A) (ponto 2). Os valores de referência para ambientes hospitalares, determinados pela NBR 10.152, devem variar entre 35 dB(A) e 50 dB(A), para ambientes com diversas finalidades de uso.

Os pontos 1 e 2 encontram-se na fachada orientada para noroeste, próxima às vias de tráfego intenso. As medições e a simulação comprovam que os níveis de  $L_{Aeq}$  encontram-se bem acima do estabelecido pela legislação. O  $L_{Aeq}$  no ponto 3 é menor do que nos pontos 1 e 2, devido a sua localização na parte do HUCFF orientada para sudeste, distante das vias de tráfego intenso.

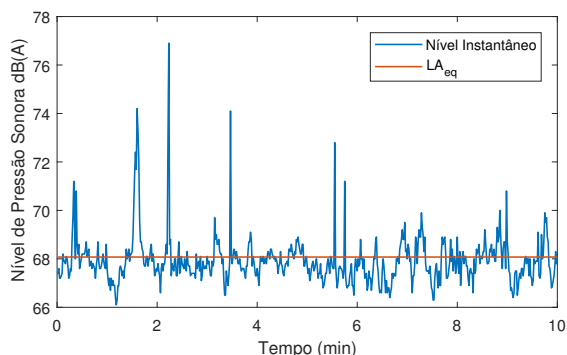
O ponto 4, no 7º pavimento da fachada orientada para nordeste, teve o menor nível de pressão sonora. A parte do HUCFF orientada para nordeste, onde se localizam as salas de enfermaria, é próxima a uma rua com fluxo de veículos em baixa velocidade e intensidade predominante de transporte coletivo. A paisagem sonora desta via é caracterizada pelo ruído de frenagem e aceleração dos ônibus, bem como ruídos de máquinas do próprio hospital.

Os maiores níveis de exposição ao ruído de tráfego foram encontrados nas proximidades das vias de maior fluxo, atingindo significativamente o edifício do HUCFF. As vias locais da cidade universitária apresentam fluxo menor de veículos, bem como encontram-se a uma maior distância do hospital.

Dessa forma, constata-se que, com exceção do ponto 4, todos os pontos de medição ultrapassam o nível de 50 dB(A). Todavia, uma avaliação mais criteriosa dos níveis internos deve ser feita a partir de medições in-loco, considerando os respectivos usos e atividades.

Um exemplo da variação de pressão sonora medida no ponto 1 é apresentado na Figura 3. Pode-se observar a interferência de diversos picos que, apesar de não contribuírem significativamente para a elevação do  $L_{Aeq}$  de todo o período de medição, podem causar desconforto aos pacientes.

A setorização interna do HUCFF caracteriza-se pela localização dos corredores de passagem limítrofes às fachadas, permitindo que as atividades sensíveis sejam desenvolvidas em regiões mais resguardadas ao ruído. Além disso, a própria morfologia da edificação sugere um “recuo”, compondo uma área resguardada do ruído. Verificou-se que a fachada mais exposta



**Figura 4:** Variação de nível e  $L_{Aeq}$  no ponto 1 (horário da medição 10h25).

ao ruído (sudoeste) é onde se encontram depósitos de máquinas e equipamentos do hospital. A região de maior uso do hospital situa-se na região do edifício com fachada orientada para nordeste, menos exposta ao ruído de tráfego rodoviário. Nesta região, encontram-se as enfermarias, salas individuais e coletivas.

#### 4. MITIGAÇÃO DO RUÍDO

Os problemas do ruído em ambientes hospitalares podem ser contornados pela especificação adequada dos materiais, dos sistemas construtivos e de um estudo/planejamento do impacto das principais fontes de ruído local sobre a edificação. A acústica nestes ambientes pode ser tratada desde a análise da implantação do edifício no terreno, propondo uma setorização interna dos ambientes, de forma que os usos sensíveis fi-

quem resguardados das fachadas mais expostas ao ruído urbano. Soluções construtivas devem garantir o desempenho acústico de fachadas ao ruído externo e o isolamento entre ambientes internos.

Além da definição do Índice de Redução Sonora ( $R_w$ ) adequado para as partições entre ambientes, é fundamental o cuidado com todas as junções existentes entre os sistemas de paredes internas/externas, lajes, vigas e pilares. Nestes encontros, devem ser aplicados materiais específicos, como bandas acústicas (fita isolante) e outros, conforme o caso.

A utilização de sistemas de piso flutuante pode atenuar a transmissão do ruído de impacto entre pavimentos contíguos. Deve haver uma atenção especial ao tipo de revestimento utilizado, para evitar ruídos específicos, como o ruído gerado pelo impacto da passagem de carrinhos com as juntas do piso.

Em geral, os revestimentos de forros e paredes em ambientes de saúde têm predominância de superfícies rígidas e reflexivas, como cerâmicas, azulejos, Drywall, vidro e alvenarias. Deve-se privilegiar o uso de materiais fono-absorventes, para controle da energia sonora interna dos locais de circulações, permanência e convívio.

No caso de sistemas de forro, existem diversas linhas de forros acústicos especialmente para ambientes de saúde, com tratamentos específicos para inibir a proliferação de fungos e bactérias.

Em ambientes com reverberação equilibrada, as pessoas fazem menos esforço para se comunicar e, conseqüentemente, diminuem o tom de voz. Além dos princípios apresentados, também são importantes as soluções de isolamento vibro-acústico de equipamentos, máquinas de ar-condicionado, geradores e exaustores.

#### 5. CONCLUSÕES

Nesta pesquisa, a avaliação da qualidade acústica do HUCFF foi realizada a partir de medições *in loco* e de modelo de simulação computa-

cional, no *software* Predictor-LimA. Os resultados mostraram que o edifício está exposto a níveis de pressão sonora acima dos recomendados pela legislação federal. Isso se confirmou através da análise dos níveis indicados pelo mapa de simulação e pela comparação entre valores medidos e simulados em quatro locais nas fachadas do Hospital.

O ruído proveniente do tráfego aéreo, identificados em raros instantes, não foram considerados como fator de influência significativa na qualidade acústica do HUCFF, contudo, sugere-se um estudo mais aprofundado sobre a frequência dos picos, a fim de verificar se há algum impacto, como por exemplo elevação do nível de estresse sobre pacientes e funcionários do hospital.

Como desenvolvimento futuro desta pesquisa, propõe-se a análise criteriosa das atividades desenvolvidas no interior do edifício, para o reconhecimento das atividades sensíveis expostas a níveis de pressão sonora elevados e um estudo de alteração de layout, que possibilite a redução do ruído, sem prejuízo da organização e das atividades fins e de manutenção.

Propõe-se, também, compreender o projeto arquitetônico do hospital, seus elementos de fachada e constitutivos dos ambientes internos, a fim de propor estratégias arquitetônicas e soluções construtivas que associem princípios bioclimáticos aos acústicos.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelos recursos destinados à realização dessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

1. STANSFELD, S. HAINES, M. BROWN, B. Noise and Health in the Urban Environment. *Environmental Health*, Vol 15, issue 1-2, 2011.
2. SCHULTZ, T. Synthesis of social surveys on noise annoyance. *The Journal of the Acoustical*

*Society of America*, Vol 64, issue-2, 1998.

3. URBAN, J.; MAICA, V. Linking traffic noise, noise annoyance and life satisfaction: A case study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2013; 10(5): 1985-1915.
4. POPESCU, D. I.; TUNS, R. E.; MOHOLEA, I. F. The urban acoustic environment - A survey for road traffic noise. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 2010; 6(1): 285-292.
5. COHEN, A. Extra-auditory effects of occupational noise Part II: effects on work performance. *Natl Saf News* 1973; 109:68-76.
6. CHOINIERE, D. The Effects of Hospital Noise. *Nursing Administration Quarterly*, 34, pp. 327-333, 2010.
7. Li, S. Y., Wang, T. J., Wu, S. F., Liang, S. Y., and Tung, H. H. Efficacy of controlling nighttime noise and activities to improve patient's sleep quality in a surgical intensive care unit. *Journal of Clinical Nursing*, pp. 396-407, 2011
8. CABRERA, I. N.; LEE, M. H. M. Reducing Noise Pollution in the Hospital Setting by Establishing a Department of Sound: A Survey of Recent Research on the Effects of Noise and Music in Health Care. *Preventive Medicine*, vol. 30, issue 4, abril 2000, pp. 339-345, 2000.
9. JADAAN, K. S.; MSALLAM, M.; ABU-SHANAB, D. A. The Impact of Road Traffic Noise on Hospital Workers. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol 9, 2016.
10. XIE, H.; KANG, J.; MILLS, G.H. Clinical review: The impact of noise on patients' sleep and the effectiveness of noise reduction strategies in intensive care units. *Critical Care* Vol 13 No 2, 2009.
11. BRASIL. Lei Federal nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981 – Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 1981.
12. BRASIL. Resolução CONAMA nº 1, de 8 de março de 1990. Brasília, 1990.

13. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas. ABNT - NBR 10.151. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS- Avaliação do Ruído para o conforto acústico. ABNT - NBR 10.152. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

# Avaliação sonora de espaços urbanos na área central de São Paulo: o caso da Avenida Ipiranga

Michalski, R. L. X. N.<sup>1</sup>; Caparroz, G. M.<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup>Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, SP, {rannym, giovanna.caparroz}@usp.br

## Resumo

Visto o momento atual em que planejadores urbanos incentivam fortemente a tomada de medidas institucionais para favorecer a ocupação da região central da cidade de São Paulo, o presente trabalho procura analisar quais as reais condições de ruído às quais estão sujeitas as populações que lá habitam. Foi realizada uma avaliação sonora em pontos estratégicos da região central do município de São Paulo, considerando aspectos quantitativos e qualitativos. Foram considerados diferentes perfis de uso e ocupação, altura dos edifícios, densidade construtiva, quantidade de espaços vazios, largura das vias e capacidade de fluxo de veículos. Além das medições acústicas, foram avaliados o perfil e o fluxo dos veículos, para servir como dado de entrada para simulação em modelo computacional do ruído ambiental urbano e elaboração de mapas de ruído das áreas selecionadas. O conceito de paisagem sonora foi abordado com a caracterização das fontes sonoras locais e sua percepção sonora. Foram aplicados questionários para avaliação subjetiva e o perfil dos entrevistados também foi caracterizado. Essa atitude é importante, pois leva a um entendimento de quem exatamente está exposto e é afetado por determinados níveis sonoros, e como um mesmo nível sonoro pode gerar percepções diferentes. Essa sensibilidade na abordagem do tema faz com que as pessoas deixem de ser apenas números e estratégias mais humanas sejam adotadas para o planejamento urbano. Ao final, foi produzida uma imagem para resumir a análise global realizada. O presente estudo auxilia na compreensão sobre os problemas acústicos de áreas da cidade visadas para adensamento.

**Palavras-chave:** avaliação sonora, paisagem sonora, acústica urbana, mapa de ruído, poluição sonora.

**PACS:** 43.50.-x, 43.50.Qp, 43.50.Rq, 43.50.Sr.

## Sound evaluation of urban spaces in the central area of São Paulo: The Ipiranga Avenue

### Abstract

Considering the current moment in which urban planners strongly encourage the adoption of institutional measures to favor the occupation of the central region of the city of São Paulo, the present work tries to analyze the real noise conditions to which the populations are subject there. A sound assessment has been made at strategic points in the central region of São Paulo city, considering quantitative and qualitative aspects. Different occupancy profiles, height of buildings, constructive density, number of empty spaces, width of the roads and capacity of vehicle flow, were selected. In addition to acoustic measurements, an evaluation of the profile and flow of the vehicles has been made, to serve as input for simulation in a computational model of urban environmental noise and noise mapping of selected areas. The concept of soundscape was approached with the characterization of local sound sources and their sound perception. Questionnaires were applied for subjective assessment and the profile of the interviewees was also characterized. This attitude is important because it leads to an understanding of who exactly is exposed and affected by certain sound levels, and how the same sound level can generate different perceptions. This sensibility while approaching the subject makes people stop being just numbers and more human strategies are adopted for urban planning. At the end, an image was produced to summarize the overall analysis performed. The study helps to understand the acoustic problems of areas of the city aimed at future densification.

**Keywords:** sound evaluation, soundscape, urban acoustics, noise map, noise pollution.

## 1. INTRODUÇÃO

Muito além de um simples desconforto auditivo, a questão da poluição sonora diz respeito à saúde e à qualidade de vida dos indivíduos. Elevados níveis sonoros estão relacionados a múltiplos efeitos negativos na saúde das pessoas, desde constante desconforto, a indicadores de estresse, fatores de risco de diversas doenças, e, em alguns casos, até a morte [1]. Ao mesmo tempo, as emissões sonoras podem ser um importante aliado na criação de ambientes com fontes sonoras que causem impactos positivos, como sons da natureza, por exemplo. Esses sons são bem recebidos pelas pessoas e passam tranquilidade ao ambiente urbano. Essa abordagem representa o conceito de paisagem sonora, segundo a qual os números medidos não devem ser considerados de forma dissociada da percepção do usuário [2]. Em alguns casos, níveis de pressão sonora elevados, porém resultantes de fontes sonoras positivas, como pássaros e fontes d'água, são bem recebidos pelos usuários e associados a condições de tranquilidade e conforto.

O estudo da propagação sonora na escala da cidade é um assunto complexo, porém extremamente necessário. Segundo a Organização Mundial de Saúde [3], a poluição sonora passou de terceira para segunda questão ambiental que afeta o maior número de pessoas em centros urbanos, depois apenas da poluição do ar. Logo, um estudo aprofundado das reais condições acústicas a que esses centros são submetidos, por meio de avaliações sonoras, é primordial para a resolução dos problemas acústicos e melhora da qualidade ambiental urbana. Para realizar determinados estudos, são utilizados diferentes métodos. Alguns são feitos por meio de medições *in situ*, outros por meio da modelagem da propagação sonora em *software*. Além da abordagem quantitativa citada anteriormente, a abordagem qualitativa também é de extrema relevância. Isso porque, para se entender quais são os verdadeiros impactos de uma fonte sonora, é imprescindível conhecer a opinião daqueles que são afetados direta e diariamente por ela.

Devido à importância do tema poluição sonora para a saúde pública e a necessidade do reconhecimento por parte de governantes sobre sua relevância, o presente trabalho consistiu em realizar avaliações sonoras em três áreas estratégicas selecionadas na região central da cidade de São Paulo. As áreas possuem diferentes perfis de ocupação, altura de edifícios, densidade construtiva, quantidade de espaços vazios, largura das vias e capacidade de fluxo de veículos. Foram analisadas as condições de ruído às quais estão sujeitas as populações que habitam as áreas, considerando tanto aspectos quantitativos como subjetivos.

## 2. FUNDAMENTOS

A seguir é apresentado um breve histórico acerca da legislação relativa à poluição sonora na cidade de São Paulo, e algumas referências de estudos de paisagem sonora em meio urbano. Por fim, o objeto de estudo da presente pesquisa é apresentado.

### 2.1. Poluição sonora e legislação na cidade de São Paulo

No Brasil, o interesse pela questão do ruído é recente. Datam dos anos 70 os primeiros registros em meios de comunicação com relação a problemas referentes à poluição sonora e que levaram a uma grande repercussão entre a população. Um exemplo foi a construção do Elevado Presidente João Goulart, nomeado anteriormente Elevado Presidente Costa e Silva, e popularmente conhecido como “Minhocão”, em São Paulo, que gerou descontentamento e reclamações devido ao ruído por parte dos moradores [4]. Essa divulgação da problemática incentivou a discussão sobre o assunto e, em 1974, foi criada em São Paulo a Lei Nº 8.106 ou “Lei do Silêncio”, que proibia sons de qualquer natureza a ultrapassarem os níveis estabelecidos para diferentes zonas de uso e horários [5]. Ainda no mesmo ano, o Decreto Municipal Nº 11.467 regulamentou a Lei Nº 8.106. De acordo com o artigo primeiro do decreto, seu objetivo era “estabelecer condições de sossego e bem-estar públicos, no que tange à poluição



sonora em cada zona de uso, compatíveis com as respectivas predominâncias de uso” [6].

Em 1978, devido à preocupação com as condições a que os trabalhadores eram submetidos nas indústrias, foi publicada pelo Ministério do Trabalho a Norma Regulamentadora NR 15, que estabelece até hoje limites de tolerância para exposição a ruído contínuo e ruído de impacto nos ambientes de trabalho [7].

Em 1984, foi criada a Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC), normas técnicas em acústica foram produzidas e, em 1990, graças ao avanço no conhecimento sobre os malefícios do ruído, a poluição sonora passou a ser abordada pela legislação federal através das Resoluções CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 01 e nº 02 de 08 de março de 1990, do Ministério do Meio Ambiente [8,9]. A Resolução CONAMA nº 01/90 estabelece critérios, padrões, diretrizes e normas reguladoras da poluição sonora, enquanto a Resolução CONAMA nº 02/90 estabelece normas, métodos e ações para controlar o ruído excessivo que possa interferir na saúde e bem-estar da população.

Reconhecendo a importância do tópico, em 1994, a Prefeitura de São Paulo aprovou uma nova lei [10] criando um órgão para as ações de fiscalização chamado PSIU: Programa de Silêncio Urbano [11]. Mais recentemente, em 2016, a lei anterior foi revogada pela Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo de São Paulo, de acordo com o Plano Diretor Estratégico do município [12]. No mesmo ano, foi publicada a lei Nº 16.499 que obriga a elaboração do Mapa de Ruído Urbano da Cidade de São Paulo, em um prazo de sete anos [13].

Como consequência de todo esse processo, é necessário que se tomem iniciativas para avaliação e diagnóstico das condições reais e atuais dos níveis de ruído na cidade. É nesse ponto que entra a proposta do presente trabalho: estimular o interesse pelas condições de ruído na cidade, por meio de sua avaliação sonora; fomentar discussões a respeito de sua importân-

cia para a saúde ambiental; assim como estimular a iniciativa governamental para controle e prevenção de ruído.

## 2.2. Avaliação e paisagem sonora

Quanto à metodologia empregada para caracterizar o comportamento acústico na escala da cidade, podem ser utilizados diversos métodos com diferentes tipos de abordagens. As abordagens mais utilizadas são a quantitativa, feita a partir de medições *in situ*, cálculos matemáticos ou modelagem em *software*, e a abordagem qualitativa, feita a partir de observações, entrevistas e questionários, considerando a percepção sonora.

A complexidade do ambiente sonoro no meio urbano faz com que os métodos de avaliação numéricos tradicionais não constituam uma fonte de representação suficiente. Uma avaliação que mescle diferentes metodologias é imprescindível para obter uma definição mais aproximada da realidade estudada. Este é o entendimento por trás da chamada “paisagem sonora”, em contraposição ao tratamento do ruído como algo apenas a ser mitigado. De acordo com esse conceito, os sons dos ambientes são percebidos de uma forma integrada a outros aspectos, como a forma urbana e a percepção dos usuários.

Para melhor compreensão da eficácia da metodologia empregada na análise dos dados, separando-os entre quantitativos e qualitativos, foram escolhidos alguns exemplos de estudos de paisagem sonora em meio urbano, como o desenvolvido por Holtz (2012), para o Parque Villa Lobos, em São Paulo, com uma abordagem que mescla a análise de dados quantitativos de medições e simulações, somados à avaliação da opinião pessoal de seus usuários [14].

Outro exemplo de estudo de avaliação sonora no país foi desenvolvido no doutorado de Marina Cortês (2018), no qual foi realizada a avaliação sonora integrada da Favela Santa Marta e seu entorno imediato, em Botafogo/Humaitá, no Rio de Janeiro, abordando metodologias quantitativas, por meio de medições sonoras

em campo, métodos de predição sonora e mapeamento de ruído, e também metodologias qualitativas, por meio de entrevistas, questionários, formulários, além de outros métodos mais inovadores como passeio sonoro, percurso comentado, escuta amplificada, cartografia das ambiências sonoras urbanas e levantamento topográfico sonoro [15].

No âmbito internacional, pode-se citar o Projeto de planejamento sonoro urbano chamado SONORUS, realizado na Europa [16]. Seu principal objetivo era a criação de ambientes sonoros melhores nas cidades, com qualidade e devidamente projetados, usando termos como “*sound design*”, o que significa fazer o planejamento e ter o controle sobre a melhor forma do som se comportar em um dado local. Os métodos utilizados para avaliação sonora foram os de simulação e de medição.

Outro exemplo é a pesquisa de Hong e Jeon, que procurou relacionar a variabilidade espaço-temporal da paisagem sonora com indicadores acústicos e com a morfologia urbana, para um estudo de caso em Seul, na Coreia [17]. Aspectos como edificações, vias, espaços urbanos abertos e presença de água foram analisados. Os resultados mostraram que fatores morfológicos urbanos podem ser indicadores para melhor compreender as paisagens sonoras em meios urbanos.

Em termos de normatização internacional relativa ao assunto, é importante destacar a série de normas ISO 12913, *Acoustics – Soundscape*, desenvolvidas para permitir um consenso internacional e fornecer uma base para comunicação entre as diferentes áreas com interesse

em paisagem sonora. A parte 1, ISO 12913-1 (2014), fornece uma definição e uma abordagem conceitual para o termo “*soundscape*”. De acordo com a norma, “*soundscape*” denota o “ambiente acústico como percebido ou experimentado e/ou entendido, por uma ou mais pessoas, em um contexto” [18]. A parte 2, ISO/TS 12913-2 (2018), fornece requisitos e informações de suporte para coleta e relatório de dados para estudos, investigações e aplicações de paisagem sonora [19]. A parte 3, ISO/TS 12913-3 (2019), fornece orientação sobre como analisar dados coletados de acordo com a segunda parte [20].

### 2.3. Objeto de estudo

A escolha do centro tradicional como objeto de estudo é justificada pelo momento atual de discussões sobre a necessidade de reocupação dessa região da cidade, e pelo interesse governamental em criar incentivos para que isso aconteça. Isso se deve ao intenso processo de esvaziamento pelo qual o centro passa desde a segunda metade do século XX. As áreas centrais apresentam também grande significado simbólico e histórico, e grande dinâmica e diversidade de atividades e pessoas, com diferentes perfis sociais e bagagens culturais. Por isso, foram escolhidas três vias pertencentes a distritos da área central de São Paulo como material para avaliação acústica. São elas: a Avenida Ipiranga, no distrito da República; a Rua da Graça, no distrito do Bom Retiro; e a Rua Conselheiro Carrão, no distrito da Bela Vista. A Figura 1 ilustra tais vias. No presente artigo serão apresentados os resultados relativos a uma das vias: a Avenida Ipiranga.



**Figura 1:** Trechos escolhidos: Avenida Ipiranga (a), Rua da Graça (b) e Rua Conselheiro Carrão (c) (Google Maps).

### 3. DESENVOLVIMENTO

A metodologia utilizada no trabalho é descrita abaixo, considerando as avaliações quantitativa e qualitativa e os levantamentos de campo.

#### 3.1. Metodologia

A primeira etapa da pesquisa foi o levantamento dos locais escolhidos, com a caracterização dos componentes físicos e levantamento de informações técnicas e desenhos da área em estudo, além de pesquisa de campo com análise das condições locais, materiais das superfícies, etc. Na sequência, foi realizado o levantamento bibliográfico do perfil socioeconômico das populações que habitam a área de estudo. Já a partir dessa etapa, começou o processo de avaliação e seleção dos pontos mais adequados à medição.

O passo seguinte foi o levantamento dos dados primários nos locais selecionados, com caminhadas exploratórias para observações, fotografias, gravações sonoras, medições *in situ* de variáveis ambientais térmicas e acústicas (temperatura, umidade do ar, velocidade e direção do vento, nível de pressão sonora), além da aplicação de questionários.

Como ponto de referência para as medições foram tomadas vias de tráfego de automóveis, considerando que as principais fontes de ruído locais são os veículos. Foi feita também uma avaliação do perfil e fluxo dos veículos, através de contagens de veículos leves e pesados, para servir como dado de entrada para simulação em modelo computacional do ruído ambiental urbano nas frações escolhidas.

A realização das medições acústicas seguiu as diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR 10151, *Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral* (2019) [21]. Foram levados em consideração no processo de medição, aspectos de tráfego, posicionamento e configuração dos equipamentos, dias, horários e duração das medições, e o número e localização dos pontos de medição. Nas análises,

foram considerados também fatores físicos locais que interferem na propagação do som ao ar livre, como densidade construtiva, existência de áreas livres e forma e disposição das edificações.

A terceira etapa da pesquisa correspondeu à elaboração de mapas de ruído das ruas apontadas, de forma que a representação visual do ruído contribua para a análise dos dados. A modelagem e as simulações computacionais foram realizadas com o uso do *software* comercial *CadnaA* [22], após a inserção dos dados de entrada. Além dos dados coletados em campo, foram utilizados arquivos em formato *shapefile* de topografia, logradouros e edificações da cidade de São Paulo, retirados do Mapa Digital da Cidade de São Paulo [23]. As informações das vias do entorno imediato também foram usadas como dados de entrada para a simulação. Após a simulação, os resultados das medições acústicas em campo e simulados foram comparados, com o objetivo de validar a modelagem.

A quarta e última etapa correspondeu à análise dos resultados alcançados, junto com uma avaliação global e uma síntese dos processos realizados. Os resultados da pesquisa foram compilados e expressos resumidamente em imagens com análises globais para cada trecho estudado.

#### 3.1.1. Avaliação quantitativa – Descritores de níveis sonoros

Como indicador quantitativo da avaliação sonora, foram avaliados os níveis de pressão sonora contínuos equivalentes ponderados em A,  $L_{Aeq}$ , expressos em decibel (dB). O  $L_{Aeq}$  é um descritor de nível sonoro considerado em diversas normas e legislações, como o caso da norma brasileira ABNT NBR 10151 [21], que estabelece procedimento para medição e avaliação de níveis de pressão sonora em ambientes externos às edificações, em áreas destinadas à ocupação humana, em função da finalidade de uso e ocupação do solo, além de estabelecer limites de níveis de pressão sonora para esses

casos. O objetivo é avaliar se os níveis de pressão sonora atingidos são compatíveis com os limites estabelecidos pela norma e garantir que o procedimento seja feito de forma adequada. Tal norma é referenciada na legislação federal [8, 9], o que significa que tem poder de regulamentação para a acústica em espaços abertos. A norma leva em conta parâmetros relacionados ao ambiente em questão, à variação dos níveis de ruído e ao horário em que ocorre a exposição ao mesmo.

É interessante destacar que a nova versão da ABNT NBR 10151, recentemente publicada (em maio de 2019), segue a terminologia da ISO 80000-8, *Quantities and units – Part 8: Acoustics* (2007) [24] e da ABNT NBR 16313, *Acústica – Terminologia* (2014) [25], ao explicar que os níveis sonoros são expressos em dB: o acréscimo de um pós-escrito após o dB para indicar a ponderação em frequência, por exemplo, o antigo dB(A), é incorreto. Esta informação já está incluída no símbolo da grandeza,  $L_{Aeq}$ , e o seu resultado é expresso em dB.

No caso da cidade de São Paulo, a Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo [12] estabelece limites de níveis de pressão sonora para as diferentes zonas estabelecidas na lei, para diferentes horários do dia.

Os resultados obtidos nos levantamentos em campo e nas simulações foram comparados com os valores da ABNT NBR 10151 [21] e da Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo [12].

Como forma de complementar a avaliação dos dados, também foram levados em conta outros descritores. Além do  $L_{Aeq}$ , foram medidos os níveis de pressão sonora contínuos equivalentes em bandas proporcionais de 1/1 de oitava e de 1/3 de oitava, ambos expressos em dB. Dessa forma, é possível analisar os níveis em função da frequência.

Os níveis estatísticos de pressão sonora  $L_{10}$  e  $L_{90}$  também foram obtidos. Índices estatísticos são usados para calcular a porcentagem do tempo que um determinado nível sonoro foi excedido durante o intervalo de medição. O  $L_{10}$

corresponde ao nível de pressão sonora que foi excedido em 10% do tempo de medição. O  $L_{90}$  corresponde ao nível de pressão sonora que foi excedido em 90% do tempo de medição, ele exclui interferências esporádicas, e costuma ser usado para representar o nível residual (antigo ruído de fundo). De acordo com Cortês [15], níveis estatísticos podem auxiliar na avaliação sonora “pela indicação do grau de incômodo do ruído medido, dando uma ideia aproximada da amplitude da variação sonora”.

A diferença entre  $L_{10}$  e  $L_{90}$  também foi calculada. Tal diferença é um indicador da variabilidade do ruído durante o período de medição. Segundo Bistafa [26], “quanto mais afastado estiver o  $L_{10}$  do  $L_{90}$ , maior será o incômodo do ruído, devido a variações bruscas de nível”, ou seja, grandes variações no nível de ruído, bem como sons isolados e de alta intensidade podem ser altamente incômodos, visto que são mais facilmente perceptíveis.

### 3.1.2. Avaliação qualitativa

Para avaliação qualitativa, foram realizadas observações exploratórias para caracterização dos objetos de estudo e aplicações de questionários ao longo das vias, buscando a opinião de quem trabalha, estuda ou mora nessas regiões. O objetivo da aplicação dos questionários é traçar um perfil mais preciso das pessoas que habitam as vias estudadas e conhecer suas respectivas percepções acerca dos sons que as circundam.

Com o objetivo de aumentar a compreensão sobre os aspectos relevantes do objeto de estudo, foram selecionados dados que englobam características físicas, usos, atividades, fontes sonoras e paisagem sonora das áreas analisadas. Assim, a partir das observações *in loco* e análise de fotografias, desenvolveram-se tabelas e desenhos para servirem de inventário físico dos ambientes estudados, onde a forma urbana é caracterizada de acordo com as seguintes características: topografia, tecido urbano, largura total da via, altura dos edifícios e relação H/L (altura/largura), ou seja, um coeficiente para a relação entre a altura das edificações e a largura da via.

Por topografia, procura-se identificar se a via é plana ou inclinada. Por tecido urbano, classifica-se o arranjo dos elementos urbanos em totalmente aberto, rua em “L”, rua em “U”, fechado nos 4 lados, circulação coberta, orgânico ou reticulado [15]. A relação H/L é calculada a partir da média aritmética da altura dos edifícios no entorno imediato do ponto medido (que aparecem em corte) dividida pela largura da via. A altura dos edifícios aponta a altura aproximada de todos os lados da via, em metros, daqueles prédios que cercam o ponto receptor, enquanto a largura da via considera toda a sua extensão, contando as calçadas, em metros.

Foram levantados os tipos de usos e atividades praticados nas regiões de estudo, visto que estes interferem diretamente no tipo e intensidade do fluxo de pessoas e veículos. Por tipos de usos, foram considerados: comércios, serviços, indústrias, residências, misto, lazer, escolas, creches, hospitais, etc. Por atividades, foram consideradas: contemplação, descanso, passagem, características do comércio, do serviço, da indústria, etc.

A partir das visitas a campo e gravações sonoras, foram tomadas anotações sobre as fontes sonoras e paisagem sonora de cada ponto examinado. As fontes sonoras foram classificadas de acordo com sua origem, em três categorias: sons de presença e atividades humanas (vozes, conversas, gritos, tosse, risos, passos, música, etc.); sons da natureza (vento, água, fonte de água, rio, lago, pássaros, animais domésticos, etc.) e sons mecânicos (atividades industriais, funilaria e mecânica, obras, sinos, ar condicionado, etc.).

Para a paisagem sonora, por sua vez, foram verificados os graus de predominância e percepção dos pesquisadores para cada uma das diferentes fontes, e, posteriormente, seus sons foram classificados em predominantes, eventuais, sinais sonoros e marcos sonoros. “Som predominante” refere-se aquele presente na maior parte do tempo. “Sons eventuais” referem-se a sons recorrentes que guardam similaridades. “Sinais sonoros” referem-se a sons

que chamam a atenção em um momento específico, enquanto “marcos sonoros” referem-se a som único com qualidades que o tornam especialmente notado. Por percepção do nível sonoro, foram considerados: silencioso, ruidoso, muito silencioso, muito ruidoso, nem silencioso e nem ruidoso, etc. [15].

Com relação ao questionário, sua estrutura era separada em três partes: caracterização, percepção e avaliação dos entrevistados. A primeira parte refere-se à descrição do perfil do interrogado, com perguntas voltadas à idade, sexo, ocupação, nível de escolaridade, se mora, trabalha ou estuda na rua, e quantas horas por dia frequenta o local. Dado perfil é de grande relevância para este trabalho, visto que entender quem são as pessoas expostas aos níveis de pressão sonora da região central de São Paulo é um dos pontos chave para compreender a forma como estas se relacionam com a paisagem sonora local. Isso ocorre, pois a recepção dos estímulos sensoriais é determinada por fatores psicossociais. A segunda parte relaciona-se ao entendimento que a pessoa tem sobre as questões de poluição sonora, indagando se ela tem conhecimento sobre alguma lei voltada para sua regulamentação e se acredita que esta pode prejudicar sua saúde auditiva. Por último, a terceira parte trata da avaliação sonora do participante, propriamente dita. Pergunta-se como o entrevistado julga a intensidade do ruído (pouco intenso, intenso ou muito intenso) e se essa o incomoda. Pergunta-se em que período do dia o entrevistado se sente mais incomodado com o ruído do local e quais ruídos os incomodam. Por fim, questionam-se os sintomas fisiológicos causados por essa exposição (irritabilidade, dor de cabeça, baixa concentração, zumbido, insônia e outros).

### 3.2. Levantamentos em campo

Os levantamentos de dados foram realizados nos objetos de estudo propostos. A escolha dos pontos de medição foi pautada pela busca por diferentes geometrias urbanas, com largura de vias, altura de edifícios e padrão de ocupação diferentes, como maneira de entender o efeito das diferentes formas urbanas na propagação

sonora. A análise desse padrão de ocupação é também muito importante, pois é representativa das condições a que boa parte da população da cidade está exposta.

A região do entorno imediato também foi analisada, pois o conjunto dessas ruas, junto às vias em estudo, definem a área de influência da paisagem sonora local. Por isso, as ruas adjacentes não apenas receberam pontos de medição e contagem de veículos leves e pesados, como também a caracterização de seus usos e atividades, da forma urbana, das fontes sonoras e das paisagens sonoras. No total, foram feitas medições sonoras em 21 pontos na região da Avenida Ipiranga, indicados no mapa da **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, com 7 deles na própria avenida e nomeados com algarismos arábicos (1 – 7), e 14 deles nas ruas adjacentes, nomeados com letras do alfabeto (A – N). Observa-se que o ponto 1 está localizado no interior da Praça da República.

Os equipamentos utilizados foram os sonômetros da marca Instrutherm, modelo DEC-500, e da marca Larson Davis, modelo SLM 831. O primeiro é um instrumento menos preciso e mede os níveis de pressão sonora equivalentes

com ponderação A. Apesar de não atender aos requisitos da nova versão da ABNT NBR 10151 [21], o instrumento foi utilizado por seu baixo custo, simples manuseio e disponibilidade de uso por alunos. O segundo, um medidor Classe 1, faz a avaliação dos níveis de pressão sonora em função da frequência (bandas de oitava e terças de oitava), além de medir níveis estatísticos de pressão sonora, entre outros. Este, portanto, atende aos requisitos da norma ABNT NBR 10151 [21]. Com o primeiro instrumento, mediu-se ao longo de 1 minuto, 3 vezes consecutivas em todos os pontos avaliados (pontos 1 – 7 e A – N). Com o segundo instrumento, mediu-se ao longo de 3 minutos uma única vez, apenas nos pontos localizados nas vias principais (pontos 1 – 7). Os pontos principais estão indicados em vermelho na Figura 2, enquanto os secundários, em amarelo.

Foram feitas contagens de veículos leves e pesados simultaneamente às medições. Esses números foram multiplicados por 20, para serem representativos de 1 hora cheia e poderem ser utilizados como dado de entrada para a simulação no *software*. As motos foram enquadradas na contagem de veículos leves.

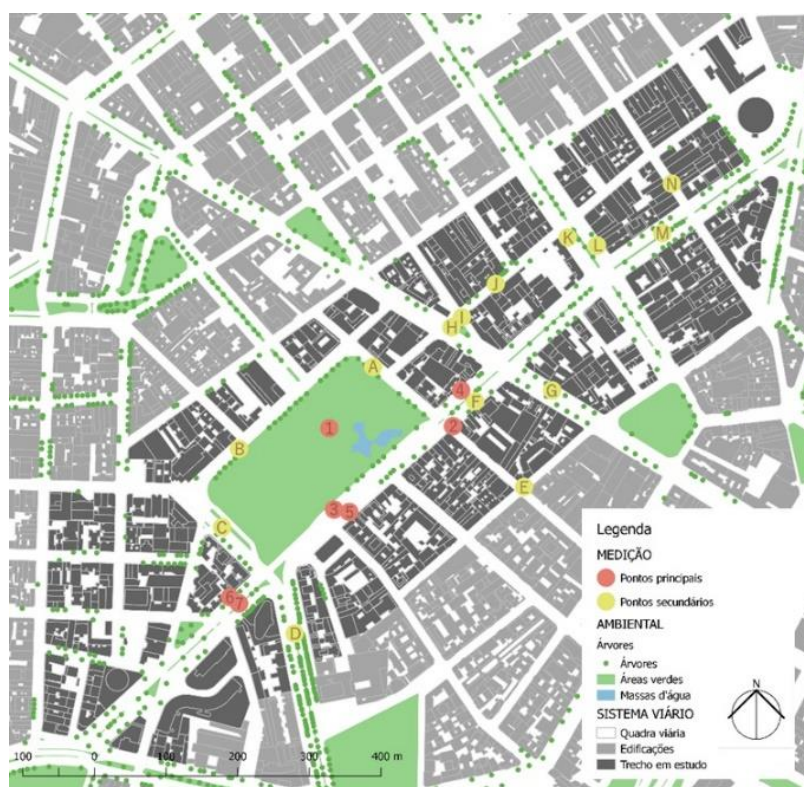


Figura 2: Pontos de medição da Avenida Ipiranga.

#### 4. RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta as localizações dos pontos de medição, os resultados das contagens de veículos leves e pesados por hora (VL/h e VP/h), as porcentagens de veículos pesados (% VP), as velocidades máximas das vias ( $V_{m\acute{a}x}$ ) e os resultados das medições de níveis de pressão sonora ( $L_{Aeq}$ ) obtidos com o sonômetro DEC-500.

Os resultados das medições com o sonômetro SLM 831, para os pontos 1 a 7, são apresentados na Tabela 2 e na Figura 3. Ao comparar os resultados de  $L_{Aeq}$  medidos pelos dois instrumentos, observam-se pequenas diferenças nos níveis medidos.

A Tabela 2 apresenta também os valores dos níveis estatísticos de pressão sonora  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  e

$L_{90}$ , e a diferença entre  $L_{10}$  e  $L_{90}$ . O valor máximo obtido para a diferença entre  $L_{10}$  e  $L_{90}$  é de 13 dB no ponto 7. Após escutar as gravações sonoras realizadas no ponto 7, ouve-se o som de um alarme de carro tocando durante as medições, som que causa incômodo ao ser ouvido. O fato de ter realizado gravações sonoras permite reproduzir posteriormente os sons gravados, bem como identificar eventos.

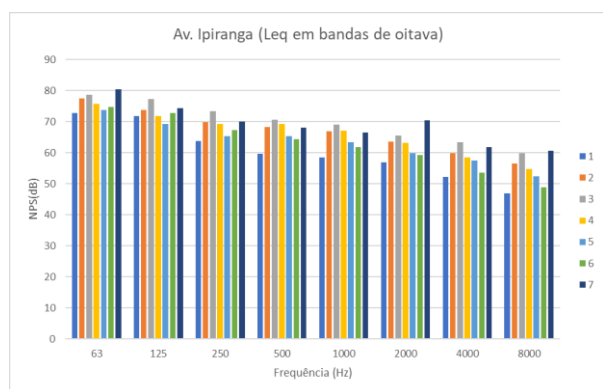
O gráfico da Figura 3 apresenta os níveis de pressão sonora contínuos equivalentes em bandas proporcionais de 1/3 de oitava, sendo possível notar maior contribuição sonora nas frequências mais graves em todos os pontos medidos. Destaca-se atenção aos picos no ponto 7 nas bandas de frequência de 2.000 Hz e 2.500 Hz, também devido ao som do alarme de carro tocando durante as medições.

**Tabela 1:** Resultados das medições e contagem de veículos na região da Avenida Ipiranga.

PONTO	LOCALIZAÇÃO	VL/h	VP/h	% VP	$V_{m\acute{a}x}$	$L_{Aeq}$ [dB] 14h às 17h
1	Interior da Praça da República	-	-	-	-	62,4
2	Esquina da Av. Ipiranga com a R. 24 de Maio	160	0	0	50	72,1
3	Av. Ipiranga, em frente à Praça da República, nº 138	2030	170	8	50	70,6
4	Av. Ipiranga, nº 769	540	80	13	50	71,6
5	Av. Ipiranga, nº 154	1370	260	16	50	67,8
6	Av. Ipiranga, nº 345	900	120	12	50	71,2
7	Av. Ipiranga, nº 345, no canteiro central	1110	100	8	50	70,1
A	R. Praça da República, nº 479	800	60	7	40	66,0
B	R. Praça da República, nº 323	1530	230	13	40	70,7
C	R. Praça da República, nº 173	1050	90	8	40	71,0
D	Av. São Luís, nº 88, no canteiro central	2360	170	7	40	72,6
E	R. Dom José de Barros, nº 203	160	0	0	40	71,2
F	Av. Ipiranga, nº 770	1100	120	10	50	73,9
G	Av. São João, nº 544	630	170	21	50	72,1
H	Av. São João, nº 747	460	100	18	50	69,9
I	R. Conselheiro Nébias, nº 34	240	10	4	50	70,2
J	R. dos Tibiras, nº 459	200	10	5	40	67,1
K	Av. Rio Branco, nº 245	1480	160	10	50	72,5
L	Av. Rio Branco, nº 188	590	80	12	50	71,8
M	Av. Ipiranga, nº 1100	1730	260	13	50	74,5
N	R. Santa Ifigênia, nº 197	380	20	5	40	73,6

**Tabela 2:** Resultados das medições com o sonômetro Classe 1 na Avenida Ipiranga.

PONTO	LOCALIZAÇÃO	$L_{Aeq}$ [dB]	$L_{10}$ [dB]	$L_{50}$ [dB]	$L_{90}$ [dB]	$L_{10} - L_{90}$ [dB]
1	Interior da Praça da República	64,2	65,7	63,6	61,9	3,8
2	Esquina da Av. Ipiranga com a R. 24 de Maio	71,6	75,6	68,8	64,6	11,0
3	Av. Ipiranga, em frente à Pr. da República, nº 138	74,2	77,3	71,0	67,3	10,0
4	Av. Ipiranga, nº 769	71,6	74,3	68,6	65,4	8,9
5	Av. Ipiranga, nº 154	68,2	71,6	65,1	60,7	10,9
6	Av. Ipiranga, nº 345	67,3	70,8	65,6	60,9	9,9
7	Av. Ipiranga, nº 345, no canteiro central	74,4	76,2	72,8	63,2	13,0

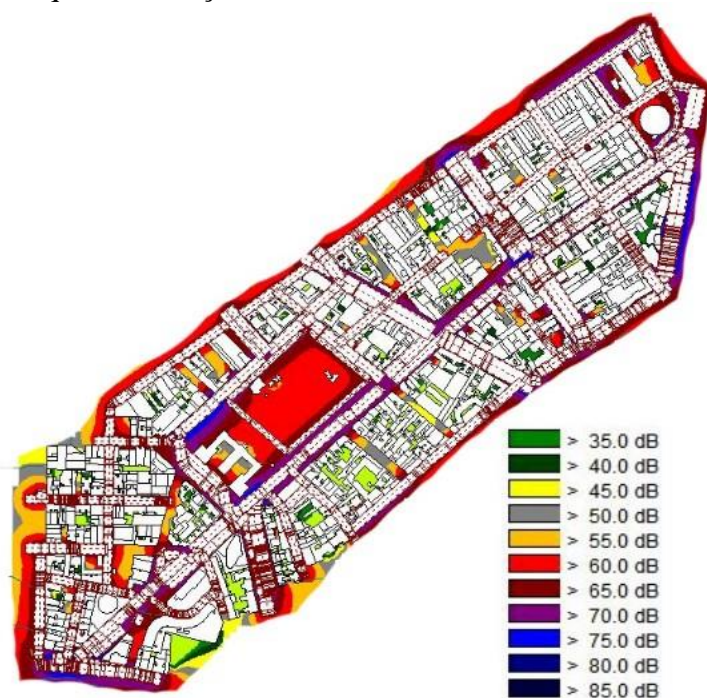


**Figura 3:**  $L_{eq}$  em bandas de oitava.

É importante saber que, por questões de disponibilidade de equipamentos e técnico, as medições foram feitas no período da tarde, entre 14h e 17h, nos meses de junho e julho de 2019, sendo este o período disponível para a pesquisa de campo. Isso significa que as medições são

representativas de um momento específico do ciclo de atividades diárias das regiões em estudo. Dados ciclos, por sua vez, são resultado das atividades humanas locais, demonstradas pelo uso do solo. Isso quer dizer que o presente trabalho não apresenta dados quantitativos correspondentes à sonoridade de outros momentos do dia. Porém, estes puderam ser analisados, indiretamente, por meio da pesquisa qualitativa realizada a partir da aplicação dos questionários.

O mapa sonoro gerado é apresentado na Figura 4. Analisando o mesmo, é possível identificar áreas com maiores ou menores níveis de ruído, conforme a tabela de cores relativas aos níveis sonoros.



**Figura 4:** Mapa sonoro, Avenida Ipiranga.



As tabelas 3 a 6 procuram caracterizar o trecho em estudo. A Avenida Ipiranga é a que apresenta as maiores dimensões dentre as vias estudadas, tanto na largura, quanto no comprimento. A via percorre aproximadamente 1.300 m e apresenta uma largura média de 26,5 m. A altura dos edifícios do trecho em estudo varia entre 6 m a 125 m, com uma média de 36 m e desvio-padrão de 17 m.

As formas urbanas podem ser analisadas na Tabela 3 e na Figura 5, para os 21 pontos medidos na Avenida Ipiranga, de acordo com a topografia, tecido urbano, largura da via, altura dos edifícios e relação H/L. No caso da topografia, todo o trecho analisado é plano.

A conformação predominante entre a via e as edificações é a de *canyon*, ou do tipo “U”, ou seja, com edificações em ambos os lados da

via, o que amplifica a propagação do som pelas inúmeras reflexões, quando comparada a um campo aberto. A relação entre a altura das edificações e a largura da via é caracterizada pela relação  $H/L > 0,2$ , típica de ruas em formato *canyon* [15]. O trecho da via onde há a Praça da República é o único que retrata arranjos em “L”, também conhecidos como arranjos abertos (pontos 3, 5, A e B). Este tipo de disposição é benéfico, porque não “prende” as ondas sonoras entre as construções, ou seja, diminui as reflexões nas fachadas. Apesar disso, a Avenida Ipiranga é a via mais arborizada, dentre as estudadas, com a presença de canteiros ao longo de praticamente todo seu trajeto e da Praça da República.

A Tabela 4 apresenta detalhadamente a caracterização de usos e atividades praticados na região para cada ponto de medição.

**Tabela 3:** Caracterização da forma urbana da região da Avenida Ipiranga.

PONTO	TOPOGRAFIA	TECIDO URBANO	LARGURA TOTAL DA VIA (m)	ALTURAS DOS EDIFÍCIOS (m)	H / L
1	Plano	Tecido totalmente aberto	-	-	0,0
2	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	35	60,8 / 39	1,4
3	Plano	Tecido aberto de um dos lados, fechado e reticulado do outro lado, porém com uma avenida de distância, rua em L, reticulado	180	36	0,2
4	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	35	38,5 / 39,4 / 80,9	1,5
5	Plano	Tecido aberto de um dos lados, fechado e reticulado do outro, rua em L	30	36	1,2
6	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	30	44,1 / 40,4 / 14,2 / 125,3	1,9
7	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	30	44,1 / 40,4 / 14,2 / 125,4	1,9
A	Plano	Tecido aberto de um dos lados, fechado e reticulado do outro, rua em L	327	8 / 39,4	0,1
B	Plano	Tecido aberto de um dos lados, fechado e reticulado do outro, rua em L	180	69,3	0,4
C	Plano	Tecido aberto de um dos lados, fechado e reticulado do outro, rua em L	22	43,8	2,0
D	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	38	69,6 / 64,5 / 72,3	1,8
E	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	10	36,4 / 41,3 / 51,4	4,3
F	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	34	80,9 / 39,4 / 38,5	1,6
G	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	30	26,7 / 69,8	1,6
H	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	45	34,4 / 31,9	0,7
I	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	45	31,9 / 34,4	0,7
J	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	11	25,4 / 40	3,0
K	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	42	40,51 / 4,75	0,5
L	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	42	3,9 / 40,33	0,5
M	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	34	38,7 / 27,5	1,0
N	Plano	Tecido fechado e reticulado, rua em U	15	10,39 / 22,9	1,1

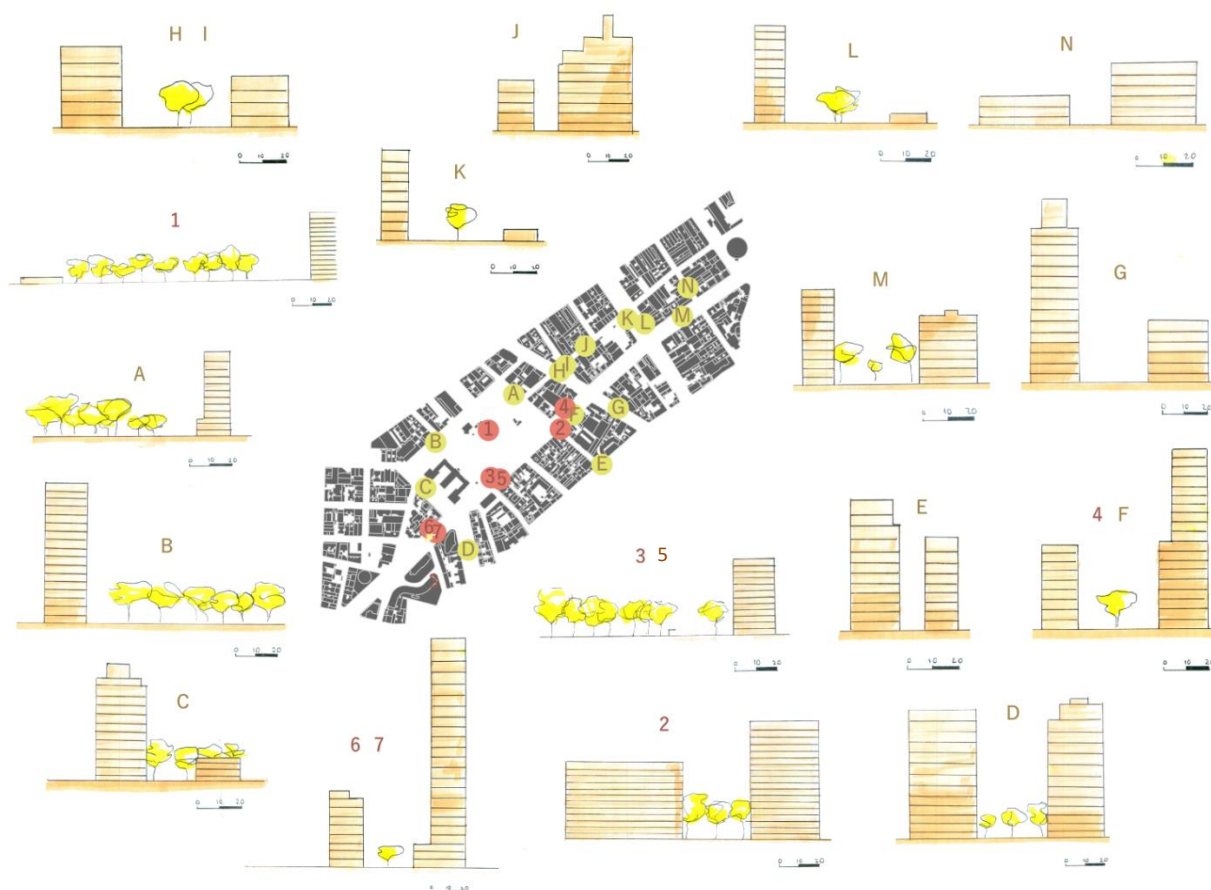


Figura 5: Caracterização da forma urbana – Avenida Ipiranga.

Tabela 4: Caracterização dos usos e atividades empregados na região da Avenida Ipiranga.

PONTO	TIPOS DE USOS	ATIVIDADES
1	Lazer, creche	Contemplação, descanso, circulação de pessoas, encontro de pessoas, moradia de pessoas em situação de rua, feira de artesanatos, posto policial
2	Misto com predomínio de comércio no térreo e algumas residências nos pavimentos superiores, hotel	Circulação de pessoas e veículos, venda de produtos variados, hospedagem, farmácia, lanchonete, banca de jornal, serviço de salão
3	Predominância comercial, tanto no térreo quanto nos pavimentos superiores	Circulação de pessoas e veículos, venda de produtos variados, estação de metrô, ponto de ônibus, instituições governamentais, mercadinho, lanchonete, banca de jornal, praça ao lado e feira de artesanatos ao ar livre, moradia de pessoas em situação de rua
4	Misto com comércio no térreo e residência nos pavimentos superiores, hotel	Circulação de pessoas e veículos, lanchonete, hospedagem, banca de jornal, ponto de taxi, cinema e cinema adulto
5	Misto com comércio no térreo e residência nos pavimentos superiores	Circulação de pessoas e veículos, venda de produtos variados, estação de metrô, ponto de ônibus, instituições governamentais, mercadinho, lanchonete, banca de jornal e moradia de pessoas em situação de rua
6	Misto com comércio e serviços no térreo e residência e comércio nos pavimentos superiores	Circulação de pessoas e veículos, venda de produtos variados, ponto de táxi, instituições governamentais, mercadinho, lanchonete, banca de jornal, trecho da via para estacionamento de motos
7	Misto com comércio e serviços no térreo e residência e comércio nos pavimentos superiores	Circulação de pessoas e veículos, venda de produtos variados, ponto de táxi, instituições governamentais, mercadinho, lanchonete, banca de jornal, trecho da via para estacionamento de motos
A	Misto com indústria, comércio, serviços com algumas residências	Circulação de pessoas e veículos, trecho da via para estacionamento de motos, moradia de pessoas em situação de rua, mercadinho, lanchonete
B	Comércio, serviços, escola e instituição governamental	Circulação de pessoas e veículos, instituição governamental, ciclo faixa, lanchonete, banca de jornal, estação de metrô,

C	Misto com comércio no térreo, residência nos pavimentos superiores e instituição governamental	Circulação de pessoas e veículos, instituição governamental, ciclo Faixa, lanchonete, banca de jornal, venda de produtos diversos, academia, tatuaria, barbearia,
D	Misto com comércio no térreo e residência nos pavimentos superiores	Circulação de pessoas e veículos, calçada larga instituição governamental, lanchonete, restaurante, galeria comercial, banca de jornal, instituição educacional, serviço de câmbio,
E	Misto com comércio e serviços no térreo e residência e comércio nos pavimentos superiores	Circulação livre de pessoas e restrita de veículos, venda de produtos variados, lanchonete, moradia, serviço de salão, <i>sexshop</i> , galerias comerciais, suplementos alimentares, serviço público de cultura e lazer (SESC)
F	Misto com comércio no térreo e residência nos pavimentos superiores	Circulação de pessoas e veículos, lanchonete, hospedagem, banca de jornal, ponto de taxi, cinema e cinema adulto
G	Misto com comércio e serviços no térreo e residência e comércio nos pavimentos superiores, hotel	Circulação de pessoas e veículos, venda de produtos variados, lanchonete, hospedagem, banca de jornal, ponto de taxi, casa noturnas, galerias comerciais e sebos
H	Misto com comércio e serviços no térreo e residência nos pavimentos superiores	Circulação de pessoas e veículos, venda de produtos variados, lanchonete, hospedagem, banca de jornal, local público para estacionamento de motos, ponto de taxi, serviço de salão e local de encontros na praça
I	Misto com comércio e serviços no térreo e residência nos pavimentos superiores	Circulação de pessoas e veículos, venda de produtos variados, lanchonete, hospedagem, lotérica, banca de jornal, local público para estacionamento de motos e local de encontros na praça
J	Misto com predominância de hotéis, comércio e serviço	Circulação de pessoas e veículos, hospedagem, <i>petshop</i> , lanchonete, estacionamentos, serviço de salão
K	Misto com predominância de comércio, serviço e escola	Circulação de pessoas e veículos, venda de produtos variados, lanchonete, hospedagem, mercadinho, instituição de ensino técnico, dentista e serviço de salão
L	Misto com predominância de comércio, serviço, hotel e escola	Circulação de pessoas e veículos, venda de produtos variados, lanchonete, hospedagem, mercado, açougue, instituição de ensino técnico
M	Predominam comércios, serviços e hotel	Circulação de pessoas e veículos, venda de produtos variados, lanchonete e hospedagem
N	Misto com comércio, serviço e confecção, e com poucas residências nos pavimentos superiores	Circulação de pessoas e veículos, venda de produtos variados e restaurante

A Tabela 5 apresenta os valores dos níveis de pressão sonora medidos e a caracterização das fontes sonoras por ponto medido, obtida a partir das gravações sonoras e anotações durante as visitas em campo, classificando os sons em sons de presença e atividades humanas, sons da

natureza e sons mecânicos. A Tabela 6 apresenta a caracterização da paisagem sonora por ponto medido, indicando a percepção do nível sonoro e classificando em sons predominantes, sons eventuais, sinais sonoros e marcos sonoros.

**Tabela 5:** Caracterização das fontes sonoras na região Avenida Ipiranga.

PONTO	L <sub>Aeq</sub> [dB] 14h às 17h	SONS DE PRESENÇA E ATIVIDADES HUMANAS	SONS DA NATUREZA	SONS MECÂNICOS
1	62,4	Crianças brincando, música	Vento, fonte de água, pássaros	Trânsito distante, sirene
2	72,1	Passos, vozes, conversas	Vento	Veículos, aceleração, batida de objetos, buzinas, freio
3	70,6	Passos, vozes, conversas	Vento	Veículos, aceleração, batida de objetos, buzinas, freio
4	71,6	Passos, vozes, conversas	Vento	Veículos, freio, aceleração
5	67,8	Passos, vozes, conversas, risos	Vento, pássaros	Veículos, aceleração, batida de objetos, buzinas
6	71,2	Passos, vozes, conversas, assobio	Vento	Veículos, batida de objetos, aceleração de motos
7	70,1	Vozes	Vento	Veículos, aceleração, alarme de carros, sirene
A	66,0	Passos, vozes	Vento, pássaros	Veículos, freio
B	70,7	Passos, vozes	Vento, pássaros	Veículos, freio
C	71,0	Passos, vozes	Vento	Veículos, freio

D	72,6	Passos	Vento	Veículos, freio
E	71,2	Passos, vozes, tosse, risos, conversas, música, gritos	Vento	Batida de objetos
F	73,9	Passos, vozes, conversas	Vento	Veículos, freio
G	72,1	Passos, vozes, conversas	Vento, pássaros	Veículos
H	69,9	Passos, vozes, conversas	Vento, pássaros	Veículos, freio, buzina
I	70,2	Passos, vozes, conversas	Vento	Veículos, freio, buzina
J	67,1	Passos, vozes, conversas	Vento	Veículos
K	72,5	Passos, vozes, conversas	Vento	Veículos, freio, buzina
L	71,8	Passos, vozes, conversas	Vento	Veículos, freio
M	74,5	Passos, vozes	Vento	Veículos, freio
N	73,6	Passos, vozes, conversas, música, gritos	Vento	Veículos, freio, buzina

**Tabela 6:** Caracterização da paisagem sonora na região Avenida Ipiranga.

PONTO	PERCEPÇÃO DO NÍVEL SONORO	SOM PREDOMINANTE	SONS EVENTUAIS	SINAIS SONOROS	MARCOS SONOROS
1	Nem silencioso, nem ruidoso	Fonte d'água, crianças brincando, pássaros	Veículos distantes, passos	Música, gritos de criança, pássaros	Fonte d'água, pássaros
2	Muito ruidoso	Trânsito e vozes	Trânsito, passos	Buzina, aceleração e freio de veículos, conversas	-
3	Muito ruidoso	Trânsito e vozes	Conversas, aceleração de veículos, passos	Buzina e freio de motos e ônibus	-
4	Ruidoso	Trânsito	Aceleração de veículos, conversas, vozes, passos	Aceleração de ônibus, buzinas, batida de objetos	-
5	Muito ruidoso	Trânsito	Aceleração de veículos, conversas, vozes, risos, passos	Buzina e aceleração de motos e ônibus, motor de veículos	Pássaros
6	Muito ruidoso	Trânsito	Conversas, vozes, batidas de objetos, passos	Aceleração de motos, assobios	-
7	Muito ruidoso	Trânsito	Vozes, sirene, buzina, passos	Alarme de carro, aceleração de veículos	-
A	Ruidoso	Trânsito	Conversas, vozes, batidas de objetos, passos	Aceleração de ônibus	-
B	Ruidoso	Trânsito	Conversas, vozes, batidas de objetos, passos	Aceleração de ônibus	-
C	Ruidoso	Trânsito	Conversas, vozes, batidas de objetos, passos	Aceleração de ônibus	-
D	Muito ruidoso	Trânsito	Conversas, vozes, batidas de objetos, passos	Aceleração e freio de ônibus	-
E	Muito ruidoso	Passos, vozes e gritos	Batidas de objetos, veículos	Música, batida de objetos	-
F	Ruidoso	Trânsito e passos	Conversas, vozes, batidas de objetos, passos	Aceleração e freio de ônibus	-
G	Ruidoso	Trânsito, passos e vozes	Conversas, vozes, batidas de objetos, passos	Aceleração de ônibus e buzina	-
H	Ruidoso	Trânsito	Conversas, vozes, batidas de objetos, passos	Aceleração, freio de ônibus e buzina	-
I	Ruidoso	Trânsito	Conversas, vozes, batidas de objetos, passos	Aceleração e freio de ônibus	-
J	Ruidoso	Trânsito	Conversas, vozes, batidas de objetos, passos	Aceleração	-
K	Muito ruidoso	Trânsito	Conversas, vozes, batidas de objetos, passos	Aceleração, freio de ônibus e buzina	-

L	Muito ruidoso	Trânsito	Conversas, vozes, batidas de objetos, passos	Aceleração, freio de ônibus e buzina	-
M	Ruidoso	Trânsito	Conversas, vozes, batidas de objetos, passos	Aceleração e freio de ônibus	-
N	Muito ruidoso	Passos, vozes e gritos	Batidas de objetos, passos, música, alto-falantes	Alarme de carro, aceleração de veículos	-

#### 4.1. Comparação das medições com limites estabelecidos

Os resultados dos níveis de pressão sonora  $L_{Aeq}$  medidos em campo foram comparados com os limites estabelecidos em normas e legislação. A norma técnica ABNT NBR 10151 [21] estabelece um limite diurno de 60 dB para áreas mistas com predominância de atividades comerciais e/ou administrativas. No caso da legislação municipal, o mesmo limite máximo é estabelecido para o período diurno, de acordo com a Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo [12], para o zoneamento do local (Zona Centralidade, ZC). Todos os valores de níveis de pressão sonora medidos ultrapassam os limites de 60 dB. O resultado mais próximo a esse valor encontra-se no ponto 1, no interior da Praça da República. Isso mostra as condições acústicas inadequadas na região e a necessidade de realizar alguma ação de planejamento para reduzir ou controlar o ruído no local, de forma a melhorar sua qualidade sonora.

#### 4.2. Questionários

Os questionários foram aplicados nos mesmos dias das medições. 90 pessoas foram entrevistadas no total. No tocante ao perfil dos entrevistados, a maioria está na faixa dos 20 anos, o que equivale a 27% do total de entrevistados na via. É também expressiva a população em outros intervalos etários, como na faixa dos 40 (23%), 30 (20%) e acima de 60 anos (17%).

Com relação ao gênero dos respondentes, o número de entrevistas foi maior entre o masculino, com 73% dos entrevistados. Com relação à ocupação, notou-se grande concentração no número de trabalhadores de comércio e serviços, com predominância de vendedores, seguidos por atendentes, seguranças e motoboys.

No quesito atividades executadas na via, uma maioria expressiva dos entrevistados (84%) trabalha na rua em questão. É possível perceber também que não foi entrevistado ninguém que estudasse em uma das ruas, apesar de haver instituições de ensino no local. A porcentagem de respondentes que mora na Avenida Ipiranga encontra-se próximo de zero (3%). Além disso, 13% dos entrevistados na Avenida Ipiranga não exerciam nenhuma das atividades apontadas na via, estando apenas de passagem. Interessante pontuar ainda que os entrevistados podiam escolher mais de uma alternativa, o que significa que foram contabilizados os casos em que a pessoa trabalhava e morava no local.

Em relação ao tempo em que permanece na região, a maioria dos participantes (77%) relatou passar entre 8 e 12 horas, o que engloba, de forma geral, as pessoas que lá trabalham. A porcentagem de pessoas que permanece mais de 12 horas na rua em estudo retrata, na maioria dos casos, os entrevistados moradores (7%). O grupo entre 0 e 3 horas corresponde àqueles respondentes que estavam apenas de passagem, que é maior na Avenida Ipiranga (16%). É provável que isto se deva ao caráter mais conhecido historicamente do bairro da República, onde se localiza a avenida, além da presença de linhas de metrô e existência abundante de pontos de ônibus, o que facilita o acesso.

Após análise do perfil dos participantes, as perguntas seguintes do questionário referiam-se a conhecimentos gerais a respeito da poluição sonora. O objetivo era reconhecer o grau de discernimento que os usuários têm sobre a regulamentação do ruído, em São Paulo, e os riscos que este pode impor à saúde auditiva. Quando perguntados se conheciam alguma lei referente ao controle da poluição sonora, a maioria dos participantes alegou conhecer (52%). Quando questionados se o ruído pode

prejudicar a audição, 83% das respostas foram positivas.

A terceira parte do questionário procurou obter a avaliação dos entrevistados sobre os níveis de pressão sonora locais. Para a Avenida Ipiranga, os resultados indicam que o ruído é intenso, porém de forma mediana (43%). A resposta “pouco intensa” recebeu a menor porcentagem: 27%. A partir dos dados obtidos, é possível afirmar que a poluição sonora se faz presente nos objetos de estudo e é constantemente percebida pelos usuários participantes.

Para entender como o participante se sente diante dos níveis apontados, foi perguntado se este mostrava-se incomodado com o ruído da via. Ao contrário do que seria esperado diante das respostas da pergunta anterior, a questão foi respondida negativamente pela maioria dos entrevistados (70%). Dentre os motivos para estes resultados imprevistos, está a frequência com que os entrevistados eram expostos a dados níveis sonoros, como pôde ser observado quando alguns responderam que “estavam acostumados” e, por isso, “não percebiam mais”.

Com a intenção de entender o momento do dia em que os respondentes se mostram mais incomodados, foi-lhes perguntado pelo principal período do dia em que sofriam desconforto, dentre as opções da manhã, tarde e noite. As respostas indicaram que para a Avenida Ipiranga, o ruído é mais intenso no período da tarde (46%), seguido do período noite (25%) e da manhã (21%). 8% responderam não saber.

Em seguida, foi perguntado quais eram as principais fontes sonoras causadoras de incômodo. Os respondentes puderam escolher mais de uma alternativa para a pergunta. Como já esperado, os veículos foram destacados como a principal fonte causadora de ruído urbano, apontados por 61%, seguidas por sirenes (16%). Ambas as fontes sonoras podem ser compreendidas como sons mecânicos, os quais já são sabidos gerar desconfortos nos usuários, como estabelecido por Yang e Kang (2005) na determinação do nível de aceitação de sons típicos presentes em espaços urbanos abertos

[27]. Outras fontes sonoras como pessoas, obras, bares, igrejas, lojas e viaturas aparecem nos resultados de maneira pouco expressiva.

A última questão direcionou-se para os sintomas fisiológicos decorrentes da exposição à poluição sonora. Os entrevistados também podiam escolher mais de uma alternativa. Foram obtidos resultados semelhantes aqueles da pergunta referente ao incômodo sofrido. De forma surpreendente, a maioria relatou não sofrer com sintomas decorrentes desta exposição: 32% no caso da Avenida Ipiranga. Estes resultados vieram acompanhados por comentários que apontam a frequência da exposição, pois muitos declararam estarem acostumados com ela. O segundo principal incômodo percebido na Avenida Ipiranga foi baixa concentração (20%), seguida por dor de cabeça e irritabilidade, ambos presentes em 15% das entrevistas, zumbido (10%), insônia (5%), dor de ouvido (2%) e outros (2%).

É comum observar que, mesmo que realizadas perguntas específicas sobre as condições acústicas locais, a partir de algumas respostas, notou-se que a avaliação do ambiente pelo usuário é feita de maneira conjunta, de forma que a percepção dos diferentes aspectos ambientais influencia simultaneamente. Quando perguntados sobre os sintomas fisiológicos que os entrevistados sentiam quando expostos aos níveis de pressão sonora locais, surgiram respostas como “incomoda mais quando está calor, abafado”, ou ainda, que sentiam “ardência nos olhos devido ao ruído”. Por isso, foram anexados à pesquisa dados referentes a outros aspectos ambientais, como temperatura, umidade e vento, medidos simultaneamente às principais medições sonoras realizadas nas vias.

### 4.3. Análise global das vias

Como produto da pesquisa foram elaboradas imagens que resumem as análises de cada área estudada. A Figura 6 refere-se à análise global da Avenida Ipiranga.

### 4.4. Considerações

Após investigar os resultados obtidos, constatou-se que os maiores níveis de pressão sonora medidos se encontram na região da Avenida Ipiranga e vêm acompanhados de volumes elevados de tráfego. A intensa presença de veículos pesados, principalmente de ônibus, é outro elemento determinante para os resultados encontrados. A presença destes é decorrente da grande oferta de serviços de transporte público sobre rodas na região do distrito da República, com uma presença abundante de pontos de ônibus. A via apresenta também um caráter estratégico quando compreendida dentro do sistema de grandes avenidas, como a Rua da Consolação e a Avenida Rebouças. Por isso, concentra parte dos fluxos de veículos da cidade e dos modais de transporte público, como ônibus e metrô.

Ao responder sobre a intensidade do ruído e o incômodo gerado, os moradores são os que se mostram mais insatisfeitos, quando comparados aos usuários que apenas trabalham no local. Estes últimos, de forma geral, relatam estarem acostumados e não sofrerem qualquer tipo de sintoma, enquanto os primeiros sofrem com insônias, irritabilidade, dor de cabeça, entre outros sintomas. É pertinente pontuar que a grande maioria dos moradores também passa o período diurno na região, seja trabalhando, seja passando o tempo como aposentado, e não apenas habitam a região no período noturno, como é de se esperar. Isso indica que conhecem as condições locais de ruído de todos os períodos do dia, enquanto a maior parte dos usuários que trabalham nas regiões de análise apenas conhecem as circunstâncias do ruído durante a manhã e à tarde, o que explica a predominância dos votos de maior incômodo em ambos os horários.

Dessa maneira, as más condições de conforto ambiental sonoro agravam a situação de vulnerabilidade das populações moradoras da região central da cidade, por afetarem diretamente suas condições de saúde, ao causar sintomas como os mencionados anteriormente.

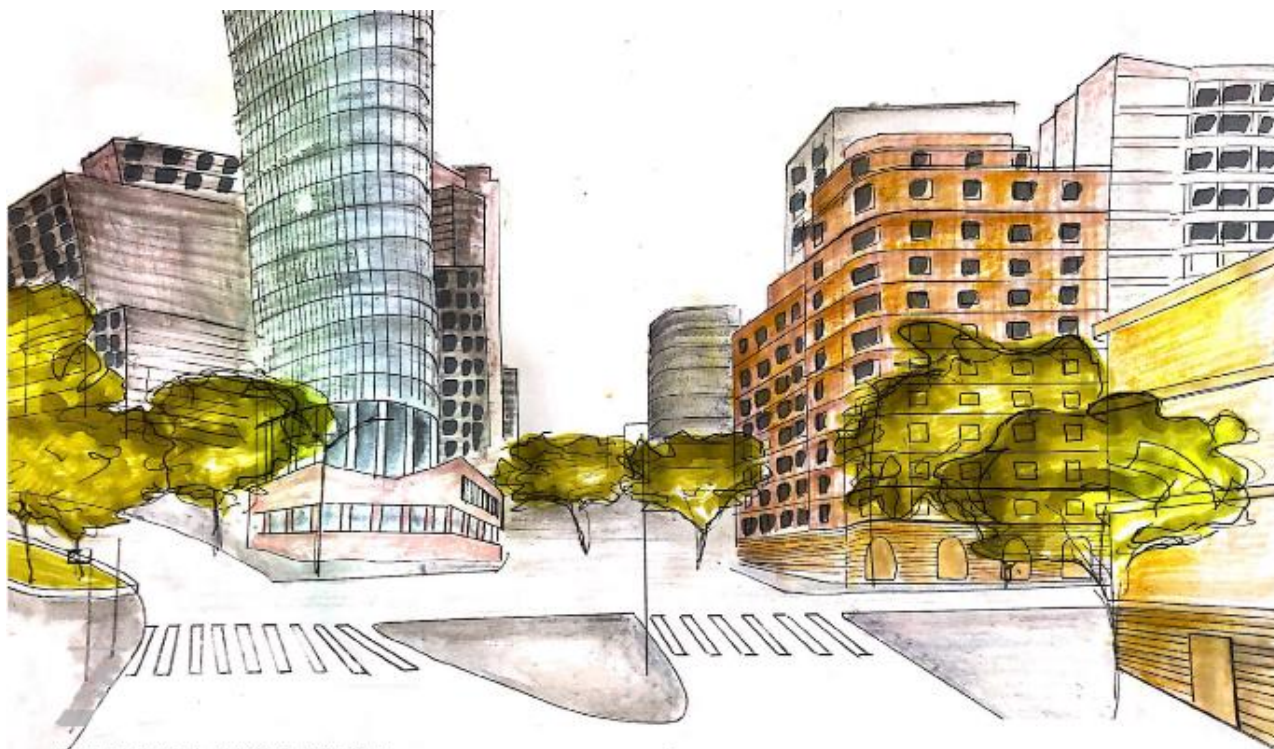
Resumidamente, os resultados dos questionários em conjunto com as medições indicam que o tráfego de veículos, de origem mecânica, representa a fonte sonora mais recorrente e incômoda nas áreas analisadas. Fontes sonoras com origem da natureza não foram citadas em nenhuma das respostas dos questionários, o que indica que estas são entendidas como fontes sonoras agradáveis, visto que as perguntas se direcionavam aos sons considerados desagradáveis. Apesar disso, com exceção da Praça da República, a presença de elementos sonoros da natureza, como sons de pássaros, era praticamente inexistente e, quando presente, tinha seu som mascarado pelos ruídos do tráfego de veículos.

## 5. CONCLUSÕES

Níveis elevados de ruído nas cidades são questões de saúde pública, pois geram efeitos físicos, fisiológicos e psicológicos, e condicionam o bem-estar das populações. Portanto, devem ser levados em conta no processo de planejamento das cidades. Dentro do tema, o trabalho consistiu em realizar avaliações das condições acústicas em áreas estratégicas selecionadas na região central da cidade de São Paulo, considerando aspectos quantitativos e qualitativos.

A abordagem qualitativa é importante, pois leva a um entendimento de quem exatamente está exposto e é afetado por determinados níveis sonoros, e como um mesmo nível sonoro pode gerar percepções diferentes. Essa sensibilidade na abordagem do tema faz com que as pessoas deixem de ser apenas números e estratégias mais humanas possam ser adotadas.

Medições sonoras, mapeamento de ruído, observações, fotografias, desenhos, gravações sonoras e questionários foram algumas das estratégias utilizadas para avaliar a paisagem sonora na região. Por fim, uma imagem foi elaborada de forma a resumir visualmente toda a análise realizada (Figura 6).



## AVENIDA IPIRANGA

### FORMA URBANA

Tecido reticulado, três tipos de rua: rua aberta, rua em "U" e rua em "L", topografia plana

### USOS E ATIVIDADES

Misto com trecho de praça, residência, predominância comércio e serviço

### NÍVEIS SONOROS

62,4 - 72,1 dB

### PAISAGEM SONORA

Trechos nem silenciosos nem ruidosos até muito ruidosos

### FONTES SONORAS

Sons predominantes: trânsito e vozes

Sons eventuais: passos, conversas, batida de objetos



Figura 6: Análise global – Avenida Ipiranga.



Os níveis sonoros registrados recebem percepções diferentes da população moradora e da população trabalhadora do local em estudo. A primeira é atingida por eles de maneira mais ampla, pois as condições ambientais sonoras permeiam todos os momentos de sua vivência. É por isso que a ocupação de grandes centros urbanos vem muitas vezes acompanhada de elementos de vulnerabilidade social, devido às condições ambientais desfavoráveis a que são expostas as populações moradoras.

Essa compreensão mais aprofundada é possível por meio da combinação das abordagens quantitativas e qualitativas empregadas, visto que os dados levantados em medições sonoras em campo e simulações foram complementados pela percepção subjetiva dos usuários. Desta maneira, percebeu-se que níveis de pressão sonora semelhantes têm diferentes impactos sobre o bem-estar da população dependendo do horário do dia, de outros aspectos ambientais como temperatura, umidade relativa e poluição do ar, e são também consequência do perfil psicossocial e de padrão cultural. Pode-se afirmar que a percepção sonora é multidimensional.

Os níveis sonoros excessivos provenientes do tráfego de automóveis podem ser avaliados não apenas por meio de sonômetros, ou ainda simulados por métodos computacionais de predição sonora, mas também a partir da percepção dos usuários. Os resultados obtidos pelos diversos métodos de análise convergem no ponto de que a principal fonte causadora de ruído na região são as vias de tráfego de veículos.

O presente estudo dá subsídio à compreensão sobre os problemas acústicos de áreas da cidade visadas para adensamento, por meio da contraposição dos valores encontrados com as normas vigentes. Além disso, a pesquisa cria uma base de dados acústicos da região, levando ao entendimento com relação a que níveis de pressão sonora estão submetidas as populações atuais, para que medidas governamentais possam ser tomadas para a solução do problema acústico da região e melhoras na qualidade sonora local sejam feitas. Com a utilização de *software* de predição, condições futuras podem

ser simuladas, para ajudar também no planejamento urbano.

O estudo possui algumas limitações inerentes. A principal limitação refere-se aos horários das medições, não representativos de todo o período diurno. A segunda limitação refere-se ao fato de um dos equipamentos utilizados não atender aos requisitos da norma técnica brasileira. Apesar disso, o estudo contribui para o entendimento, a aplicação, a caracterização e a representação de paisagens sonoras em áreas urbanas centrais.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa de iniciação científica concedida (processo 2018/08972-5) e ao Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética (LABAUT) do Departamento de Tecnologia da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP) pelo apoio técnico.

## REFERÊNCIAS

1. BABISCH W. *The noise/stress concept, risk assessment and research needs*. Noise & Health; Volume 4, Issue 16, pp 1-11, 2002.
2. KANG, J.; SCHULTE-FORTKAMP, B. *Soundscape and the Built Environment*. 1. ed., CRC Press, 2017. ISBN 9781138893085.
3. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for Community Noise*. 1999. Disponível em: <<http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf>>.
4. BARING, J. G. de A. Controle da Poluição Sonora: planejamento de pesquisas nas universidades brasileiras, tendo em vista a experiência da cidade de São Paulo. In: *XXII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, SOBRAC 2008*. Belo Horizonte, MG, 2008.
5. SÃO PAULO (Município). Lei Nº 8.106, de 30/09/1974, Sons urbanos, São Paulo, 1994.
6. SÃO PAULO (Município). Decreto Nº 11.467, de 30/10/1974. Regulamenta a lei

8106 de 30/09/1974, que dispõe de sons urbanos, São Paulo, 1994.

7. BRASIL. Ministério do Trabalho. Portaria Nº 3.214, de 08/06/78 – NR 15 – Anexos 1 e 2. Limites de nível de ruído nos ambientes de trabalho, Brasília, 1978.

8. BRASIL. CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução Nº 1, de 08/03/90: Emissão de ruídos. Brasília, 1990.

9. BRASIL. CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução Nº 2, de 08/03/90: Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – Silêncio. Brasília, 1990.

10. SÃO PAULO (Município). Decreto-lei Nº 11.501, de 11/04/1994. Controle e a fiscalização das atividades que gerem poluição sonora, São Paulo, 1994.

11. SÃO PAULO (Município). Decreto-lei Nº 34.569, de 6/10/1994. Programa Silêncio Urbano - PSIU, São Paulo, 1994.

12. SÃO PAULO (Município). Lei Nº 16.402, de 22/03/2016. Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo de São Paulo. São Paulo, SP, 2016.

13. SÃO PAULO (Município). Decreto-lei Nº 16.499, de 20/06/2016. Elaboração do Mapa do Ruído Urbano da Cidade de São Paulo e dá outras providências. Diário Oficial do Município de São Paulo. São Paulo, SP, 20 jul. 2016.

14. HOLTZ, M. C. de B., *Avaliação qualitativa da paisagem sonora de parques urbanos. Estudo de caso: Parque Villa Lobos*, em São Paulo. Dissertação (Mestrado) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

15. CORTÊS, M. M. *Método de avaliação sonora em áreas urbanas formais e informais*. Tese (Doutorado) — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

16. MARIE CURIE ACTIONS. *Urban Sound Planning: The SONORUS project*. Chalmers University of Technology, Suécia, 2016.

17. HONG, J.; JEON, J. Y. Relationship between spatiotemporal variability of soundscape and urban morphology in a multifunctional urban area: A case study in Seoul, Korea. *Building and Environment*. v. 126, p. 382 – 395, 2017. Disponível em: <doi: 10.1016/j.buildenv.2017.10.021>.

18. ISO (International Organization for Standardization). ISO 12913-1. *Acoustics – Soundscape – Part 1: Definition and conceptual frameworks*, Genebra, 2014.

19. ISO (International Organization for Standardization). ISO/TS 12913-2. *Acoustics – Soundscape – Part 1: Data collection and reporting requirements*, Genebra, 2018.

20. ISO (International Organization for Standardization). ISO/TS 12913-3. *Acoustics – Soundscape – Part 1: Data analysis*, Genebra, 2019.

21. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). ABNT NBR 10151, *Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – Aplicação de uso geral*. Rio de Janeiro, 2019.

22. DATAKUSTIK. *CadnaA software*. Disponível em: <<http://www.datakustik.com/en/products/cadnaa>>. Acesso em: 20 out. 2019.

23. GEOSAMPA, Mapa Digital da Cidade de São Paulo. Disponível em: <<http://geosampa.prefeitura.sp.gov.br>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

24. ISO (International Organization for Standardization). ISO 80000-8. *Quantities and units - Part 8: Acoustics*, Genebra, 2007.

25. ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). ABNT NBR 16313, *Acústica – Terminologia*. Rio de Janeiro, 2014.

26. BISTAFA, S. R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*. São Paulo: Blucher, 2006. ISBN 9788521212836.

27. YANG, W.; KANG, J. Soundscape and Sound Preferences in Urban Squares: A Case Study in Sheffield. *Journal of Urban Design*, v. 10, no. 1, p. 61 – 80, Disponível em: <doi: 10.1080/13574800500062395>, 2005.

# Mapas de ruído: histórico e levantamento da atual produção brasileira

Brasileiro, T. C.<sup>1</sup>; Alves, L. R.<sup>2</sup>; Florêncio, D. N. P.<sup>3</sup>; Araújo, V. M. D.<sup>4</sup>; Araújo, B. C. D.<sup>5</sup>

<sup>1-5</sup> Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, tamarisbrasileiro@gmail.com, luciana\_ralves@hotmail.com, deboranpinto@gmail.com, virginiamdaraujo@gmail.com, dantasbianca@gmail.com

## Resumo

O mapeamento do ruído é a uma ferramenta de análise acústica do espaço urbano adequada ao estudo da poluição sonora, pois permite a localização dos principais pontos críticos de ruído de uma determinada área e tem como objetivo o controle, a melhoria e a preservação da qualidade sonora. No Brasil essa ferramenta ainda é pouco utilizada, devido à inexistência de leis nacionais e normas técnicas que a tornem obrigatória. Esse artigo tem como objetivo reunir os dados sobre os mapas de ruído existentes no Brasil, como forma de possibilitar a criação futura de leis ou normas para a construção de mapas com uma linguagem única que permita realizar comparações entre cidades e estabelecer formas de gestão de ruído ambiental integradas. Para realizar o levantamento dos mapas elaborados no Brasil, foram coletados, nas bases de pesquisas nacionais (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações — BDTD e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — CAPES), nos anais de eventos de conforto ambiental e acústica, e nos sites das prefeituras e secretarias de estado, os trabalhos desenvolvidos sobre o tema. Esse artigo apresenta, em ordem cronológica, os mapas realizados em trabalhos acadêmicos e estudos em órgãos públicos. A maioria dos mapas refere-se ao ruído de tráfego. No entanto, outros tipos de mapeamentos podem ser realizados, a exemplo da espacialização de denúncias de poluição sonora.

**Palavras-chave:** mapa de ruído, acústica ambiental, ruído de tráfego, mapa acústico, poluição sonora.

**PACS:** 43.50.-x, 43.50.Ki, 43.50.Lj, 43.50.Qp.

## Noise maps: history and survey of current Brazilian production

### Abstract

The noise mapping is a tool for acoustic analysis of the urban space suitable for the study of noise pollution, as it allows the location of the main critical noise points of a certain area and aims to control, improve and preserve the quality of sound. In Brazil this tool still sees little used due to the lack of national laws and technical standards that make it mandatory. This paper aims to systematize the data on noise maps existing in Brazil, as a way to enable the future creation of laws or standards for the construction of maps with a single language that allows comparisons between cities and to establish forms of integrated environmental noise management. In order to survey the maps produced in Brazil, they were collected from national research data bases (Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations - BDTD and Higher Education Personnel Improvement Coordination - CAPES), in the proceedings of events and on the websites of city halls. This article presents, in chronological order, the maps made in academic works and studies in public agencies. Most maps refer to traffic noise. However, other types of mappings can be performed, such as the spatialization of noise pollution reports.

**Keywords:** noise map, environmental acoustics, traffic noise, acoustic map, noise pollution.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento desordenado das cidades, atrelado ao aumento do número de rodovias urbanas, resulta no aparecimento de fontes de ruído capazes de gerar grande dano à população. Essas fontes, quando em excesso, resultam no aparecimento da chamada poluição sonora [1]. Este tipo de poluição já é considerado, pela Organização Mundial de Saúde - OMS, a segunda causa de poluição no mundo, perdendo apenas para a poluição do ar [2].

Como exemplo dos danos causados à saúde das pessoas, tem-se a perda parcial ou total da audição; problemas cardiovasculares e respiratórios. Além disso, pode gerar sensações generalizadas de fadiga e depressão. As repercussões na saúde e maneiras de estabelecer controles têm sido objeto de crescentes estudos e de preocupações no campo da saúde pública, da fisiologia, da acústica e da engenharia [3,4].

O ruído urbano é decorrente da combinação entre as diferentes fontes sonoras, a exemplo do ruído proveniente de fábricas e de veículos automotivos, como carros, motos, caminhões, ônibus, trens e aviões [5]. A preocupação maior no setor de transporte se refere aos impactos locais do automóvel, em termos de poluição do ar e sonora, e de desperdícios de tempo resultantes dos congestionamentos, além dos enormes custos envolvidos em se lidar com o problema da maneira convencional, ou seja, construindo mais vias [6].

Uma das ferramentas disponíveis para auxiliar o planejamento urbano das cidades e combater a poluição sonora é o mapa sonoro. Também denominado mapa de ruído ou carta do som, o mapa sonoro é a representação geográfica do ruído emitido nas cidades, por meio das curvas isofônicas [7–10].

Os mapas sonoros podem representar uma situação acústica existente, passada ou prevista [7–11]. Desta forma, enquanto o mapeamento

sonoro analisa o cenário acústico com base nos dados coletados em campo, a predição sonora possibilita uma previsão do ruído, com base em cálculos matemáticos, mediante a elaboração de cenários sonoros hipotéticos [12,13].

Além dos mapas sonoros, apresentam-se os mapas de conflito, que associam a classificação de zonas sensíveis e mistas aos níveis sonoros. Ambos os mapas podem ser utilizados para diversos fins, como, por exemplo: identificar as principais fontes de ruído urbano, como, por exemplo, o ruído de tráfego ou promovido por eventos ao ar livre; demonstrar a propagação de ruído no meio ambiente; como base para a elaboração de políticas públicas de controle de ruído considerando o custo-benefício das ações; ajudar a desenvolver ações de punição no nível regional e nacional para reduzir a emissão de energia sonora [7,14,15].

A Agência Portuguesa do Ambiente afirma que o mapa sonoro é uma ferramenta que tem como principal atribuição o apoio à decisão sobre o planejamento e ordenamento do território, permitindo a visualização de condicionantes espaciais voltados à qualidade acústica. Deve-se, portanto, ser utilizado na preparação dos instrumentos de ordenamento do território e na sua aplicação [7].

O ano de 1929 foi marcado pela origem dos estudos sobre ruído de tráfego, em Barkausen na Alemanha, e no ano seguinte, em 1930, foi realizado um estudo do ruído de tráfego em Frankfurt. Em 1932 iniciaram-se os estudos em Berlim, na Alemanha, e em 1938 foi realizado o primeiro mapa de ruído por meio de medições em 260 pontos. De 1942 a 1957, Leed e Bonvallet estudaram o ruído na cidade de Chicago. Em 1956 deu-se início a elaboração de diversas pesquisas no mundo sobre o ruído de tráfego [16].

Como forma de aumentar a qualidade acústica das cidades europeias, o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia instituíram, em 25 de junho de 2002, a Diretiva Europeia 2002/49/CE [17]. Essa Diretiva define “uma

abordagem comum para evitar, prevenir ou reduzir, numa base prioritária, os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiente, incluindo o incômodo dela decorrente” [17]. Desta forma, os países e cidades deveriam se responsabilizar pelo controle do ruído ambiental de suas respectivas áreas [18].

Para atingir os objetivos propostos, a Diretiva exigiu que os aglomerados com mais de 250.000 habitantes elaborassem, até 30 de junho de 2012, seus mapas de ruído. Com base nos resultados encontrados nos mapas, os aglomerados deveriam estabelecer, até 18 de julho de 2013, planos de ação para a mitigação do ruído urbano em excesso, especialmente níveis que pudessem trazer efeitos negativos à população [17].

A Diretiva forneceu instrumentos para o desenvolvimento de medidas comunitárias de redução do ruído emitido pelas principais fontes sonoras [19,20]. Destaca-se que as indicações expostas na Diretiva se aplicam ao ruído ambiental em que os seres humanos estão expostos, especialmente em áreas construídas, parques públicos ou em outras zonas tranquilas de uma aglomeração, em zonas tranquilas em campo aberto, nas imediações de escolas, hospitais e outros edifícios e zonas sensíveis ao ruído [17].

Como consequência da Diretiva Europeia, foram desenvolvidos diversos modelos computacionais capazes de representar as fontes sonoras que se propagam no espaço urbano, em especial o ruído de tráfego rodoviário, ferroviário e aeronáutico. Além disso, muitas cidades e municípios tomaram medidas para reduzir a poluição sonora, incluindo a redução da velocidade máxima permitida em estradas com uso frequente [19,20].

No Brasil essas ferramentas ainda são pouco utilizadas, em virtude da inexistência de leis nacionais e normas técnicas que tornem obrigatória a elaboração dos mapas. Algumas iniciativas começaram a ser criadas individualmente, por meio de pesquisas e aplicações no poder público e na academia,

assim como no âmbito privado, com o uso de mapas pontuais para projetos de loteamento e edificações isoladas [21]. Nesse contexto, essa pesquisa teve como objetivo geral reunir os dados sobre os mapas sonoros existentes no Brasil, como forma de possibilitar a criação futura de leis ou normas para a construção de mapas com uma linguagem única que permita realizar comparações entre cidades e estabelecer formas de gestão de ruído ambiental integradas.

## 2. DESENVOLVIMENTO

Para elaboração do mapa com a localização dos mapas sonoros no Brasil, foram coletados, nas bases de pesquisas nacionais (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações — BDTD — e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — CAPES), nos anais de eventos nacionais sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC), encontros da Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC) e nos sites das prefeituras e secretarias de estado, os trabalhos desenvolvidos sobre o tema. Este artigo apresenta, em ordem cronológica, os mapas sonoros realizados através de dissertações, teses e estudos em órgãos públicos. Por fim, foram realizadas análises das metodologias adotadas na elaboração dos mapas sonoros existentes no Brasil.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em geral, os mapas de ruído representam por meio das curvas isofônicas os níveis de pressão sonora resultantes em determinada área da cidade, podendo representar uma cidade, um bairro ou determinado recorte urbano. Contudo, os *software* acústicos podem elaborar mapas com outras finalidades, a exemplo da representação espacial das denúncias de poluição sonora. Sendo assim, são abordados nesse tópico os mapas existentes no Brasil, desenvolvidos a partir de 2002.

### 3.1 Mapas acústicos elaborados no Brasil

No Brasil, ainda é reduzido o número de municípios cujo mapa de ruído já foi elaborado ou está em desenvolvimento. Destaca-se que a primeira cidade a ser mapeada no Brasil foi Belém, no estado do Pará, por iniciativa da Prefeitura (Figura 1). A primeira etapa da elaboração do mapa foi desenvolvida entre 2002 e 2004, representando, por meio do *software* Predictor-LimA, os níveis sonoros de 18 distritos da cidade. Posteriormente, foi realizada a atualização do mapa inicial, passando a incluir toda a extensão da cidade. A metodologia utilizada para a elaboração do mapeamento de toda a cidade de Belém baseou-se na categorização das ruas, onde estas foram agrupadas de acordo com as características físicas, de tráfego e sonora em comum. A utilização desse método tornou o processo mais prático e eficiente, uma vez que exigiu que uma menor quantidade de medições fosse realizada. Os resultados demonstram que houve pequena diferença entre os níveis sonoros medidos em campo e os calculados pelo programa [22].

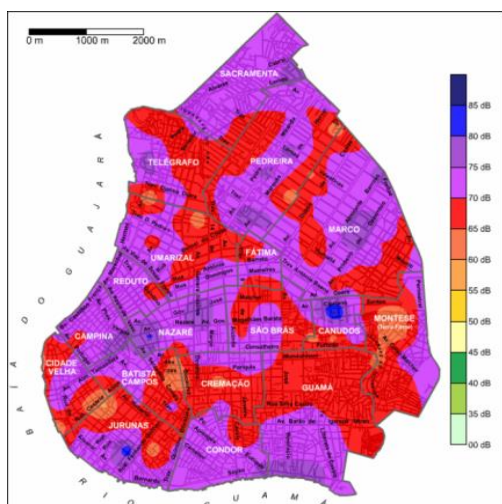


Figura 1: Mapa sonoro da cidade de Belém/PA para o intervalo entre 17 e 18h [22].

O segundo mapa elaborado no Brasil foi o da cidade de Fortaleza, no estado do Ceará (Figura 2). O projeto foi criado pela Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF) em conjunto com a Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente (SEUMA) e intitulado como

“Tolerância Zero em Fortaleza” ou, simplesmente, “Carta Acústica de Fortaleza”. O projeto foi elaborado pelo especialista em acústica urbana, o português Dr. Jose Luis Bento Coelho, e coordenado pelo fiscal municipal de Fortaleza, Francisco Aurélio Chaves de Brito. Na elaboração da Carta Acústica de Fortaleza foram criados cenários diurno e noturno, por meio do *software* acústico CadnaA. As informações contidas nas Cartas auxiliam no Plano Diretor Municipal de Fortaleza e servem como base para a tomada de decisões quanto às estratégias de intervenção e/ou políticas legislativas para redução da poluição sonora [14].



Figura 2: Recorte da Carta acústica de Fortaleza/CE no período diurno [14].

Em 2003 foi realizado, em uma dissertação de mestrado, o mapeamento sonoro de uma fração da cidade de Porto Alegre com base na coleta dos níveis de pressão sonora em 14 pontos distribuídos em toda a cidade, com monitoramento com duração de 24h em um dia típico da semana. Os dados foram processados no *software* Virtual Sound Instrument. Os pontos foram estabelecidos com base nas distintas características, a exemplo da densidade, população e fluxo de veículos [23].

Em 2005, em uma dissertação de mestrado, verificou-se a relação entre as fontes sonoras e a forma urbana, utilizando como estudo de caso o bairro Jardins na cidade de Aracajú, em Sergipe (Figura 3). Realizaram-se simulações computacionais no *software* SoundPLAN representando o mapeamento do cenário atual

e a predição sonora de cenários hipotéticos. Os resultados encontrados comprovaram que as características físicas da forma urbana influenciam na propagação sonora ao ar livre [1].

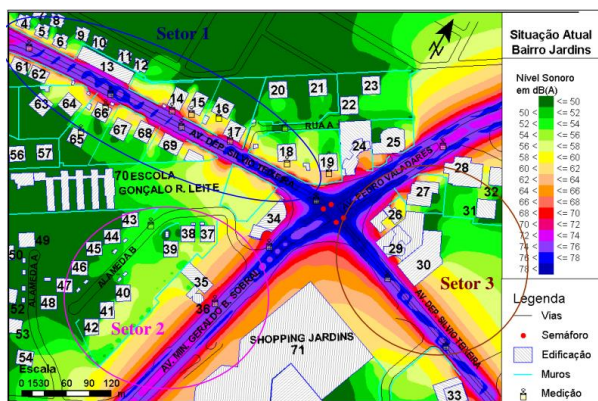


Figura 3: Recorte do Mapa sonoro do bairro Jardins, em Aracaju/SE [1].

A dissertação desenvolvida por Barretto [24], em 2007, estudou, por meio da predição sonora, o impacto sonoro gerado pelo metrô de Salvador/BA e seu reflexo na saúde da população. A produção dos mapas foi feita com auxílio da ferramenta GIS “Spring”. As simulações mostraram que a implantação do metrô causará impactos na população que mora ou trabalha nas regiões lindeiras.

Nardi [25] desenvolveu em 2008, em sua dissertação de mestrado, o mapeamento sonoro da área central de Florianópolis. Por meio da análise dos mapas acústicos elaborados no *software* SoundPLAN foi possível identificar diversos pontos críticos de ruído na área objeto de estudo.

Mendonça [26] analisou em sua dissertação de mestrado, em 2009, o ruído rodoviário de uma via com grande fluxo de veículos, na cidade de Santa Maria/RS, caracterizada pela presença de edificações voltadas ao uso misto. Por meio da contagem do fluxo de veículos e das medições sonoras realizadas em dois pontos da via, em dias de semana e finais de semana, constatou-se que o ruído emitido nessa via apresenta níveis sonoros elevados especialmente no final da tarde.

Giovanelli Neto [27] avaliou, em 2010, em sua dissertação de mestrado a extensão do impacto sonoro produzido pelas aeronaves em circulação no Aeroporto de São José dos Campos (São José dos Campos/SP) e o conforto acústico da população inserida na área de influência (Figura 4). Constatou-se que o ruído emitido nessa área apresenta níveis sonoros elevados e que o Plano de Zoneamento de Ruído do Aeroporto precisa de atualização nos limites de ruído para atender o nível de conforto da população.

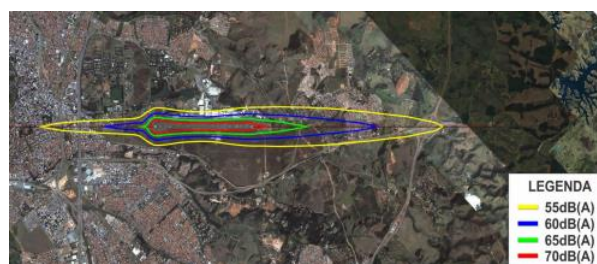


Figura 4: Mapa sonoro de influência do Aeroporto de São José dos Campos/SP [27].

Também em 2010, Souza [28] analisou em sua dissertação de mestrado o comportamento sonoro urbano de uma parcela urbana a partir de modificações cronológicas de sua forma. Para tal, utilizou como estudo de caso o loteamento 3º Jardim de Boa Viagem, em Recife/PE. Por meio da análise dos mapas sonoros elaborados no *software* Predictor-limA, concluiu que as modificações físicas urbanas interferem no aumento ou diminuição dos níveis sonoros urbanos.

Cantieri *et al.* [29] elaboraram, em 2010 por iniciativa acadêmica, o mapa sonoro da área central de Curitiba/PR. Para tal, realizaram medições sonoras em horários considerados de pico, com duração de duas horas (17 às 19h), em 55 pontos posicionados nos cruzamentos entre as avenidas. Destaca-se que os mapas foram realizados manualmente, sem auxílio de *software* computacional. Com os resultados foi possível concluir que os níveis sonoros presentes na área estão acima dos valores estabelecidos pelas normas vigentes.

Balzan [30], em 2011, avaliou em sua dissertação de mestrado o ruído de tráfego em

Chapecó/ SC, realizando medições nos horários de pico (períodos matutino e vespertino) e, posteriormente, o mapeamento desses dados. Destaca-se que os mapas foram representados manualmente, sem auxílio de *software* de simulação. Os resultados mostraram que o ruído local apresenta índices em desconformidade com a norma vigente.

A dissertação de mestrado desenvolvida em 2012 por Souza [20] avaliou o ruído de tráfego rodoviário do bairro Imbuí, em Salvador/BA, por meio da análise de mapas sonoros elaborados no *software* CadnaA (Figura 5). A pesquisa visou o incentivo da elaboração do mapeamento de toda a cidade de Salvador/BA.

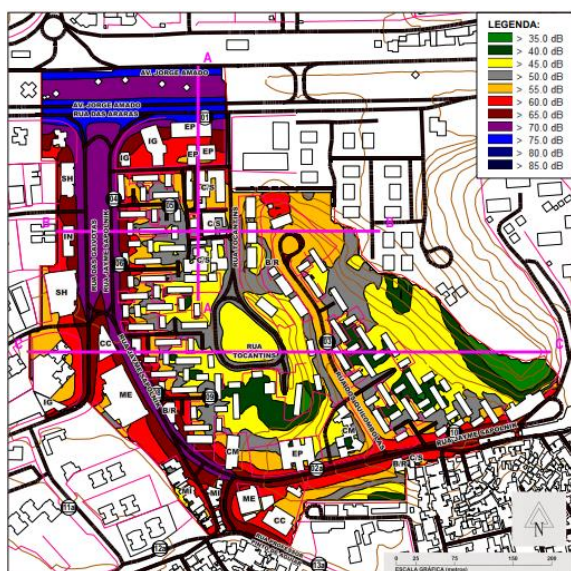


Figura 5: Mapa sonoro do bairro Imbuí, em Salvador/BA, período diurno [20].

Em 2013, Cortês [31] avaliou, em sua tese de doutorado, a influência da morfologia urbana na qualidade acústica do ambiente construído tendo como estudo de caso o bairro de Petrópolis, em Natal, Rio Grande do Norte. Para tal, elaborou mapas no *software* SoundPLAN. Os resultados demonstraram que os níveis sonoros no bairro estão acima dos valores recomendados pelas normas, especialmente nas vias arteriais, e que esse problema tende a se agravar em virtude da verticalização.

Pinto [13] avaliou, em 2013, em sua dissertação de mestrado os impactos sonoros

causados pelas obras de mobilidade urbana decorrentes da Copa de 2014 na cidade do Natal/RN. Foram elaborados mapas no *software* SoundPLAN referentes ao ano de 2012 (Figura 6) e mapas referentes à predição para o ano de 2017. Concluiu que os níveis sonoros em 2017 tendem a diminuir devido às obras de mobilidade, uma vez que o tráfego de veículos se tornará mais constante.

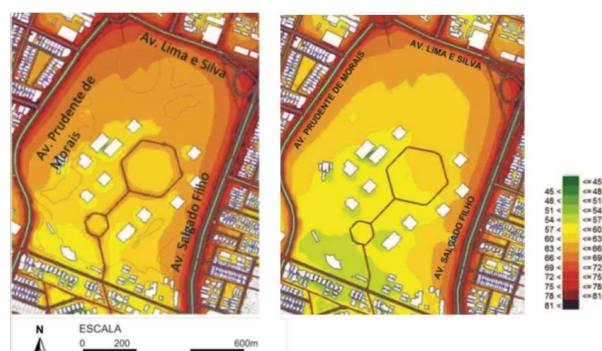


Figura 6: Mapa sonoro de parte do bairro Lagoa Nova, em Natal/RN, períodos diurno e noturno [13].

Oliveira Filho [32], em 2014, avaliou em sua dissertação de mestrado o isolamento acústico de fachadas de edifícios localizados na cidade de Curitiba/PR, por meio de mapas acústicos desenvolvidos no *software* Predictor-limA. Constatou que as edificações apresentam déficit quanto ao isolamento acústico em virtude de imperfeições construtivas e uso de materiais inadequados.

Vianna [33] avaliou em sua tese de doutorado, em 2014, a relação existente entre ruído urbano e seus efeitos na saúde da população, por meio da elaboração de mapas acústicos no *software* Predictor-limA e aplicação de questionários com a população de São Paulo. Concluiu que quanto maior o ruído emitido na área, especialmente o de tráfego rodoviário, maior o incômodo da população e diminuição da qualidade do sono.

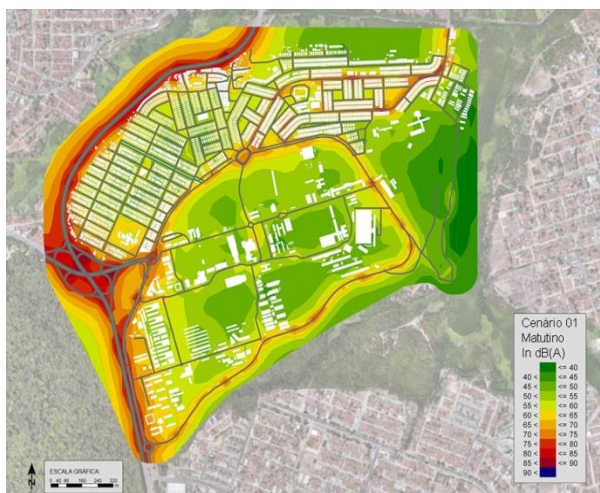
Ainda em 2014, Navarro [34] analisou em sua dissertação de mestrado a interferência da morfologia urbana e do projeto arquitetônico na paisagem sonora urbana, tendo como estudo de caso a área de influência da Rua Oscar Freire, em São Paulo/SP. Para tal, foram



realizados mapas sonoros no *software* Predictor-limA.

Em 2016 foi elaborada uma pesquisa acadêmica que teve como objetivo a análise dos diferentes cenários acústicos resultantes da propagação do ruído de tráfego rodoviário. Para tal, foram elaborados mapas sonoros no *software* SoundPLAN de três bairros da cidade do Rio de Janeiro/RJ: Copacabana, Botafogo e Barra da Tijuca [35].

Em 2017, Brasileiro [36] desenvolveu em sua dissertação de mestrado o mapeamento sonoro do bairro Castelo Branco, em João Pessoa/PB. A pesquisa desenvolveu, no *software* SoundPLAN, o mapeamento do ruído de tráfego de um bairro urbano na cidade de João Pessoa/PB próximo a uma rodovia de alto fluxo de veículos e indicou diretrizes acústicas de planejamento urbano para atenuação dos níveis sonoros em excesso (Figura 7). A metodologia adotada baseou-se na coleta dos dados morfológicos, de tráfego e acústicos da área objeto de estudo. Esses dados foram tratados em um programa de georreferenciamento (QGIS) e, em seguida, inseridos no SoundPLAN.



**Figura 7:** Mapa sonoro do bairro Castelo Branco, em João Pessoa/PB [36].

Brasileiro et al. [37] desenvolveram, por pesquisas acadêmicas, os mapas acústicos dos principais *campi* da Universidade Federal da Paraíba (Figura 8) e da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Figura 9). A metodologia baseou-se na coleta dos dados

morfológicos, de tráfego e acústicos. Os mapas foram realizados no *software* acústico SoundPLAN.



**Figura 8:** Mapa sonoro do campus da UFPB, em João Pessoa/PB, período matutino [37].



**Figura 9:** Mapa sonoro do campus da UFRN em Natal/RN, período matutino [37].

Em 2016, foi sancionada pela Prefeitura da Cidade de São Paulo a Lei 16.499/2016 [39]. Essa Lei, de autoria dos vereadores Andrea Matarazzo e Aurélio Nomura, define a obrigatoriedade, com estabelecimento de prazos e metas, da elaboração do mapa sonoro de toda a cidade de São Paulo.

O objetivo é que a leitura dos mapas permita identificação de áreas prioritárias para atenuação do nível sonoro e preservação das zonas com níveis de ruído apropriados. O mapa piloto da cidade de São Paulo foi elaborado e apresentado no INAD, - Dia Internacional da Conscientização sobre o Ruído -, de 2018 em São Paulo (Figuras 10 e 11) [57].



**Figura 10:** Mapa de ruído urbano piloto de São Paulo, diurno [57].



**Figura 11:** Mapa de ruído urbano piloto de São Paulo, noturno [57].

Em 2018, Florêncio [21] realizou o mapeamento sonoro de Natal/RN (Figura 12). Os procedimentos metodológicos consistiram na coleta e análise dos dados de tráfego, acústicos e mapas dos condicionantes físico-ambientais. O mapa sonoro foi processado através do *software* SoundPLAN com base na categorização das vias arteriais, coletoras e locais.

Guilherme [38] desenvolveu sua dissertação de mestrado sobre o mapeamento da área central da cidade de Sinop/MT em 2018. Os mapas foram realizados no *software* Predictor-limA e

como resultado, a autora avaliou a exposição da população ao ruído de tráfego e estabeleceu considerações para redução da poluição sonora local.



**Figura 12:** Mapa sonoro da cidade de Natal/RN [21].

Vasconcelos *et al.* [40] elaboraram, por meio de pesquisas acadêmicas em 2018, o mapeamento sonoro da principal avenida da cidade de Arapiraca, em Alagoas, localizada no bairro do Centro. A coleta de dados baseou-se na modulação de pontos de medição, onde foi posicionado um ponto no centro de cada quadra ao longo da extensão da via, totalizando oito pontos de coleta de dados. Os dados foram compilados e inseridos no *software* acústico SoundPLAN e, em seguida, elaborados os mapas.

Fernandes *et al.* [41] elaboraram, por meio de pesquisas acadêmicas em 2018, o mapa sonoro do corredor cultural do bairro da Lapa, no Rio de Janeiro/ RJ. Para tal, realizaram a coleta de dados em sete pontos de medição e, em seguida, elaboraram os mapas sonoros no *software* acústico SoundPLAN. Para facilitar o entendimento da metodologia adotada, foram

listados os parâmetros de simulação utilizados para a confecção dos mapas, a exemplo dos módulos gráficos (Grid Noise Map), altura dos mapas (1,20 acima do solo), número de reflexões (3), índice calculado (LAeq), critério de cálculo (RLS 90), índice de avaliação (NBR 10151/2000, lei 3268/2001) e altura do corte (20 m). A área objeto de estudo contém bares que funcionam no período noturno e, por esse motivo, foram elaborados mapas correspondentes a três cenários sonoros: a) mapa considerando apenas o ruído de tráfego; b) mapa considerando o ruído de tráfego e dos bares; c) mapa considerando apenas o ruído dos bares.

Costa *et al.* [42], elaboraram, também em 2018, por meio de pesquisas acadêmicas, o mapa sonoro representando o ruído aeronáutico do Aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro/ RJ. A metodologia foi baseada em simulações de curvas de ruído na métrica acústica DNL (day-night level) com uso do *software* INM 7.0d. Os dados de entrada necessários para as simulações foram fornecidos pela INFRAERO para o ano de 2016. Com as curvas de ruído foram elaborados mapas acústicos com auxílio do *software* QGIS 2.18. Também foi determinada a população exposta ao ruído aeroviário em diferentes curvas de ruído.

Ainda em 2018, Amarilla *et al.* [43] elaboraram, por meio de pesquisas acadêmicas, o mapa sonoro de um Campus Universitário na cidade de Curitiba/ Paraná. Foram distribuídos vinte e dois pontos para a coleta de dados na área objeto de estudo e, em seguida, os dados foram compilados e inseridos no *software* acústico SoundPLAN, para elaboração dos mapas. Visto que os níveis sonoros encontrados na área estavam em desconformidade com a norma vigente, também realizaram o mapa sonoro do cenário contendo barreira acústica.

Oliveira e Nunes [44] elaboraram, por meio de pesquisas acadêmicas, em 2018, o mapa sonoro pontual do Campus Gama da Universidade de Brasília (UnB), em Brasília/DF. Como metodologia optaram pela

aplicação de questionários, para avaliação qualitativa, e medição em vinte e três pontos distribuídos no Campus.

Vaidotas e Belderrain [45] elaboraram o mapa sonoro da caracterização do ruído de uma mineradora localizada no interior do estado de São Paulo em 2018. Foram criados três cenários sonoros distintos: a) mineração na Cava, apenas os equipamentos relacionados a atividades de mineração operando; b) transporte de minérios, apenas o transporte de minérios operando; e c) mineração mais transporte, com os equipamentos e transportes operando simultaneamente. Destaca-se que esse trabalho foi realizado pela iniciativa privada.

Zanoni e Cardoso [46] elaboraram, em 2018, por meio de pesquisas acadêmicas, o mapa sonoro do impacto da via férrea localizada na cidade de São Carlos, São Paulo. A área objeto de estudo compreendeu, aproximadamente, seis quilômetros de extensão e os mapas foram elaborados no *software* acústico CadnaA. Foi seguida a metodologia Shall-03 e, para a calibração do modelo, foi realizado o monitoramento do ruído aproximadamente por 48 horas, em um ponto localizado próximo à rodovia.

Garavelli *et al.* [10] elaboraram, por meio de pesquisas acadêmicas, o mapa sonoro de um recorte urbano localizado na cidade de Águas Claras, no Distrito Federal, em 2018. A metodologia baseou-se na coleta dos dados de tráfego e na determinação dos percentuais de pessoas incomodadas. Os mapas foram elaborados no *software* acústico SoundPLAN.

Ainda no ano de 2018, Santos *et al.* [47] desenvolveram, por meio de pesquisas acadêmicas, uma metodologia para estimar o ruído e a construção de um mapa acústico para a cidade de São Luís/MA utilizando geotecnologias. A metodologia baseou-se na utilização de imagens de satélite georreferenciadas, onde foram inseridos os dados do ruído medido nos pontos escolhidos correlacionando-os aos índices de vegetação.

A partir deste modelo construíram o mapa acústico para a cidade.

Brasileiro *et al.* [48] elaboraram, por meio de pesquisas acadêmicas, o estudo piloto do mapa de ruído de tráfego veicular da área de influência de uma das principais rodovias do Brasil, a Rodovia Transamazônica BR 230 em 2018. A pesquisa tem como objetivo principal avaliar o impacto do ruído de tráfego veicular da Rodovia Transamazônica (BR 230) na região metropolitana de João Pessoa/PB. Os mapas foram elaborados no *software* SoundPLAN.

Buffon *et al.* [49] elaboraram, por meio de pesquisas acadêmicas em 2019, o mapa de ruído da cidade de Cárceres/MT. Esse mapeamento serviu de base para análise e inserção das variáveis acústicas na atualização do Plano Diretor da cidade. O trabalho permitiu o estabelecimento de diretrizes para o planejamento urbano.

Fernandes *et al.* [50] desenvolveram, em 2019, por meio de pesquisas acadêmicas, uma pesquisa com aprofundamento na metodologia para elaboração de mapas de ruído. Como estudo de caso, realizaram os mapas de ruído do bairro do Altiplano, em João Pessoa/ PB.

Morais Junior *et al.* [51] desenvolveram, por meio de pesquisas acadêmicas em 2019, um estudo sobre a influência das variáveis ambientais no conforto térmico-acústico, tendo como estudo de caso o bairro de Capim Macio, em Natal/ RN.

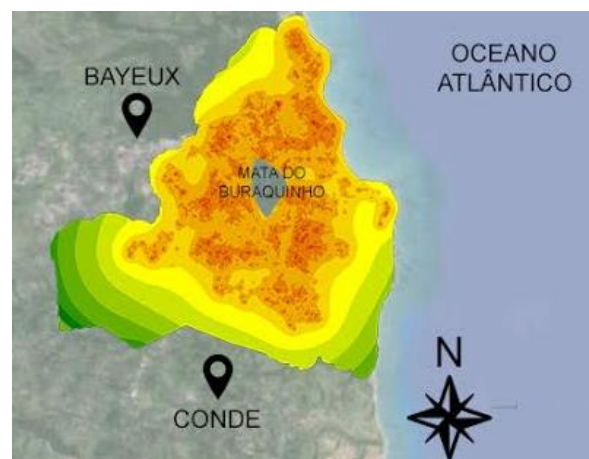
Silva *et al.* [52] elaboraram, em 2019, por meio de pesquisas acadêmicas, o mapeamento do ruído de tráfego do bairro do Bessa, localizado em João Pessoa. A metodologia adotada mostrou a importância de inserir os dados das fontes sonoras pontuais no mapa de ruído, mesmo sendo a escala bairro.

Ainda em 2019, Souza *et al.* [53] realizaram, por meio de pesquisas acadêmicas, um estudo comparativo entre duas rodovias brasileiras, a BR 230 e a BR 163, localizadas, respectivamente, nas cidades de Joao

Pessoa/PB e Sinop/MT. O principal aspecto observado na pesquisa foi a influência que as condicionantes físico-ambientais exercem na propagação do ruído de tráfego veicular.

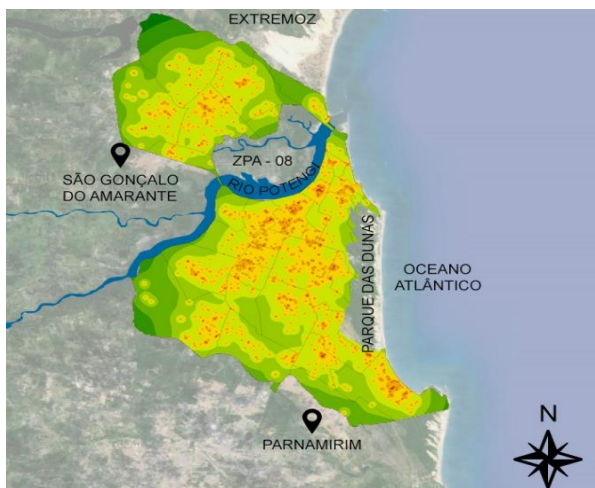
### 3.2 Mapas de denúncias de poluição sonora

Brasileiro *et al.* [54] desenvolveram, em 2016, uma pesquisa cujo objetivo foi analisar a situação da cidade do João Pessoa/PB quanto à poluição sonora, entre os anos de 2012 e 2015, através do mapeamento das concentrações de denúncias realizadas pela população (Figura 13). A metodologia baseou-se na coleta dos dados de denúncia de poluição sonora nos órgãos públicos e, com auxílio do *Plug-in* MMQGIS no *software* QGIS, as denúncias foram pontualmente localizadas no mapa da cidade. Em seguida, esses dados foram exportados para o *software* acústico SoundPLAN, no qual foi gerado o mapeamento das concentrações de denúncias na cidade. A utilização deste *software* justificase pela representação gráfica de fácil legibilidade espacial.



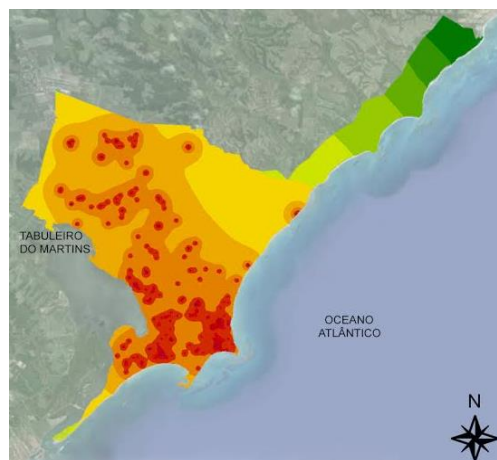
**Figura 13:** Mapa da concentração de denúncias de poluição sonora em João Pessoa/PB entre 2012 e 2015. As denúncias estão representadas na cor vermelha [54].

Alves *et al.* [55] desenvolveram, em 2016, o mapeamento da concentração das denúncias de poluição sonora na cidade de Natal, capital do Rio Grande do Norte (Figura 14). A pesquisa acadêmica adotou metodologia semelhante à adotada por Brasileiro *et al.* [54], a fim de mapear os locais da cidade com maior concentração de denúncias de poluição sonora realizadas pela comunidade.



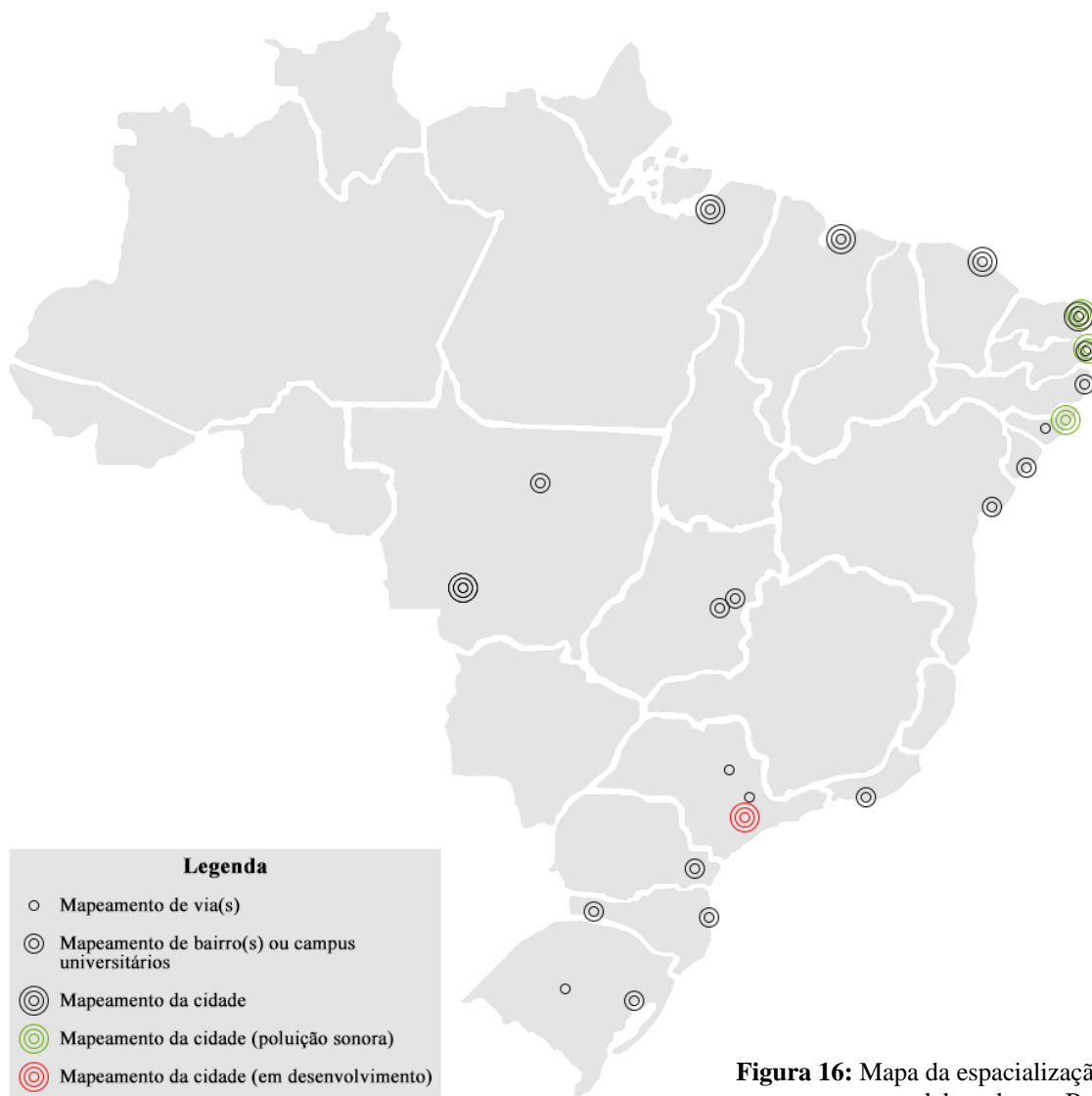
**Figura 14:** Mapa da concentração de denúncias de poluição sonora em Natal/RN entre 2012 e 2015. As denúncias estão representadas na cor vermelha [55].

mapeamento da concentração de denúncias de poluição sonora entre estas capitais e Maceió/AL (Figura 15), em 2016, por Alves *et al* [56].



**Figura 15:** Mapa da concentração de denúncias de poluição sonora em Maceió/AL entre 2012 e 2015. As denúncias estão representadas na cor vermelha [56].

Com base nos mapeamentos descritos anteriormente, foi realizado o comparativo do



**Figura 16:** Mapa da espacialização dos mapas sonoros elaborados no Brasil.

### 3.3 Espacialização dos mapas sonoros elaborados no Brasil

Com base nos resultados encontrados, foi elaborado o mapa da espacialização dos mapas sonoros elaborados no Brasil (Figura 16). Para elaboração deste mapa o estudo de Vaidotas e Belderrain [45] foi desconsiderado, já que a localização da mineradora mapeada não foi descrita com precisão no artigo, não sendo possível mapeá-la. As cidades que possuem mapeamento da concentração das denúncias de poluição sonora e outros mapeamentos (com resultados publicados nos anais dos referidos eventos), como é o caso de Natal/RN e João Pessoa/PB, foram marcadas duplamente, a fim de determinar a existência desses dois tipos de mapeamento.

## 4. CONCLUSÕES

Ao realizar essa pesquisa observou-se que há divergências em relação a nomenclatura utilizada para os mapas que representam o ruído urbano. Em alguns trabalhos o termo utilizado foi “mapa acústico”, em outros “mapa sonoro” e ainda “mapa de ruído”. Até o momento não existe uma indicação/publicação que defina e classifique esses tipos de mapa. Por esse motivo, nessa pesquisa os dois termos foram utilizados como sinônimo.

O mapa sonoro pioneiro no Brasil foi realizado em 2002 na cidade de Belém/PA, por iniciativa do poder público. Em seguida, também com auxílio governamental, foi elaborado o mapeamento da cidade de Fortaleza/CE. Os anos seguintes foram marcados pela elaboração dos mapas sonoros nos meios acadêmicos, especialmente nos trabalhos de pós-graduação (dissertações e teses) nas áreas de arquitetura e urbanismo e engenharia civil. Afirma-se que os estudos de mapa sonoro no Brasil têm sido desenvolvidos mais nos meios acadêmicos do que por iniciativa do poder público, a exemplo das prefeituras.

No Brasil existem as cidades de Belém, Fortaleza, Natal e Cáceres com mapas sonoros municipais concluídos e a cidade de São Paulo, cujo mapeamento está em fase de elaboração.

No entanto, diversas outras cidades brasileiras apresentam o mapeamento de alguns bairros ou ruas isoladas. A concentração desses mapas acontece nas capitais do nordeste e sul do país.

Os mapas existentes no Brasil foram elaborados em *software* computacionais internacionais, a exemplo do SoundPlan, Predictor-limA e CadnaA. Percebe-se que são inexistentes programas nacionais de simulação acústica que possam representar a realidade nacional. Observou-se, também, que a metodologia adotada para a elaboração dos mapas foi semelhante em todos os trabalhos analisados, especialmente na etapa da coleta dos dados de tráfego e acústico. No entanto, a etapa referente à elaboração do banco de dados, que antecede a inserção dos dados nos *software* acústicos, não foi tão detalhada nos trabalhos. Destaca-se a existência dos programas de georreferenciamento, cujo intuito é otimizar o processo de elaboração dos mapas, tornando-o mais preciso.

Em relação ao processamento dos mapas, percebeu-se que poucos trabalhos elencaram os parâmetros de simulação utilizados para a confecção dos mapas, a exemplo do modelo de cálculo, número de reflexões, tamanho da malha, altura do corte, índice de avaliação, entre outros.

Dentro desse contexto, é notório o crescimento dos mapas sonoros como ferramenta de controle e combate ao ruído. Portanto, recomenda-se que sejam levantadas novas discussões sobre os desdobramentos do papel dos mapas no planejamento e gestão do ruído ambiental no país. Como exemplo, tem-se a criação de grupos de pesquisa e a implantação de futuras normas e leis para a construção de mapas com uma linguagem única que permita realizar comparações entre cidades e estabelecer formas de gestão de ruído ambiental integradas.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade

Federal do Rio Grande do Norte (PPGAU/UFRN) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

## REFERÊNCIAS

1. GUEDES, Italo Cesar Montalvão. **Influência da forma urbana em ambiente sonoro: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE)**. 2005. 126 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258522>>.
2. WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for community noise**. Londres, 1999. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/66217>>.
3. CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica arquitetônica**. 2. Ed. Brasília: Thesaurus, 2010.
4. WEBER, N.; HAASE, D.; FRANK, U. Assessing modelled outdoor traffic-induced noise and air pollution around urban structures using the concept of landscape metrics. **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 105–116, 2014.
5. BRÜEL & KJÆR. **Environmental noise**. Nærum: Brüel & Kjør Sound & Vibration Measurement A/S, 2000. Disponível em: <<https://www.bksv.com/media/doc/br1626.pdf>>
6. BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.
7. AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTA-DACAR; GUEDES, Margarida; LEITE, Maria João. **Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído Versão 3**. Amadora: [s.n.], 2011.
8. LEE, S. W.; CHANG, S. I.; PARK, Y. M. Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul, Korea. **Applied Acoustics**, v. 69, n. 8, p. 704–714, 2008.
9. SUÁREZ, E.; BARROS, J. L. Traffic noise mapping of the city of Santiago de Chile. **Science of the Total Environment**, v. 466–467, p. 539–546, 2014.
10. GARAVELLI, S.; ALI, M. Y.; CARDOSO, W. A. C.; MAROJA, A. A contaminação acústica em águas claras ao devido ao tráfego rodoviário. In: XXVIII ENCONTRO DA SOBRAC, 2018, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, GALOÁ, 2018.
11. SILVA, L. T.; MENDES, B.; RIBEIRO, P. **Plano de medidas para a melhoria da qualidade do ar e ruído em Guimarães, Fase I: Mapa de Ruído do Território de Guimarães**. Guimarães: [s.n.]. 2017. Disponível em: <[https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/document/file/13433/Mapa\\_de\\_Ruido\\_Guimaraes\\_Relatorio.pdf](https://www.cm-guimaraes.pt/cmguimaraes/uploads/document/file/13433/Mapa_de_Ruido_Guimaraes_Relatorio.pdf)>.
12. GARAVELLI, S. L.; MORAES, A. C. M.; NASCIMENTO, J. R. R.; NASCIMENTO, P.; MAROJA, A. M. Mapa de ruído como ferramenta de gestão da poluição sonora: Estudo de caso de Águas Claras-DF. Actas do 4º Congresso Luso-Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado, Sustentável - PLURIS. **Anais...** Faro: Universidade do Algarve, 2010.
13. PINTO, D. N. **Mapeamento acústico como ferramenta para predição de ruído urbano na área de influência do Estádio Arena das Dunas, Natal/RN**. 2013. 143 f. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2013.
14. BRITO, A. **Tolerância Zero em Fortaleza**. Fortaleza: Premium, 2013.
15. TSAI, K. T.; LIN, M. D.; CHEN, Y. H. Noise mapping in urban environments: A Taiwan study. **Applied Acoustics**, v. 70, n. 7, p. 964–972, jul. 2009.
16. DEL CARLO, U. **Ruído urbano**. 1979. Tese (doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.
17. UNIÃO EUROPEIA. Diretiva 2002/49/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. **Jornal Oficial**, n.45, I, 189, p. 12-26. 18 jul. 2002.
18. KAVAKITA, C. Y. **Medição do ruído de tráfego na rodovia SP 270 e avaliação da satisfação quanto ao conforto acústico de seus moradores**. 2008. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
19. HINTZSCHE, M.; HEINRICHS, E. Noise action planning in Germany. 22nd International Congress on Acoustics ICA 2016, Buenos Aires - Argentina. **Proceedings...** 2016.
20. SOUZA, D. F. M. DE. **Mapeamento acústico do ruído de tráfego rodoviário do bairro Imbuí, Salvador-BA**. 2012. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2012.
21. FLORÊNCIO, D. N. P. **Avaliação do mapa sonoro de tráfego veicular no município de Natal/RN**. 2018. Tese (doutorado) - Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
22. MORAES, E; SIMÓN, F; GUIMARÃES, L; MORENO, A. Modelling the urban noise of the city of Belém (Brasil). Proceedings of 19th International Congress on Acoustics. **Anais...**Madrid: Sociedad Española de Acústica, 2007.

23. MAIA, M. A. L. **Contribuição ao mapeamento ao ruído urbano de Porto Alegre**. 2003. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, 2003.
24. BARRETTO, D. M. **Impacto sonoro da implantação do metrô de Salvador em edificações adjacentes, considerando os reflexos na saúde**. 2007. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.
25. NARDI, A. S. L. V. **Mapeamento sonoro em ambiente urbano: estudo de caso: área central de Florianópolis**. 2008. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
26. MENDONÇA, Elizeu Carneiro de. **Ruído em Santa Maria – RS: a contribuição do tráfego veicular em área mista (Residencial/ Comercial)**. 2009. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
27. GIOVANELLI NETO, A. **Análise do ruído aeronáutico no entorno do aeroporto de São José dos Campos**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Taubaté, 2010.
28. SOUZA, R. B. E. DE. **O som nosso de cada dia: Análise do comportamento da acústica urbana a partir de modificações na forma urbana**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.
29. CANTIERI, E, CATAL, R.E. ; AGNOLETTO, R.A. **Elaboração de um mapa de ruído para a região central da cidade de Curitiba - PR. Revista Produção Online**, v. 10, n. 1, 5 mar. 2010.
30. BALZAN, K. L. **Avaliação do ruído de tráfego veicular em área central de Chapecó – SC**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.
31. CORTÊS, M. M. **Morfologia e qualidade acústica do ambiente construído: Estudo de caso em Petrópolis, Natal/ RN**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
32. OLIVEIRA FILHO, M. V. M. de. **Ruído ambiental: avaliação acústica de edificações em Curitiba – PR**. 2014. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 2014.
33. VIANNA, K. M. DE P. **Poluição sonora no município de São Paulo: avaliação do ruído e o impacto da exposição na saúde da população**. 2014. Tese (doutorado) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, 2014.
34. NAVARRO, W. C. K. **Estudo da paisagem sonora no projeto arquitetônico e no urbanismo**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2014.
35. ROCHA, R. B.; FERNANDES, W. C.; NIEMEYER, M. L.; CORTÊS, M. M.; AGUIAR, F. M. **Simulação acústica de ruído de tráfego em três configurações urbanas**. 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável: Pluris: contrastes, contradições, complexidades: desafios urbanos no Século XXI. **Anais...** Maceió: Viva Editora, 2016.
36. BRASILEIRO, T. da C. **Mapeamento Sonoro: Estudo do Ruído Urbano no bairro Castelo Branco, em João Pessoa/PB**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.
37. BRASILEIRO, T. C.; FLORÊNCIO, D. N. P.; ALVES, L. R.; ARAÚJO, V. M. D.; ARAÚJO, B. C. D. **Mapeamento acústico de dois campus universitários do nordeste brasileiro como ferramenta para planejamento urbano**. XXVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica SOBRAC. **Anais...**Brasília: Universidade de Brasília, 2017.
38. GUILHERME, P. M. G. **Exposição da população ao ruído: considerações para a cidade de Sinop-MT**. 2018. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Cuiabá, 2018.
39. BRASIL. Câmara Municipal de São Paulo. Lei No. 16.499, de 20 de julho de 2016. Dispõe sobre a elaboração do Mapa do Ruído Urbano da Cidade de São Paulo e dá outras providências. 2016.
40. VASCONCELOS, D. B.; BRASILEIRO, T. C.; ARAÚJO, B. C. D.; NUNES, A. M. L. A.; SILVA, M. F. da; ALVES JÚNIOR, J. **Mapeamento acústico: análise do ruído urbano no bairro do Centro em Arapiraca-AL**. XXVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica SOBRAC, Porto Alegre. **Anais...** GALOÁ, 2018.
41. FERNANDES, W. C.; NIEMEYER, L.; FAGERLANDE, G. **Mapeamento sonoro como ferramenta para análise do ambiente sonoro no Corredor Cultural do bairro da Lapa, Rio de Janeiro**. XXVIII Encontro da SOBRAC. **Anais...** Porto Alegre: GALOÁ, 2018.
42. COSTA, J. A. C.; CARVALHO JUNIOR, E. B. de; GARAVELLI, S. **Impacto ambiental sonoro decorrente da operação de aeronaves no aeroporto de Santos Dumont – Rio de Janeiro**. XXVII Encontro da



Sociedade Brasileira de Acústica SOBRAC, Porto Alegre. **Anais...** GALOÁ, 2018.

43. AMARILLA, R. S. D.; AVELAR, M.; RIBEIRO, R. S.; CATAI, R. S.; SOUSA, R. P.; MATOSKI, A.; Modelagem Acústica: Processo de avaliação de poluição sonora em um campus universitário na cidade de Curitiba - Paraná. XXVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica SOBRAC, Porto Alegre. **Anais...** GALOÁ, 2018

44. OLIVEIRA, A. L. de; NUNES, M. A. de A. Mapeamento acústico e avaliação do impacto do ruído de tráfego veicular no campus Gama – Universidade de Brasília. XXVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica SOBRAC, Porto Alegre. **Anais...** GALOÁ, 2018.

45. VAIDOTAS, R.; BELDERRAIN, M. L. R. Estudo de impacto sonoro ambiental de uma lavra a céu aberto. XXVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica SOBRAC, Porto Alegre. **Anais...** GALOÁ, 2018.

46. ZANONI, G. P.; CARDOSO, C. A. Estudo de ruído emitido pela via férrea na cidade de São Carlos – SP. XXVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica SOBRAC, Porto Alegre. **Anais...** GALOÁ, 2018.

47. SANTOS, D. R. dos; SILVA, S. F. S. da; SILVA, F. B.; VILLIS, P. Elaboração de um mapa acústico para a cidade de São Luís/MA utilizando geotecnologia. XXVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica SOBRAC, Porto Alegre. **Anais...** GALOÁ, 2018.

48. BRASILEIRO, T.; ARAÚJO, V.; ARAÚJO, B. Estudo piloto do mapa de ruído de tráfego veicular da área de influência da Rodovia Transamazônica (BR 230) na região metropolitana de João Pessoa/PB. XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e XI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** João Pessoa: 2019

49. BUFFON, I. C. T.; BORGES, E. F. T.; BRASILEIRO, T. DA C. Análise da inserção das variáveis acústicas como instrumentos de gestão urbana, estudo de caso: Cáceres-MT. XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e XI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** João Pessoa: 2019.

50. FERNANDES, R. P. L.; ROLIM, L. M. de A.; ANDRADE, J. V. L. de; BRASILEIRO, T. da C.; COSTA, J. M. da S. Metodologia para elaboração de mapas de ruído: Aplicação na escala bairro. 4º Congresso Nacional de Construção de Edifícios. **Anais...** João Pessoa: 2019.

51. MORAIS JÚNIOR, J. E. S. de; BRASILEIRO, T. da C.; MARQUES, D. L. A. M.; MAIA, E. Y. de M. M.; FELIX, J. R. B.; SILVA, M. C. de S. S.; SARMENTO, P. V. F. Forma urbana e condições de conforto termo-acústico: Estudo no bairro de Capim Macio em Natal/RN. Anais do XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e XI Encontro Latino-

Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** João Pessoa: 2019.

52. SILVA, N.; VIEIRA, S.; BRASILEIRO, T.; MORAIS, J. C.; ARAÚJO, B. ARAÚJO, V. Mapa do ruído de tráfego veicular no bairro do Bessa, em João Pessoa/PB. XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e XI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** João Pessoa: 2019.

53. SOUZA, A. C.; BRASILEIRO, T. C.; BORGES, E.; ARAUJO, B. C. D.; ARAÚJO, V. Influência das condicionantes físico-ambientais na propagação do ruído de tráfego rodoviário: Estudo comparativo entre as Rodovias BR 163 e BR 230. XV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e XI Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** João Pessoa: 2019.

54. BRASILEIRO, T. C.; ALVES, L. R.; ARAUJO, R. O.; FLORENCIO, D. N. P.; ARAÚJO, V. M. D.; ARAUJO, B. C. D. Concentration mapping of noise pollution complaints in João Pessoa/PB between 2012 and 2015. 22nd International Congress on Acoustics ICA 2016, Buenos Aires - Argentina. **Proceedings...** 2016.

55. ALVES, L. R.; BRASILEIRO, T. C.; ARAUJO, R. O.; FLORENCIO, D. N. P.; ARAÚJO, V.; ARAÚJO, B. Concentration mapping of noise pollution complaints in Natal/RN between 2012 and 2015. 22nd International Congress on Acoustics ICA 2016, Buenos Aires - Argentina. **Proceedings...** 2016.

56. ALVES, L. R.; BRASILEIRO, T. C.; ARAUJO, R. O.; FLORENCIO, D. N. P.; FIRMINO, L.; ALMEIDA, C.; ALENCAR, B.; OITICICA, M. L. G. R.; ARAÚJO, V.; ARAÚJO, B. Comparison of noise pollution complaints concentration mapped in three capitals of Brazilian Northeast. 22nd International Congress on Acoustics ICA 2016, Buenos Aires - Argentina. **Proceedings...** 2016.

57. PROACÚSTICA (São Paulo). Associação Brasileira Para A Qualidade Acústica. **Mapa Piloto SP | Mapa de Ruído Urbano - INAD SP 2019**. 2018. Disponível em: <<http://www.mapaderuidosp.org.br/mapa-de-ruído/mapa-piloto-sp/>>. Acesso em: 22 dez. 2019.

*(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)*

# Acústica: visão do docente sobre a elaboração de projetos e o impacto na saúde auditiva

Mariz, V. F.<sup>1</sup>; Araújo, C. S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fonoaudióloga. Especialista em Audiologia Clínica pelo Conselho Federal de Fonoaudiologia. Mestre em Ciências da Saúde pela Universidade Federal de Minas Gerais. Docente. vanessamariz@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Fonoaudióloga. camilaroosevelt@gmail.com

## Resumo

O ruído é um dos agentes nocivos mais comuns encontrados no ambiente, em que a exposição contínua e prolongada pode gerar efeitos auditivos e extra-auditivos. Para minimizar estes efeitos no indivíduo, faz-se necessário o desenvolvimento de projetos acústicos, com o objetivo de diminuir as fontes geradoras de ruídos. Apesar de a acústica ser uma área bem difundida, de fato, poucas medidas ainda são implantadas. O objetivo foi investigar se a acústica é considerada na elaboração de projetos por Engenheiros e Arquitetos, tendo em vista a importância da atenuação do ruído para conforto, prevenção das perdas auditivas e minimização de custos nas medidas coletivas de controle do ruído. O estudo foi realizado por meio da aplicação de um questionário que foi elaborado exclusivamente para essa pesquisa. Responderam ao questionário docentes Engenheiros e Arquitetos de um centro universitário de Belo Horizonte. Durante a análise das respostas foi observado que 60% dos sujeitos consideraram a acústica e o conforto acústico na elaboração dos seus projetos; 40% consideraram a atenuação do ruído para prevenção de perdas auditivas, bem como os coeficientes de atenuação do ruído dos materiais escolhidos; e 30% referiram elaborar seus projetos considerando a acústica sob uma perspectiva de diminuição de custos nas medidas coletivas de controle do ruído. Tais números instigam reflexões sobre como o conteúdo da acústica pode ser mais explorado em outras áreas que dialogam com a Fonoaudiologia, na perspectiva da diminuição de custos de controle coletivo, no incentivo a programas de promoção da saúde auditiva e na inclusão do conteúdo no ensino dos profissionais da área.

**Palavras-chave:** acústica, ruído, audição, engenharia, projetos.

**PACS:** 43.10.Nq, 43.10.Sv, 43.64.Wn, 43.66.Ed, 43.66.Vt.

**Acoustics: docent's perspective on project development and the impact on hearing health**

## Abstract

Noise is one of the harmful agents most commonly found in the environment, in which continuous and protracted exposure may cause auditory and extra-auditory effects. To mitigate those effects on the individuals, it is necessary to develop acoustic projects aimed at reducing the noise sources. Despite acoustic being a well-known field, in fact, only few acoustic measures are yet implemented. The aim of this work is to investigate whether acoustics is taken into consideration by Engineers and Architects in the development of their projects, in view of the importance of noise attenuation for comfort, prevention of hearing losses and reduction of costs in collective measures for noise control. The study was carried out by conducting a survey developed exclusively for this research. Respondents to the survey were Engineer and Architect teachers from a university centre located in Belo Horizonte. During the analysis of the data collected, it was found that 60% of the respondents took acoustics and acoustic comfort into consideration when developing their respective projects; 40% took both noise attenuation for the prevention of hearing losses and the noise attenuation coefficients of the selected materials into account; and 30% responded that they consider the acoustics in their projects under the perspective of cost reduction in the collective measures for noise control. Those numbers raise reflections on how the contents of acoustics can be better explored in other areas that dialogue with Speech Therapy, from the standpoint of reducing the costs of collective control, encouraging hearing health promotion programs and the inclusion of the subject-matter in the education programs for the professionals in the field.

**Keywords:** acoustics, noise, hearing, engineering, projects.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), a poluição sonora é a terceira maior causa de poluição em todo o mundo [1]. A OMS também estima que 28 milhões de brasileiros possuam alterações ligadas à audição. Dentre as perdas auditivas, 30 a 35% dos casos de perda de audição ocorrem em consequência da exposição a ruídos diariamente [1].

## 2. FUNDAMENTOS

O impacto da industrialização, o crescimento das cidades e a ampliação do número e consequentemente do acesso aos transportes contribuíram para o aumento da exposição a sons desagradáveis e de altas intensidades, que podem provocar desde desconforto até alterações auditivas importantes Cohen e Castillo [2].

### 2.1 Ruído Ocupacional

O ruído é um dos agentes físicos nocivos mais comuns encontrados em ambientes de trabalho [3]. Estudos citam que a exposição contínua e prolongada ao ruído pode determinar grande impacto nos trabalhadores além da perda auditiva, tais como fadiga, estresse, diminuição da atenção, sintomas gástricos, ansiedade, aumento do tempo para a produção, diminuição da qualidade do produto final, além de desmotivação e baixo desempenho laboral [3–5].

Para minimizar a incidência de sintomas auditivos e extra-auditivos em trabalhadores, torna-se indispensável o reconhecimento e a avaliação de riscos ambientais para a audição, a adoção das medidas de proteção coletivas, de engenharia e administrativas, assim como a proteção individual acompanhada de ações de educação e motivação para preservação da saúde, além do monitoramento e gerenciamento audiológico [6,7].

Os impactos do ruído no ambiente de trabalho já são conhecidos, por isso, foram criadas normas regulamentadoras pelo Ministério do Trabalho e Emprego, com objetivo de

minimizar ou eliminar os problemas e conflitos causados pelo ruído, seja na fonte geradora, na trajetória do som da fonte até trabalhador e, claro, no próprio trabalhador. A regulamentação sobre os limites de tolerância ao qual o trabalhador pode ficar exposto sem prejuízo à audição é descrita na NR15 [8], e o limite de exposição é determinado quanto ao tipo de ruído – que pode ser contínuo, intermitente ou de impacto – e ao tempo e intensidade de exposição [8].

A elaboração computacional de mapas de ruído também é uma ferramenta importante para a gestão ambiental dos níveis de ruído, que pode evidenciar o cumprimento ou o descumprimento das normas regulamentadoras aplicáveis, para fins de certificação ambiental e para definição de planos de ação de redução de ruído [9]. Os Equipamentos de Proteção Individual (EPI) auditivos já são amplamente conhecidos e indicados sempre que houver a presença do risco ruído na atividade, ou, ainda, quando o ambiente de trabalho apresenta ruídos acima dos limites de tolerância observados na legislação [10].

### 2.2 Ruído ambiental

Em nível federal, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, órgão federal estratégico vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, é a instituição responsável pela regulamentação de critérios e padrões de emissão de ruídos. Por meio da Resolução nº. 01, de 08 de março de 1990, o CONAMA estabeleceu que a emissão de sons e ruídos em decorrência de atividade industrial, comercial, social ou recreativa, inclusive as de propagandas, deve obedecer, no interesse da saúde, da segurança e do sossego público, aos padrões no ambiente exterior, segundo valores estabelecidos na NBR 10.151 [11]. No interior de recintos, estabelece que o ruído não deve ultrapassar os níveis permitidos pela Norma NBR 10.152 [12], que seguem parâmetros normatizados para conforto acústico ambiental em relação à poluição sonora [12,13].

## 2.3 Objetivo

Apesar de a acústica já ser uma área bastante difundida e os impactos do ruído serem conhecidos, percebe-se ainda pouco investimento nas medidas de controle do ruído [14]. Acredita-se que esse trabalho pode instigar discussão não apenas para o conforto acústico, mas para a preservação da saúde frente aos desgastes impostos pela ausência de controle de ruídos na sociedade em geral.

Portanto, o objetivo deste estudo foi verificar se durante a elaboração de projetos a acústica foi considerada na perspectiva da importância da atenuação do ruído para conforto, prevenção de perdas auditivas e diminuição de custos nas medidas coletivas de controle de ruído.

## 3. MÉTODO

Estudo transversal, descritivo, de caráter exploratório, que foi desenvolvido em um Centro Universitário do município de Belo Horizonte e foi submetido à apreciação pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP). A pesquisa foi aprovada pelo CEP por meio do CAAE: 70745417.8.0000.5096. Os autores comprometeram-se a utilizar as informações coletadas somente para fins científicos, mantendo os dados dos participantes sob sigilo.

A amostra proposta foi não probabilística, ou seja, a seleção da amostra foi por grupo focal, considerando a totalidade dos Engenheiros e Arquitetos docentes atuantes dos cursos de Engenharia Ambiental e Sanitária, Engenharia Civil, Engenharia da Computação, Engenharia de Produção e Arquitetura e Urbanismo de um Centro Universitário do município de Belo Horizonte, no período de agosto a outubro de 2017.

O estudo foi feito por meio da aplicação de um questionário elaborado exclusivamente para essa pesquisa. O questionário possuía 9 questões de múltipla escolha, quando o sujeito respondesse “sim” ele poderia justificar sua resposta, caso achasse conveniente. Responderam ao questionário docentes

Engenheiros e Arquitetos de um centro universitário de Belo Horizonte, com questões de múltipla escolha.

O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e o questionário foram enviados por meio de um *link* para o e-mail institucional dos referidos docentes, que concordaram em participar do estudo. Foram excluídos deste estudo os docentes que, embora lecionando nesses cursos, julgaram-se incapazes ou impedidos de responder às questões ou que não realizassem projetos como rotina em sua prática profissional.

Decidiu-se pela coleta de dados online, para facilitar o contato com os participantes, além de permitir que o participante escolhesse o melhor momento para preencher o instrumento, assegurando mais espontaneidade e adesão à pesquisa.

Os e-mails, o questionário e o TCLE foram disponibilizados após autorização da coordenação do Núcleo de Artes e Tecnologia que rege os cursos de Engenharias e Arquitetura e Urbanismo. Obteve-se o risco de os envolvidos nessa pesquisa serem identificados, o que poderia resultar em exposição dos sujeitos. Para evitar tal risco, o e-mail institucional foi enviado como cópia oculta. Os benefícios consistiram na colaboração com material científico capaz de revelar como a acústica é considerada na elaboração de projetos por estes profissionais, além de permitir reflexão sobre o conceito na prática profissional e na docência.

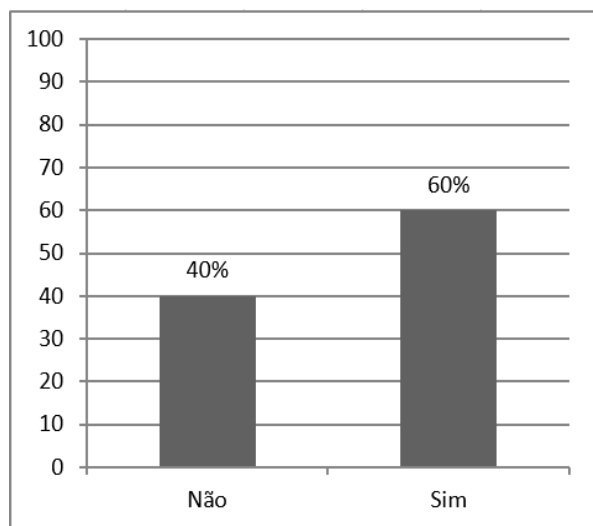
Foi utilizado método de análise dos números (frequências absolutas) e porcentagens (frequências relativas)

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram enviados para os e-mails o *link* do questionário e o TCLE, totalizando 48 e-mails enviados. De acordo com os dados coletados na pesquisa, 13 docentes acessaram o questionário e 10 responderam-no completamente. O baixo índice de respostas coletadas pode ser

explicado possivelmente pelo critério de exclusão da pesquisa, na medida em que nem todos os docentes dos cursos podem ter a realização de projetos como rotina em sua prática profissional.

De acordo com os resultados apresentados na Figura 1, 60 % dos sujeitos responderam que consideram o planejamento acústico na elaboração dos seus projetos, tendo sido relatado, no campo destinado aos comentários do questionário, que são seguidos os parâmetros preconizados pela NBR 15575, essa norma aborda o desempenho de edificações, ao todo, existem três grupos de requisitos: segurança, sustentabilidade e habitualidade, dentro do tópico habitualidade existem sete requisitos a serem cumpridos, ao qual, um deles diz respeito ao desempenho acústico, que exige adequações a serem feitas para obter o conforto para aqueles que irão usufruir [15]. Observou-se ainda, que são consideradas as características de condicionamento e isolamento acústico e a possibilidade de atender propriedades acústicas no projeto de maquinários.

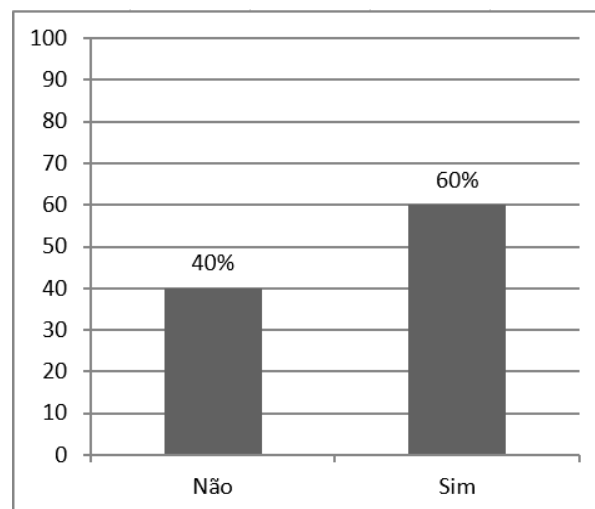


**Figura 1:** Percentual dos sujeitos que consideraram a acústica na elaboração dos seus projetos.

De acordo com os dados relatados, os sujeitos que justificaram sua resposta no campo destinado aos comentários, percebe-se que os mesmos realizam seus projetos, em sua maioria, para cumprir normas e legislações.

Considerar a acústica na elaboração de projetos para cumprir normas e legislações é um fator importante de se apreciar, mas é preciso ter em vista outros fatores concomitantes a isso. É fundamental, que se reflita e, de fato, se cumpra a legislação tendo em vista os benefícios à saúde e o bem-estar dos indivíduos que irão usufruir do produto final dos projetos que a acústica é considerada.

Na análise da Figura 2, observa-se que 60% dos entrevistados consideraram os níveis de ruído para melhorar o conforto acústico. No espaço destinado aos comentários, houve relatos de uso de materiais que reduzem ou minimizam os ruídos, seja em forros, paredes, ou em outros elementos, com consideração a cada equipamento a ser projetado, sempre visando adaptar os ambientes de projeto aos preceitos normativos de regulação.



**Figura 2:** Percentual dos sujeitos que consideraram os níveis de ruído para conforto acústico.

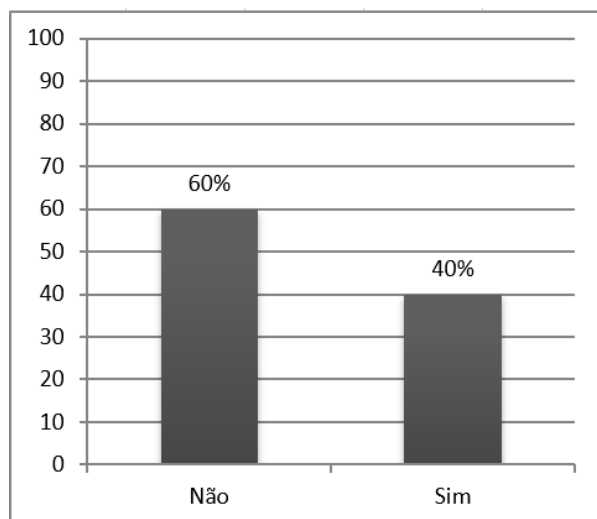
A conexão entre a Acústica, a Engenharia e a Arquitetura se dão na adequação do melhor aproveitamento do espaço, quando se busca a qualidade de sua ocupação. A relação se dá através dos projetos estruturais esboçados, do planejamento das dimensões e funcionalidade, associadas ao conforto ambiental e ao prazer na vivência de sua ocupação, no ambiente ocupacional ou particular, Barreira e Carvalho [16]. A NBR 10152 [12] estabelece os níveis de pressão sonora considerados de conforto

acústico no ambiente construído.

Quando se refere a conforto acústico, é necessário considerar os limites em decibel, que precisam ser respeitados para a preservação da saúde auditiva, tornando o ambiente acusticamente adequado e agradável ao indivíduo. Trata-se de uma sensação de tranquilidade que se caracteriza pela ausência de sons indesejados ou pela realização de atividades acústicas que não incomodem a si nem aos outros, necessário em ambientes destinados ao repouso ou ao trabalho, Catai et al. [17]

A importância de se considerar o conforto acústico na elaboração dos projetos é de promover aos indivíduos, além do bem-estar, benefícios na qualidade de vida, saúde e minimização dos sintomas auditivos e extra-auditivos, provocados pela exposição ao ruído, Catai et al. [17] apud Vianna e Ramos [18].

A Figura 3, apresenta que 60% dos sujeitos não consideraram a atenuação do ruído para prevenção de perdas auditivas e os coeficientes de atenuação dos materiais escolhidos na elaboração dos seus projetos.



**Figura 3:** Percentual de sujeitos que consideraram a atenuação do ruído para prevenção de perdas auditivas e os coeficientes de atenuação do ruído dos materiais escolhidos.

O avanço da urbanização, industrialização e

mecanização dos processos levou, principalmente nas grandes cidades, ao aumento da exposição do homem aos ruídos e às vibrações e conseqüentemente ao aumento de diversos riscos à sua integridade física e psicológica, seja em casa, no ambiente de trabalho ou social Cohen e Castillo [2]. A OMS alerta que um ambiente ruidoso acarreta prejuízos ao desempenho humano e causa danos à saúde geral do indivíduo. Os efeitos observados vão desde fadiga, nervosismo, reações de estresse, ansiedade e falhas de memória até irritabilidade laboral [3–5].

A exposição ao ruído é também o responsável pela causa mais comum de zumbido, sendo este considerado o terceiro pior sintoma que pode acometer o ser humano Sanchez et al. [19]. Não há tratamento clínico para restaurar a audição perdida. Desta forma, adotar medidas de prevenção que visem, pelo menos, estacionar as perdas auditivas em progressão e interferir decisivamente contra o surgimento de novos casos é uma alternativa positiva para evitar danos futuros no bem-estar do indivíduo [20].

Apesar da preocupação desses profissionais em minimizar o ruído na elaboração dos seus projetos, percebe-se que nos resultados descritos na Figura 3, a maioria dos sujeitos da pesquisa não considera os coeficientes de atenuação do ruído dos materiais escolhidos, fato que é uma variável importante para se obter a fidedignidade acústica dos projetos seja para condicionamento acústico ou isolamento acústico.

Engenheiros e Arquitetos possuem papéis fundamentais, quando o objetivo é promover isolamento acústico ou condicionamento acústico. A função desenvolvida por esses profissionais, envolve os campos de consultoria, fiscalização, produção industrial e serviços, além de pesquisa e desenvolvimento tecnológico na elaboração de projetos acústicos, ruído de equipamentos, planejamento público e transporte [21].

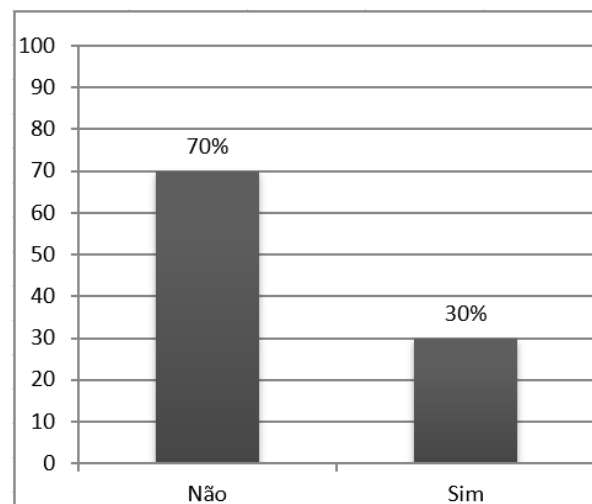
A escolha e a maneira da disposição do material variam de acordo com a pretensão do

projeto, que pode ser de corrigir, reduzir ou eliminar o ruído, no caso de isolamento acústico. Pois na fase dos projetos especificamente, a adequação acústica pode ser possível por meio de simulações do isolamento acústico e do tempo de reverberação em que deve ser considerada a área dos elementos construtivos a serem isolados, os índices de isolamento e da atenuação dos componentes que constituem esses elementos, a intensidade do som a ser isolado e as frequências das ondas que compõem esse som. Quando se fala do tempo de reverberação também, deve-se considerar o volume interno do ambiente, o número de pessoas que o utilizam, a capacidade de absorção de todas as superfícies no local, as atividades desenvolvidas no ambiente e as frequências do som produzido em seu interior, pois os objetivos são variáveis de acordo com de cada ambiente Catai et al. [17].

Para falar de condicionamento acústico é fundamental que o estudo do comportamento acústico de espaços fechados, conheça suas características físicas, propriedades acústicas, quantidade e posicionamento dos materiais com que foram construídos, dos que os revestem, a orientação e quantidade das aberturas, além do comportamento do som e a finalidade do espaço Catai et al. [17]. Quanto aos resultados descritos na Figura 4, apenas 30% dos profissionais elaboraram seus projetos considerando a acústica numa perspectiva de diminuição de custos nas medidas coletivas de controle do ruído.

Os resultados descritos na Figura 4, mostram um baixo índice de resposta dos profissionais que elaboraram seus projetos considerando a acústica sob a perspectiva de diminuição de custos nas medidas coletivas de controle de ruído, sendo estas, legislações trabalhistas impostas pelo Ministério do Trabalho e Emprego, cada vez mais incorporado nas empresas. Como consequência disso, Santos (1999) menciona que o absenteísmo, a cefaleia e a alta incidência de acidentes de trabalho são consequências da exposição prolongada ao ruído [22]. O custo social envolvido torna-se bastante elevado, pois profissionais deixam de

exercer a sua profissão e a produção pode ser diminuída como consequência. Nas medidas coletivas de controle do ruído, para adequar um maquinário, ou nas medidas de controle individual, distribuição e troca periódica dos protetores auditivos, existe um investimento considerável para a realização destes.



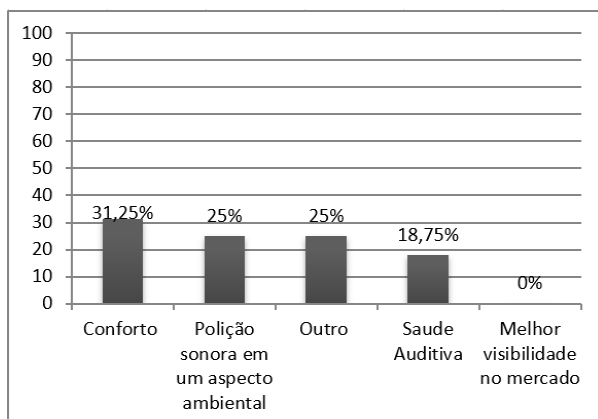
**Figura 4:** Percentual de sujeitos que elaboraram seus projetos considerando a acústica sob a perspectiva de diminuição de custos nas medidas de controle coletivo.

Silva (1991) cita que o atendimento às condições acusticamente adequadas para o trabalhador redundam na diminuição de faltas, por doenças ou acidente, com consequente aumento da produtividade [23]. Devida a esses fatos, tais custos poderiam ser minimizados caso o planejamento acústico seja o fator relevante no projeto de maquinários. Pensar na minimização de custos nas medidas coletivas de controle do ruído é um ganho importante para empresas que utilizam maquinários em seus processos industriais, um ganho em diminuição de gastos com tais medidas e também em saúde auditiva para o trabalhador.

A Figura 5 apresenta o percentual hierárquico dos aspectos em que a acústica é considerada na elaboração dos projetos. Observa-se que, em ordem decrescente, os sujeitos abordaram a acústica na elaboração dos projetos em relação ao conforto acústico (31,25%), à poluição sonora (25%) e na perspectiva da saúde auditiva (18,75%). Não foi considerada



a visibilidade de mercado quanto à acústica nos projetos.



**Figura 5:** Percentual hierárquico dos aspectos da acústica que foram considerados na elaboração dos projetos pelos sujeitos da pesquisa.

No grupo de Engenheiros e Arquitetos pesquisados, a acústica é levada em consideração na elaboração de seus projetos, tendo em vista os níveis de ruído para conforto acústico para o cliente, vinculando as normas descritas pela NBR 10152 [12]. Em segundo plano, os sujeitos que realizaram a pesquisa consideram a poluição sonora em um aspecto ambiental. O órgão responsável pelo estabelecimento das normas relativas a esse aspecto é o CONAMA, que, visando à preservação da saúde e ao bem-estar da população, instituiu, por meio da Resolução nº 002/1990, o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – Silêncio. Esse Programa tem como objetivo, dentre outros, incentivar a fabricação e o uso de produtos que não emitam quantidades de ruído nocivos à saúde [24]. O tópico outros não foi descrito.

A saúde auditiva foi considerada hierarquicamente o mais inferior índice nas respostas obtidas da Figura 5. Ainda existe um número elevado de perdas auditivas causadas por ruído e a PAINPSE é uma das doenças ocupacionais mais prevalentes Leão e Dias [25], de acordo com dados da OMS estima-se que um bilhão de pessoas entre 12-35 anos irão perder a audição devido à exposição a ruídos em momentos recreativos.

Em diversas ocasiões, talvez a saúde auditiva

pode não ser levada em conta devido ao impacto financeiro que um estudo detalhado na elaboração de um projeto acústico pode proporcionar, ou ainda desconsiderarem, simplesmente, pela falta de fiscalização efetiva, a qual é prevista pelas legislações trabalhistas e ambientais, este déficit pode acarretar uma situação confortável para negligenciar a elaboração de projetos acústicos, sem análise específica dos impactos, na saúde daqueles que estão expostos continuamente.

A saúde auditiva precisa ser considerada como prioridade, na elaboração de um projeto acústico, pois a minimização dos impactos causados pelo ruído reflete em diminuição e perdas auditivas induzidas por níveis de pressão sonora elevados, que consequentemente pode ser um ganho financeiro para o profissional que realiza seus projetos considerando a acústica, pois a visibilidade dos produtos que já são preparados acusticamente pode ser prioridade de escolha pelas indústrias, já que os mesmos visam em cumprir normas e legislações trabalhistas. Apesar do aspecto de visibilidade no mercado não ter sido considerado hierarquicamente é importante refletir no alcance que a qualidade do projeto elaborado acusticamente traz benefícios a todos.

## 5. CONCLUSÕES

Pensar em mudanças estruturais que visam minimizar os efeitos do ruído pode gerar impacto crucial na saúde de todos. É importante considerar a acústica como tendência, e não atender somente os aspectos relacionados ao conforto acústico e cumprimento de legislações trabalhista e ambientais, mas também refletir sobre a saúde auditiva e sobre a possibilidade/viabilidade de diminuição de custos em medidas coletivas de controle do ruído.

Os resultados da pesquisa provocam reflexões importantes sobre como o conteúdo pode ser ainda mais explorado tanto na elaboração de projetos, na perspectiva da diminuição de custos de controle coletivo e de programas de

promoção da saúde auditiva, assim como no ensino dos profissionais da área da Engenharia e Arquitetura. Uma possível abordagem poderia ser a promoção de palestras e programas educacionais de conscientização para profissionais da área de elaboração de projetos, tendo a saúde auditiva como foco, a fim de refletir naqueles que estão continuamente expostos ao ruído.

## 1. REFERÊNCIAS

1. LIMA, P.R. de. *Centro de convivência do deficiente auditivo*. 2014. 66 f. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Arquitetura e Urbanismo). Presidente Prudente: Universidade Estadual Paulista, 2015.
2. COHEN M.A.; CASTILLO O.S. *Ruído en la ciudad. Contaminación auditiva y ciudad caminable*. Estud. demogr. urbanos, México, v. 32, n. 1, p. 65-96, abr. 2017. Disponível em <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-72102017000100065&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-72102017000100065&lng=es&nrm=iso)>. Acesso em 09 maio 2017.
3. MAIA, P.A. *O ruído nas obras da construção civil e o risco de surdez ocupacional*. Dissertação (Engenharia Civil). Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1999. 145 p.: il. Cap. 1, p. 21, 38.
4. AMARAL, B.V. do. *Incidência de perda auditiva induzida por ruído ocupacional entre trabalhadores de uma mineradora e pelotizadora de minério de ferro*. 2014. Tese (Doutorado em Ciências). São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina.
5. MEDEIROS, L.B. *Ruído: Efeitos extra-auditivos no corpo humano*. 1999. 36 f. Monografia, Especialização (Curso de Audiologia Clínica). Porto Alegre: Centro Educacional Face de Cristo (Cefac), 1999.
6. BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. *Portaria 19 Anexo I. Diretrizes e parâmetros mínimos para avaliação e acompanhamento da audição em trabalhadores expostos a níveis de pressão sonora elevados*. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1998. Acesso em: 11 mai. 2017.
7. BRASIL. Decreto nº 2.172, de 05 de agosto de 1998. *Ordem de Serviço INSS/daf/dss Nº 608*. Brasília. Acesso em: 12 mai. 2017.
8. BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 15. *Atividades e operações insalubres*, 2011 a. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2011 a. Acesso em: 11 mai. 2017.
9. BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 09. *Programa de prevenção de riscos ambientais*. 2014 a. Acesso em: 11 mai. 2017.
10. BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 06. *Equipamento de proteção individual – EPI 2006 a*. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1996. Acesso em: 11 mai. 2017.
11. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: 2000. *Acústica – avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento junho de 2000*. Disponível em: <<http://www.sema.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/NBR-10151-de-2000.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2017.
12. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 10.152:1987. *Acústica–avaliação do ruído ambiente em recintos de edificação visando o conforto dos usuários – Procedimento*. ABNT, Rio de Janeiro; 1987. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/esportes/norma%20abnt%2010152.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2017.
13. BRASIL, CONAMA. Resolução 001/90, de 02 de abril de 1990. *Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=98>. Aceso em: 16 nov. 2017.
14. MORAIS, L.R. de. *Prevenção de perda auditiva induzida por ruído: modelo de programa básico*. 2000. 138 f. Dissertação (Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo). Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2000.
15. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 15.575. *Edificações habitacionais – Desempenho*. ABNT, Rio de Janeiro; 2013.
16. BARREIRA, C.C.S.; CARVALHO, A.P.O. *A realidade portuguesa do conforto em instalações de Fitness.: O que mudar?*. Motri., Santa Maria da Feira, v. 3, n. 2, p. 69-80, abr. 2007. Disponível em <[http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1646-107X2007000200013&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1646-107X2007000200013&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em 11 nov. 2017.
17. CATAI R.E.; PENTEADO A.P.; DALBELLO, P.F., *Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico*, Foz do Iguaçu, 2006. Disponível em: <<http://www.ceap.br/material/MAT12032009181855.pdf23/10/17>>. Acesso em: 23 out. 2017.
18. VIANNA, N.S.; RAMOS, J.O. *Acústica arquitetônica & urbana*. Apostila do Curso de Extensão em Arquitetura e Urbanismo da Empresa YCON. 2005, 79 p.

19. SANCHEZ, T.G.; BENTO R.F.; MINITI A.; CÂMARA J. *Zumbido: características e epidemiologia. Experiência do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo*. Rev Bras Otorrinolaringologia 1997; 63:229-35. Disponível em: <<http://oldfiles.bjorl.org/conteudo/acervo/acervo.asp?id=1896>>. Acesso em: 21 out. 2017.
20. BRASIL. Ministério da Saúde. *Doenças relacionadas ao trabalho: manual de procedimentos para os serviços de saúde*. Brasília: Ministério da Saúde, 580p., 2001. Disponível em: <<http://www.fiocruz.br/biosseguranca/Bis/manuais/seguranca%20e%20saude%20no%20trabalho/Sausedotrabalhador.pdf>>. Acesso em: 11 mai. 2017.
21. CARVALHO, R.P. In: Introdução. *Acústica Arquitetônica*. 2. ed. Brasília: Thesaurus, 2010. Cap. 1, p. 19-21.
22. SANTOS, U. *Ruído: Riscos e Prevenção*. 3a ed. São Paulo: Editora Hucitec, 1999. Cap. 4. p. 43-54.
23. SILVA, P. *Os efeitos “pernilongo e cascata”*. Revista Acústica e Vibrações. vol. 9 jun/1991. p. 19-25.
25. BRASIL, CONAMA. Resolução 002/90, de 08 de março de 1990. *Dispõe sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – SILÊNCIO*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 16 nov. 2017.
25. LEÃO, R.N.; DIAS, F.A.M. *Perfil audiométrico de indivíduos expostos ao ruído atendidos no núcleo de saúde ocupacional de um hospital do município de Montes Claros, Minas Gerais*. Rev. CEFAC [online]. 2010, vol.12, n.2, pp.242-249. ISSN 1516-1846. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-18462010000200010>>

*(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)*

# Tubo de impedância para baixas frequências: construção e validação

Thomazelli, R.<sup>1</sup>; Bertoli, S. R.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP  
rodolfo.thomazelli@gmail.com, rolla@fec.unicamp.br

## Resumo

Para a determinação dos coeficientes de absorção sonora de materiais acústicos existem métodos consagrados, como os empregados em câmara reverberante e em tubo de impedância. Para o desenvolvimento de materiais de absorção sonora, os métodos empregados em tubo de impedância – dentre os quais se destacam o de onda estacionária e o de função de transferência – são mais vantajosos por necessitarem de amostras comparativamente menores. O método de função de transferência é considerado mais prático quanto aos processos de medição pois permite a obtenção do coeficiente de absorção sonora sob uma faixa contínua de frequência. Os autores do presente artigo estão desenvolvendo pesquisa acerca de absorvedores de Helmholtz para atuar em frequências inferiores a 100 Hz. Devido as particularidades do objeto, para a respectiva caracterização acústica foi necessário construir um tubo de impedância configurado a fim de receber o método da função de transferência, e apto a atender as dimensões das amostras e a faixa de frequências almejadas. Esse artigo tem com objetivo apresentar os fundamentos teóricos e os requisitos técnicos que foram utilizados no desenvolvimento do aparato, bem como o respectivo processo de construção. Consta também no artigo o processo de validação do aparato, com o qual mostrou-se que o mesmo fornece resultados com desvio médio de 1,9 Hz em relação a previsão de modelo teórico consagrado.

**Palavras-chave:** tubo de impedância, absorção sonora, baixa frequência, absorvedores de Helmholtz.

**PACS:** 43.58.-e,43.20.Ye,43.20.Mv,43.55.Ev,43.58.Bh.

## Low-frequency impedance tube: construction and validation

### Abstract

For the determination of the sound absorption coefficients of acoustic materials there are established methods, such as those employed in reverberant room and impedance tube. For the development of sound absorption materials, the impedance tube methods - such as standing wave and transfer function - are more advantageous because they require comparatively smaller samples. The transfer function method is considered more practical for measurement processes as it allows the sound absorption coefficient to be obtained over a continuous frequency range. The authors of this paper are developing research on Helmholtz absorbers to operate at frequencies below 100 Hz. Due to the peculiarities of the object, for its acoustic characterization it was necessary to construct an impedance tube configured to receive the transfer function method, and able to meet the dimensions of the samples and the desired frequency range. This article aims to present the theoretical foundations and technical requirements that were used in the development of the apparatus, as well as the respective construction process. Also included in the article is the apparatus validation process, which showed that the experiments provides results with an average deviation of 1,9 Hz in relation to the predicted theoretical model.

**Keywords:** impedance tube, sound absorption, low frequency, Helmholtz absorbers.

## 1. INTRODUÇÃO

A determinação do coeficiente de absorção sonora de elementos acústicos tem métodos consagrados. Para incidência sonora aleatória, os coeficientes de absorção sonora são determinados em câmara reverberante com o procedimento indicado na norma ISO 354 (2003) [1]. Para incidência sonora normal, os coeficientes podem ser obtidos com o uso de um tubo de impedância. Nesse caso, dois métodos principais podem ser aplicados: o método de onda estacionária descrito na norma ISO 10534-1 (2001) [2], e o método da função de transferência descrito na norma ISO 10534-2 (2001) [3].

Nota-se na literatura que a caracterização experimental de absorvedores acústicos ocorre frequentemente com ensaios em tubos de impedância [4–10]. Os principais motivos do uso desse tipo de aparato experimental são a praticidade oferecida por requerer amostras reduzidas, a disponibilidade comercial, e a eficácia dos dois principais métodos experimentais que podem ser aplicados, descritos brevemente a seguir.

O método da onda estacionária [2] baseia-se na medição das pressões máxima e mínima das ondas sonoras estacionárias formadas ao longo do tubo, com a amostra posicionada na extremidade oposta à da fonte sonora. A partir da razão de tais pressões, calcula-se o coeficiente de reflexão sonora e a impedância acústica (variáveis complexas), com o valor de fase obtido pelas distâncias entre as posições de pressão mínima e a superfície da amostra. Esta técnica é confiável, mas pode ser lenta quanto ao processamento dos dados, uma vez que deve ser feita frequência por frequência [11].

O método da função de transferência [3] faz uso de múltiplas medições de resposta em frequência em pontos discretos localizados ao longo do tubo, utilizando a função de transferência entre tais medidas para calcular o coeficiente de reflexão sonora. Com o coeficiente de reflexão, calcula-se a impedância de superfície e o coeficiente de absorção sonora da amostra. Esse método pode ser considerado mais eficiente em termos de processamento dos dados, pois for-

nece o coeficiente de absorção sonora sob uma faixa contínua de frequência [11].

A norma ISO 10534-2 (2001) indica que a faixa de frequências de atuação do tubo de impedância é limitada pelas suas dimensões, a saber: comprimento e diâmetro do corpo do tubo. O diâmetro por sua vez limita o tamanho da amostra a ser avaliada. Para quantificar tais dependências, pode-se tomar como exemplo o tubo comercial modelo 4206A da empresa *Briuel & Kjaer*, que permite a avaliação de amostras de absorvedores circulares, com diâmetro de 100 mm, para a faixa de frequências entre 100 Hz e 3200 Hz (informações disponibilizadas pelo fabricante<sup>1</sup>). Amostras maiores exigem tubos de seção transversal maiores, o que diminui a frequência máxima de atuação.

Os autores do presente artigo vêm desenvolvendo pesquisa que visa criar um protótipo sintonizável de absorvedor de Helmholtz para atuar de forma otimizada em frequências entre 20 e 300 Hz, que é a faixa na qual observa-se heterogeneidades espectral e espacial na resposta acústica de salas pequenas (volumes de até 60 m<sup>3</sup>), consequentes da formação dos modos acústicos. As geometrias propostas para as amostras do protótipo e a faixa de frequência desejada não são atendidas por tubos de impedância comerciais, de modo que foi necessário projetar e construir um tubo de impedância específico para a pesquisa. O presente artigo tem como objetivo apresentar e discutir o projeto, as etapas de construção e a validação do aparato desenvolvido.

## 2. PROJETO E CONSTRUÇÃO DO TUBO DE IMPEDÂNCIA

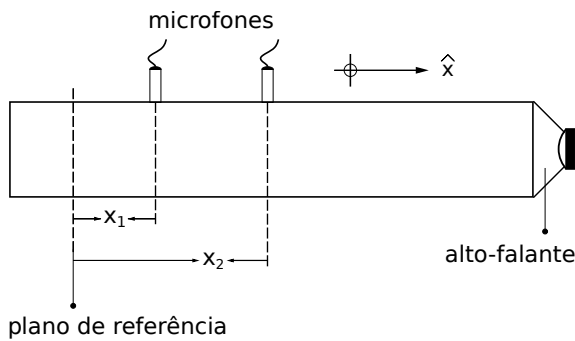
O desenvolvimento do tubo de impedância para baixas frequências contou com as seguintes etapas: projeto, na qual efetuou-se os estudos tanto da fundamentação teórica que rege o método da função de transferência, quanto dos requisitos técnicos aplicados aos objetivos do trabalho; e construção, na qual o projeto foi executado. Os detalhes do desenvolvimento de tais etapas são

<sup>1</sup>bksv.com, acesso em 15/11/2019.

descritos a seguir.

## 2.1 Fundamentação teórica

O método da função de transferência, escolhido pelos autores pelas vantagens já discutidas, norteou o projeto do tubo de impedância, que pode ser entendido de maneira geral como uma guia de onda em cujas extremidades são posicionadas a fonte sonora (auto-falante) e a amostra. Tal qual descrito na norma ISO 10534-2 (2001), o método demanda o uso de dois microfones atuando como transdutores acústicos, que devem ser posicionados às distâncias  $x_1$  e  $x_2$  do plano de referência (plano no qual devem ser posicionada a superfície da amostra sob análise), tal qual ilustra a Figura 1.



**Figura 1:** Ilustração esquemática do tubo de impedância, com indicação para as posições  $x_1$  e  $x_2$  dos microfones, para o plano de referência, e para a fonte sonora (alto-falante).

A pressão sonora  $p_I$  da onda incidente pode ser expressa por

$$p_I = p'_I e^{j k_0 x}, \quad (1)$$

enquanto a pressão sonora  $p_R$  da onda refletida pode ser expressa por

$$p_R = p'_R e^{-j k_0 x}. \quad (2)$$

Nas equações 1 e 2,  $p'_I$  e  $p'_R$  representam respectivamente as pressões da onda incidente e refletida no plano de referência, e  $k_0$  representa o número de onda (ou a constante de propagação). Considera-se que o regime dinâmico no

interior do tubo favoreça a propagação de ondas planas.

As pressões sonoras em  $x_1$  e  $x_2$  (posições dos microfones), portanto, podem ser dadas respectivamente por

$$p_1 = p'_I e^{j k_0 x_1} + p'_R e^{-j k_0 x_1}, \quad (3)$$

$$p_2 = p'_I e^{j k_0 x_2} + p'_R e^{-j k_0 x_2}. \quad (4)$$

A função de transferência  $H_{12}$  do campo acústico resultante é dada pela razão  $p_2/p_1$ . Sabendo que o coeficiente de reflexão  $r$  pode ser obtido por meio da expressão  $p'_R = r p'_I$ , pode-se escrever

$$H_{12} = \frac{p_2}{p_1} = \frac{e^{j k_0 x_2} + r e^{-j k_0 x_2}}{e^{j k_0 x_1} + r e^{-j k_0 x_1}}. \quad (5)$$

Isolando  $r$  na Equação 5, obtém-se a expressão

$$r = e^{2 j k_0 x_1} \frac{H_{12} - e^{-j k_0 s}}{e^{j k_0 s} - H_{12}}, \quad (6)$$

na qual  $s = x_1 - x_2$  é a distância entre os microfones. Assim, o coeficiente de absorção sonora  $\alpha$  do material pode ser expresso por

$$\alpha = 1 - |r|^2. \quad (7)$$

## 2.2 Requisitos técnicos

A princípio, um tubo de impedância pode apresentar qualquer formato de seção transversal, desde que essa seja constante e permita a propagação de ondas sonoras planas. A norma ISO 10534-2 (2001), por outro lado, restringe as possibilidades ao recomendar seções circulares ou retangulares, sendo essas últimas preferivelmente quadradas. Expõem-se a seguir as exigências técnicas desta norma para a construção

de um tubo de impedância retangular, que é o aparato experimental arbitrado para o trabalho.

Para garantir que as ondas sonoras se propaguem devidamente ao longo do tubo (caráter plano com o mínimo possível de perdas por viscosidade), suas superfícies internas devem ser suficientemente lisas, livres de rugosidade, porosidade ou perfurações (exceto na posição dos microfones). A seção transversal retangular deve manter a forma e a proporção constantes por todo o comprimento, sendo recomendados desvios máximos de 2 %. As paredes do tubo devem ser rígidas o suficiente para impedir perturbações acústicas via ressonância estrutural, sendo recomendadas espessuras de no mínimo 10 % da largura referente ao corte transversal. O aparato deve ser vibro-acusticamente isolado, a fim de impedir a interferência de vibrações e ruídos externos nas medições.

As dimensões do tubo dependem da faixa de frequência para a qual os ensaios são executados. A máxima largura  $d$  referente a seção transversal do tubo deve obedecer a inequação

$$d < 0,5 \lambda_u \rightarrow f_u d < 0,5 c_0, \quad (8)$$

na qual  $\lambda_u$  é o comprimento de onda relativo ao limite superior  $f_u$  da faixa de frequência, e  $c_0$  é a velocidade do som no meio. O espaçamento  $s$  entre os microfones, que deve ser conhecido com precisão de 2 mm, depende do limite superior da faixa de frequências, de acordo com a inequação

$$f_u s < 0,045 c_0. \quad (9)$$

O limite inferior  $f_l$  da faixa de frequências também impõe condições ao espaçamento entre os microfones, de acordo com a inequação

$$s > 0,05 \lambda_l \rightarrow f_l s > 0,05 c_0, \quad (10)$$

na qual  $\lambda_l$  é o comprimento de onda relativo a

$f_l$ . Vale ressaltar que o sistema de aquisição de dados deve ser sensível a faixa de frequências a ser analisada.

Tanto o alto-falante quanto a amostra criam ondas distorcidas (não planas) em suas proximidades, sendo que os microfones devem ser posicionados fora de tais regiões. Recomenda-se assim que  $x_2$  esteja a uma distância  $3d$  da extremidade na qual encontra-se o alto-falante, e que  $x_1$  esteja a uma distância entre  $d/2$  e  $2d$  do plano de referência, dependendo do tipo de amostra. Essas recomendações garantem a aquisição de sinais relativos somente às ondas planas, e determinam, em conjunto com a distância entre os microfones, o comprimento total do tubo.

Ambos os microfones, que devem ser sensíveis a pressão, devem ser do mesmo tipo e apresentar diâmetros  $d_m$  pequenos quando comparados a  $c_0 f$ , além de obedecerem a inequação  $d_m < 0,2s$ . A instalação dos mesmos deve ser procedida de forma a garantir isolamento entre o interior e o exterior do tubo, e a interferir o mínimo possível na superfície interior.

Tratando-se de tubos retangulares, recomenda-se que o espaço destinado a amostra seja integrado ao corpo do aparato. No caso, recomenda-se que a inserção das amostras se proceda longitudinalmente através de uma porta devidamente selada, permitindo assim o preciso ajuste ao plano de referência. O mesmo vale para a inserção do anteparo rígido que antecede a amostra.

O alto-falante deve ser acoplado ao tubo de maneira a preencher  $2/3$  da área interna da seção transversal. Para evitar que as ondas emitidas no sentido oposto ao tubo interfiram no sinal captado pelos microfones, o alto-falante deve ser enclausurado por uma caixa acústica. As ressonâncias criadas na caixa e no tubo podem ser amenizadas com aplicação de material absorvente - preenchendo o volume no caso da caixa, e apresentando espessura mínima de 200 mm no caso do tubo. Ainda, o acoplamento entre a caixa acústica e o tubo deve contar com amortecimento, de forma a amenizar a criação de ressonâncias estruturais no corpo do aparato.



O sistema eletroacústico deve ser capaz de enviar um sinal amplificado ao alto-falante, caracterizado por uma varredura na faixa de frequências de interesse, e receber as respostas obtidas por ambos microfones. Ferramentas computacionais, por fim, devem atuar sobre os sinais captados, executando as transformações e manipulações matemáticas necessárias para a obtenção dos espectros de absorção sonora.

### 2.3 Projeto e construção

Para a construção do tubo de impedância, foram seguidas as diretrizes recomendadas pela norma ISO 10534-2 (2001), expostas na seção anterior. A princípio, tinha-se como projeto a construção de um tubo de seção transversal circular, como procedido por Oldfield e Bechwati [12]. Para tal, seria necessária a aquisição de um tubo de aço de aproximadamente 3000 mm de comprimento, 300 mm de diâmetro e 15 mm de espessura (5 % do diâmetro). Diante dos orçamentos elevados, optou-se pela busca de alternativas mais acessíveis, mas que ainda atendessem as exigências da norma para o aparato. Decidiu-se então por construir um tubo de seção transversal quadrada constituído de MDF (*medium density fiberboard*). Verificou-se posteriormente que tais escolhas apresentam vantagens além da acessibilidade. A saber, o material é de fácil manipulação quando comparado ao aço, e a forma da seção transversal facilita a adequação das amostras. Por outro lado, a necessidade de montagem do corpo do aparato pode ser considerada uma desvantagem quando comparada ao tubo cilíndrico, que é comercializado já no formato desejado.

O mercado disponibiliza as variações de MDF cru e laminado. O MDF cru é caracterizado por superfícies lisas, livres das lâminas rugosas presentes na segunda opção, o que atende a uma das exigências da norma. A espessura  $e$  das placas para a montagem do tubo dependem do lado interno  $d$  da seção transversal, devendo obedecer a inequação  $e \geq 0,1d$ . O lado  $d$  do tubo, por sua vez, limita o tamanho das amostras e a frequência máxima de atuação do aparato, de acordo com a inequação 8. Com base nessas

dependências e na disponibilidade do mercado, optou-se pela aquisição de placas de 30 mm de espessura, que impõem um máximo de 300 mm para  $d$ . Julgando-se que, dentro desse limite, quanto maior a área aceitável para a amostra, maior a flexibilidade de investigação experimental, optou-se pela construção de um tubo com seção quadrada de 300 mm de lado interno. Dessa forma, ficou estabelecido aproximadamente 570 Hz como limite superior de frequência de atuação, valor que se enquadra nas demandas da pesquisa de absorvedores de Helmholtz variáveis dos autores. A densidade média do painel de MDF do qual se extraiu as placas é de  $391 \text{ kg/m}^3$  (valor fornecido pela fabricante DURATEX<sup>2</sup>).

O comprimento total do tubo é determinado pela distância  $s$  entre as posições dos microfones, e pelas distâncias mínimas entre tais posições e os limites do tubo (plano de referência e fonte sonora). As inequações 9 e 10 determinam a distância  $s$  perante a faixa de frequência de atuação desejada. Mesmo esta faixa não contemplando frequências acima de 400 Hz, são necessários no mínimo três valores de  $s$  para que as condições sejam satisfeitas. Para atender essa exigência, optou-se pelo uso de três posições fixas de microfones,  $M_1$ ,  $M_2$  e  $M_3$ . Após um procedimento por tentativas e erros, obteve-se os valores expostos na Tabela 1, que sumariza os valores de  $s$  adotados para a distância entre os microfones, as frequências mínima  $f_l$  e máxima  $f_u$  consequentes, e a dimensão máxima  $d_{\text{max}}$  da lateral da seção transversal do tubo, mostrando que 300 mm obedece os limites. Para os cálculos, utilizou-se  $c_0 = 344 \text{ m/s}$ , que é a velocidade de propagação do som no ar obtida com a expressão  $c_0 = 343,2\sqrt{T/293}$  [3] para uma temperatura de  $T = 295 \text{ K}$  ( $\approx 22 \text{ }^\circ\text{C}$  – valor predominante no ambiente experimental).

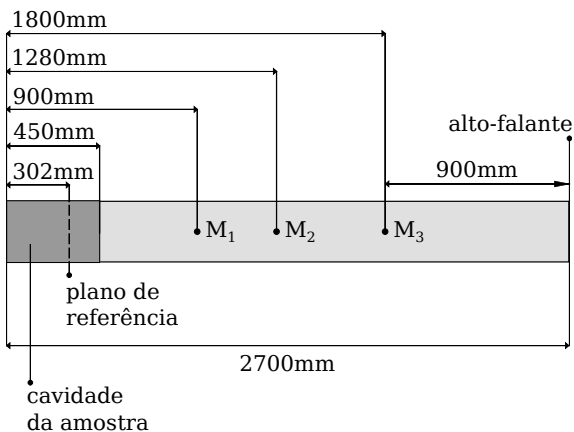
A distância mínima entre  $M_1$  (primeiro microfone) e o plano de referência deve estar entre  $d/2$  e  $2d$ . Optou-se pelo limite superior,  $2d = 600 \text{ mm}$ . Na extremidade oposta, a recomendação é que a distância mínima entre  $M_3$  e o alto-falante seja de  $3d = 900 \text{ mm}$ . A distância

<sup>2</sup>duratexmadeira.com.br, acesso em 26/11/2019.

**Tabela 1:** Valores escolhidos para a distância  $s$  entre os microfones, nas três combinações (Comb) entre  $M_1$ ,  $M_2$  e  $M_3$ , com os consequentes limites para a faixa de frequência ( $f_l$  e  $f_u$ ) e para a dimensão da seção transversal ( $d_{max}$ ).

Comb	$s$ (mm)	$f_l$ (Hz)	$f_u$ (Hz)	$d_{max}$ (mm)
$M_1$ - $M_2$	380	45	407	420
$M_2$ - $M_3$	520	33	298	580
$M_1$ - $M_3$	900	19	172	1000

entre o plano de referência e o alto-falante, portanto, é dada por  $5d$  somados ao maior valor de  $s$ , resultando em 2400 mm. Para se obter o comprimento total do tubo, deve-se acrescentar a esse valor o comprimento da cavidade da amostra, já que optou-se por integrá-la ao corpo do aparato. Foi adotado 300 mm para tal dimensão, o que resulta em 2700 mm para o comprimento total do tubo. A ilustração da Figura 2 representa o tubo em vista superior, com detalhes para as dimensões escolhidas. Nela é representada também a porta de inserção de amostra, com limite escolhido de 450 mm.



**Figura 2:** Representação em vista superior do tubo de impedância, com indicação para as partes e dimensões, sendo  $M_1, M_2$  e  $M_3$  a posição dos microfones.

Escolhidas tais dimensões, pode-se dar início a construção do aparato. A primeira etapa se baseou na montagem das placas que constituem as paredes do corpo do tubo. O peso elevado das partes exigiu fixação por cola e parafusos, e a constância da seção transversal foi garantida pela precisão geométrica dos cortes (executados pelo próprio vendedor). A parede superior do tubo foi dividida na distância específica para se formar a porta da cavidade da amostra. Na extremidade oposta, foi construído o flange que

constitui o sistema de acoplamento entre a caixa acústica e o corpo do tubo. A foto da Figura 3 mostra a vista geral do aparato resultante dessa primeira etapa de construção.



**Figura 3:** Foto do corpo do tubo de impedância após a primeira etapa de construção.

Para a instalação dos microfones, foram desenvolvidos suportes de náilon que permitem encaixe justo e posicionamento preciso. Tais características foram garantidas ao se projetar as peças de acordo com as dimensões dos microfones selecionados para o ensaio – microfones de medição omnidirecionais da fabricante DBX, modelo RTA-M, com resposta linear na faixa de 20 a 20 kHz. O canal interno dos suportes conta com duas juntas tóricas (*O'Ring*) que, em conjunto com o diâmetro justo, proporciona isolamento acústico suficiente para se obter qualidade nas medições. Além disso, as dimensões do suporte foram escolhidas de modo a garantir que a cápsula dos microfones, quando esses são inseridos, fique nivelada à superfície interna do tubo. A fixação das três peças nas posições dos microfones procedeu-se de forma a garantir encaixe justo, contando com aplicação de silicone para preencher possíveis ranhuras.

Os tubos de impedância comerciais contam com três microfones fixos, sendo que para cada medição são computados os sinais dos pares relativos à faixa de frequência em análise. A princípio optou-se por utilizar essa mesma estratégia para o aparato em construção, porém testes preliminares indicaram que o uso de apenas um par de microfones garante melhor repetibilidade dos resultados. Assim, optou-se por proceder com ensaios entre os quais troca-se a posição entre dois microfones. Para preencher o canal relativo

ao suporte sobressalente, foi desenvolvida uma peça com as mesmas dimensões do microfone que, quando aplicada, garanta isolamento acústico e nivelamento da superfície interna do tubo. As imagens da Figura 4 apresenta os detalhes do suporte e da peça isolante.



**Figura 4:** Fotos do suporte desenvolvido para os microfones. Esquerda: suporte não instalado, preenchido com a peça isolante; centro: suporte instalado no tubo, com a peça isolante separada; direita: microfone aplicado no tubo e suporte da posição sobressalente preenchido pela peça isolante.

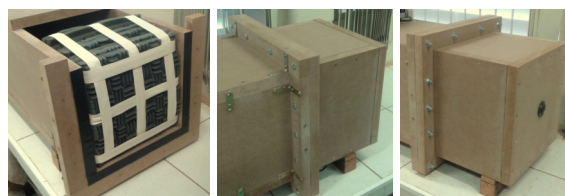
A caixa acústica foi construída de acordo com as dimensões do alto-falante escolhido para o sistema. Os fatores que determinaram tal escolha foram o conceito da marca, o tamanho do equipamento e a característica da respectiva curva de resposta. Optou-se pelo *subwoofer* modelo GTO1014D do fabricante JBL Selenium, que responde linearmente entre 25 e 400 Hz, com dimensões de 148 mm de profundidade, 268 mm de diâmetro externo (sobre o tampo da caixa) e 228 mm de diâmetro interno (dimensão para o corte do tampo). O diâmetro de 254 mm do cone atende a exigência de cobrir 2/3 da área da seção transversal do tubo. Com base em tais dimensões, construiu-se uma caixa acústica de 300 x 300 x 250 mm. Especificamente, as dimensões do tampo excederam os limites da caixa, de modo a compor juntamente com o flange do tubo o sistema de acoplamento entre as partes. Na parte traseira da caixa foi instalado um painel conector devidamente selado por borracha e silicone. O alto-falante foi instalado de acordo com as sugestões do fabricante, que fornece a borracha necessária para selar e amortecer o encaixe. O espaço interno remanescente foi preenchido com espuma acústica da fabricante e importadora OWA SONEX<sup>3</sup>, modelo Sonex Illtec Perfilado de 25 mm (NRC = 0,45). As fotos da Figura 5 mostram alguns detalhes

dessa construção.



**Figura 5:** Fotos da caixa acústica em montagem. Esquerda: interior da caixa visto pela parte traseira aberta; centro: vista frontal; direita: interior da caixa preenchido com espuma acústica, com detalhe para o painel conector instalado na parte traseira.

A caixa acústica foi acoplada ao tubo pelo sistema de flange. Foram utilizados parafusos sextavados que permitem a remoção da caixa, caso haja necessidade de manutenção. Com intuito de garantir o isolamento entre as partes, foram aplicadas tiras de borracha de 1 mm na borda do tubo (o mesmo se procedeu para a união entre outras partes, quando julgou-se prudente). Antes de se proceder com o acoplamento, porém, foi inserido no tubo um conjunto de espumas acústicas (do mesmo tipo da utilizada na caixa acústica) formando um bloco de 300 x 300 x 200 mm, tal qual recomenda a norma ISO 10534-2 (2001). As fotos da Figura 6 mostram tais características.



**Figura 6:** Fotos do acoplamento entre a caixa acústica e o tubo. Esquerda: detalhe para as espumas acústicas aplicadas na região em frente ao alto-falante e para as tiras de borracha aplicadas na borda; centro e direita: detalhes do sistema de flange.

Por fim, foi desenvolvido o mecanismo para o fechamento da porta pela qual a amostra deve ser inserida. Buscou-se por um sistema que permita facilidade de manipulação e garanta o isolamento acústico. Para tal, foram utilizados fechos de pressão nas paredes laterais e na parede superior, tal qual mostram as fotos da Figura 7. Nota-se que para auxiliar no isolamento, foi aplicada uma folha de borracha de 1 mm ao longo de toda parte inferior da porta, e na super-

<sup>3</sup>owa.com.br, acesso em 26/11/2019

fície de contato entre a porta e a parede superior do tubo.



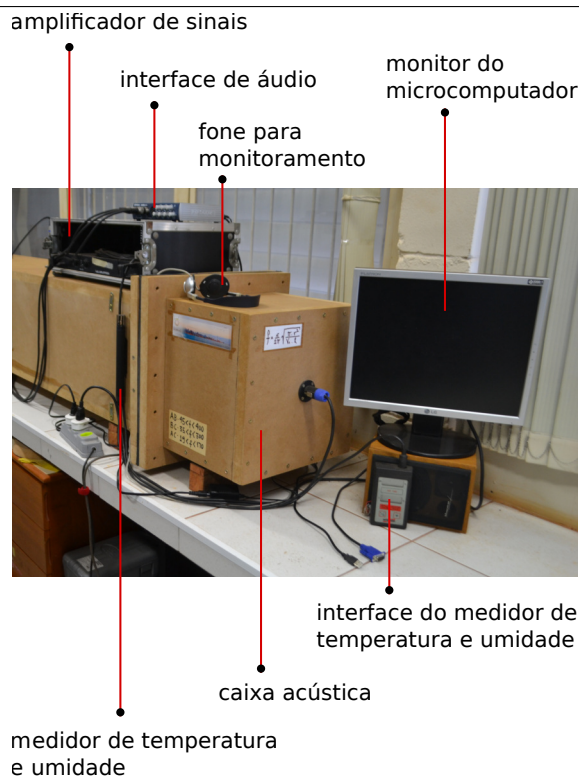
**Figura 7:** Fotos da porta referente a cavidade da amostra. Esquerda: porta fechada sem o acionamento dos fechos de pressão; direita: porta aberta com detalhe para a borracha aplicada na parte inferior.

Para compor o alto-falante (JBL GTO1014D), os microfones (DBX RTA-M) e a interface de áudio (PreSonus AudioBox 44VSL), foi necessária a instalação de um amplificador de sinais. Optou-se pelo modelo LAB 300 da fabricante LAB.GRUPPEN, ao qual se tinha acesso. O sistema eletroacústico foi incorporado a um microcomputador munido de aplicativos destinados a análise de sinais. Ainda, um medidor de temperatura e umidade foi instalado na lateral do tubo, visto que o método experimental arbitrado demanda o conhecimento de tais grandezas. A foto da Figura 8 mostra o aparato pronto para executar as medidas, com indicação para os componentes do sistema de aquisição de dados.

## 2.4 Processamento dos sinais

Para o processamento dos sinais foi desenvolvida uma rotina computacional utilizando o aplicativo Gnu Octave 4.0.0 munido do pacote de áudio MATAA<sup>4</sup> (*Mat's Audio Analyzer*), a qual atua executando as seguintes etapas: definição dos parâmetros físicos e computacionais (parâmetros de entrada); criação e reprodução do sinal; gravação das respostas; aplicação de filtro passa-baixa; cálculo da resposta ao impulso; janelamento; e cálculo da função de transferência. Ao final de tais etapas, a rotina foi programada para calcular e imprimir o espectro dos coeficientes de absorção sonora obtido.

<sup>4</sup>audioroot.net/mataa-mats-audio-analyzer, acesso em 25/11/2019.



**Figura 8:** Foto do aparato pronto para executar as medidas, com indicação para os componentes do sistema eletroacústico e para o medidor de temperatura e umidade, estando ausente apenas o microcomputador.

## 3. CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO TUBO DE IMPEDÂNCIA

Com o aparato pronto para executar ensaios, pôde-se dar início às etapas de calibração (ajustes no sistema eletroacústico) e validação (processo para verificar a eficácia do método), ambas descritas a seguir.

### 3.1 Calibração do aparato

A troca do posicionamento dos microfones exige modificações nas configurações eletroacústicas do aparato, sendo portanto necessária a sua calibração após cada troca de faixa de frequência. Para tal, adota-se os passos sugeridos pela norma ISO 10534-2 (2001), que prevê o ajuste da amplitude de resposta e fase dos microfones, a aquisição da temperatura e da umidade do ar (que exercem influência nos valores de densidade e velocidade de propagação do som), a análise da relação sinal-ruído, e a análise da distorção do alto-falante.

Como previa-se ensaios com uma grande quantidade de amostras, optou-se por fazer a correção da eventual diferença de fase entre os microfones com a predeterminação do fator de calibração  $H_c$ , que é obtido com medições entre as quais troca-se a posição dos microfones [3]. Já o ajuste da amplitude de resposta dos microfones, da relação sinal-ruído e da distorção do falante são efetuados variando os parâmetros da interface de áudio, que possibilita o controle do ganho dos sinais de entrada e saída. Dessa forma, antes de se dar início a cada bloco de medição (referente a cada faixa de frequência de análise), medições preliminares que retornam respostas tanto no domínio do tempo quanto das frequências devem ser executadas. A continuidade dos ensaios dependem da qualidade dos resultados obtidos em tal etapa, que compreende também o registro da temperatura e da umidade do ar.

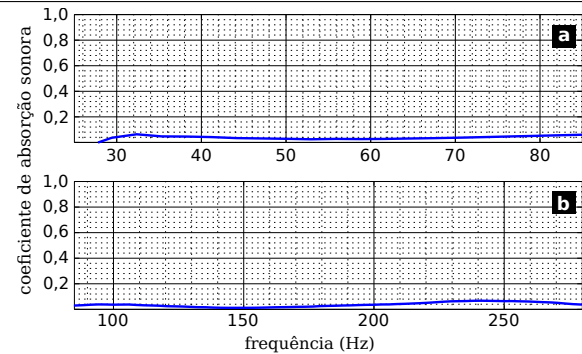
### 3.2 Validação do aparato

A validação do aparato foi realizada de duas formas: Uma delas contou como amostra uma placa de MDF de 30 mm de espessura (placa utilizada como anteparo rígido para as amostras de absorvedor), cujos coeficientes de absorção devem ser próximos de zero em toda faixa de frequência considerada – o permite classificá-la como amostra de alta impedância acústica. A outra forma foi medir o coeficiente de absorção sonora de absorvedores de Helmholtz de dimensões e geometrias bem estabelecidas, e comparar os resultados com os valores calculados pelo modelo teórico exposto no trabalho de Parreira [13].

#### 3.2.1 Validação com amostra de alta impedância

Os gráficos da Figura 9 mostram os coeficientes de absorção sonora em função da frequência obtidos para o anteparo rígido posicionado no plano de referência, para ambas faixas de frequência ensaiadas.

Observa-se pelo gráfico (a) da Figura 9 que há uma queda abrupta do coeficiente para frequên-



**Figura 9:** Coeficientes de absorção sonora em função da frequência obtidos para o anteparo rígido utilizado como amostra (posicionado no plano de referência), para as faixas de (a) 25 a 85Hz e (b) 85 a 270 Hz.

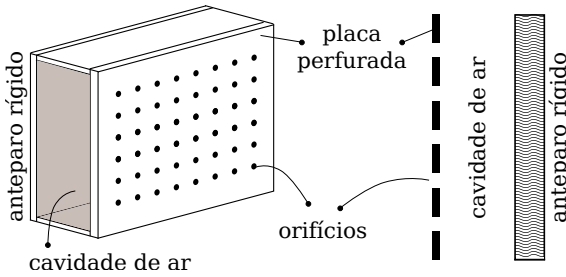
cias abaixo de 30 Hz, região na qual foram obtidos valores inclusive negativos e para qual, portanto, os resultados não podem ter qualidade atestada. Tal fenômeno pode estar relacionado com a reposita da fonte sonora na faixa de frequências em questão, e deve ser posteriormente investigado.

Mesmo utilizando uma amostra de impedância acústica elevada, espera-se observar alguma absorção sonora ao longo do espectro, tanto pela absorção do material em si quanto pelas perdas de energia sonora que ocorrem na propagação das ondas ao longo do tubo. Essa absorção, porém, não deve apresentar coeficientes elevados, visto que esse fenômeno pode distanciar os resultados do caso real [12]. Como foram obtidos coeficientes menores que 0.1 em toda faixa ensaiada, o aparato foi considerado como apto para executar os ensaios com amostras de absorvedor de Helmholtz.

#### 3.2.2 Validação com absorvedor de Helmholtz

No presente trabalho, define-se como absorvedor de Helmholtz o sistema formado por uma placa perfurada e um anteparo rígido, ambos separados por uma caixa de ar (definição utilizada por Cox e D'Antonio [11]), tal qual representa a Figura 10. Nesse sentido, o absorvedor, também conhecido como painel perfurado, pode ser entendido como um conjunto de ressonadores de Helmholtz (dispositivos formados por uma cavidade de ar rígida munida de gargalo

aberto. As diversas configurações de absorvedores podem se diferenciar pela espessura da placa perfurada, pela quantidade de perfurações contida na placa (ou pela distância entre perfurações para o caso de uma distribuição simétrica), pelo raio de cada perfuração e pela espessura da caixa de ar (distância entre a placa e o anteparo). A combinação de tais parâmetros dita a frequência de sintonia do absorvedor.



**Figura 10:** Ilustrações esquemáticas de um absorvedor de Helmholtz (ou painel perfurado) em vista tridimensional (esquerda) e corte transversal (direita).

A escolha das amostras a serem ensaiadas para esta etapa de validação baseou-se nas frequências dos modos acústicos de sala hipotética. Ou seja, optou-se por configurações de absorvedores de Helmholtz com coeficientes sintonizados em tais frequências. Para tal, foi considerada uma sala de 4,2 m de comprimento, 2,8 m de largura, e 3,3 m de altura, e calculou-se as frequências dos três primeiros modos normais axiais referentes a cada direção, que são os modos de maior energia [14]. A Tabela 2 sumariza os resultados obtidos.

**Tabela 2:** Frequências dos três primeiros modos axiais ( $i = 1, 2, 3$ ) referentes a cada direção ( $x$ ,  $y$  e  $z$ ) da sala hipotética ( $V = 4,2 \times 2,8 \times 3,3 \text{ m}^3$ ).

modos axiais $f(n_x, n_y, n_z)$ (Hz)			
$i$	$x(i, 0, 0)$	$y(0, i, 0)$	$z(0, 0, i)$
1	40,9	52,1	61,4
2	81,9	104,2	122,9
3	122,9	156,4	184,3

Da análise das diferentes configurações de absorvedores de Helmholtz obtidas a partir do modelo exposto por Parreira [13], foram selecionadas aquelas que permitiram a abrangência de absorção nas frequências consideradas (expostas na Tabela 2), visando maior praticidade

de confecção e menor desperdício de material. Para tal, optou-se por configurações que diferiram unicamente pela quantidade de perfurações na placa, mantendo-se constantes o raio das perfurações (3 mm), e as espessuras da cavidade de ar (50 mm) e da placa (15 mm). A Tabela 3 mostra as frequências  $f_{\text{pico}}$  e as magnitudes  $\alpha_{\text{pico}}$  dos picos de absorção relativos a cada configuração selecionada. Nela,  $\varepsilon$  é a taxa (porcentagem) de abertura da placa<sup>5</sup>, definida como a razão entre a área de abertura (área de cada perfuração  $a = \pi r^2$  multiplicada pelo número total  $n$  de perfurações) e a área total da placa  $d^2$ , de acordo com a expressão  $\varepsilon = 100 n a / d^2$ .

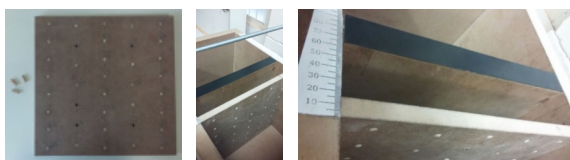
**Tabela 3:** Relação entre o número de perfurações  $n$ , taxa de abertura  $\varepsilon$ , coeficiente de absorção sonora  $\alpha$  e frequência de sintonia  $f_{\text{pico}}$  calculados para cada configuração de absorvedor selecionada.

$f_{\text{pico}}$ (Hz)	$\alpha_{\text{pico}}$	$\varepsilon$ (%)	$n$
40	0,70	0,06	2
50	0,88	0,09	3
60	0,85	0,12	4
80	0,90	0,22	7
105	0,91	0,38	12
120	0,92	0,50	16
125	0,89	0,53	17
155	0,80	0,80	26
185	0,70	1,18	38

A fim de excluir a necessidade de se confeccionar uma placa perfurada para cada variação de amostra, optou-se por utilizar uma única placa munida com o máximo de perfurações necessárias, sendo essas passíveis de preenchimento por cavilhas de acordo com a necessidade. Seguindo os resultados obtidos com o modelo teórico, foi confeccionada uma placa em MDF de 15 mm de espessura, dimensionada de modo satisfazer as dimensões do tubo (300 x 300 mm), e nela foram feitas 38 perfurações de 3 mm de raio e igualmente espaçadas. O anteparo rígido

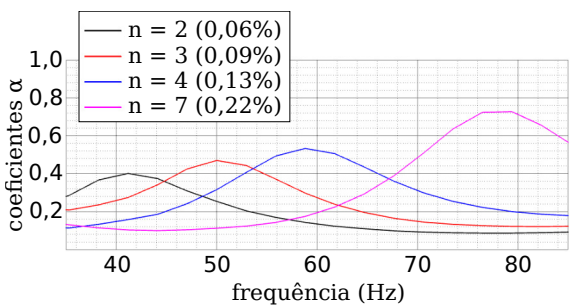
<sup>5</sup>Tal qual discutido por Everest e Pohlmann [15], ao se descrever a abertura das placas como a razão entre área perfurada e área total (abordagem comum na literatura [4] [11]), é introduzido um fator de incerteza de 100. Em vista de tal característica, os autores defendem o uso da porcentagem de abertura como parâmetro descritivo, sendo que tal abordagem foi a adotada para o presente trabalho.

foi posicionado de modo a formar uma cavidade de ar de 50 mm de espessura. A Figura 11 apresenta a configuração da placa testada (disposição das perfurações e como as cavilhas foram utilizadas a fim de se ajustar o número de perfurações) e como ela foi posicionada no interior do tubo de impedância, com o anteparo rígido formando a cavidade de ar.



**Figura 11:** Montagem da amostra na cavidade. Esquerda: configuração da placa perfurada testada; centro e direita: montagem da placa e do anteparo na cavidade de amostra do tubo.

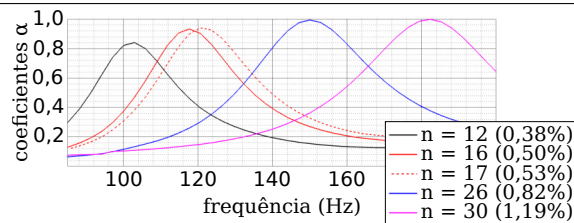
Com a placa confeccionada, foram realizados os ensaios para a obtenção dos coeficientes de absorção sonora em função de frequência das configurações selecionadas. A Figura 12 mostra os resultados obtidos para a primeira faixa do espectro analisada, onde localizam-se os picos de absorção das configurações com 2 a 7 perfurações. Já a Figura 13 refere-se aos resultados da segunda faixa do espectro, onde localizam-se os picos de absorção das configurações com 12 a 38 perfurações.



**Figura 12:** Coeficientes de absorção sonora obtidos para amostras munidas de placas com 2, 3, 4 e 7 perfurações.

A Tabela 4 mostra o comparativo entre as frequências de sintonia calculadas pelo modelo teórico ( $f_{\text{pico}}$ ) e obtidas experimentalmente ( $f_{\text{pexp}}$ ). Nela,  $n$  é a quantidade de perfurações das amostras,  $\delta = f_{\text{pico}} - f_{\text{pexp}}$  é o erro absoluto, e  $\delta\% = 100 \delta / f_{\text{pico}}$  é o erro percentual.

Com os erros absolutos  $\delta$  apresentados na Ta-



**Figura 13:** Coeficientes de absorção sonora obtidos para amostras munidas de placas com 12, 16, 17, 26 e 38 perfurações.

**Tabela 4:** Comparativo teórico  $\times$  experimental das frequências de sintonia dos absorvedores estudados (munidos de  $n$  perfurações), com colunas indicando os erros absoluto ( $\delta$ ) e percentual ( $\delta\%$ ) entre as frequências teórica ( $f_{\text{pico}}$ ) e experimental ( $f_{\text{pexp}}$ ).

$n$	$f_{\text{pico}}$ (Hz)	$f_{\text{pexp}}$ (Hz)	$\delta$ (Hz)	$\delta\%$
2	40,0	41,2	-1,2	3,0
3	50,0	49,9	0,1	0,2
4	60,0	58,8	1,2	2,0
7	80,0	79,4	0,6	0,7
12	105,0	102,9	2,1	2,0
16	120,0	117,6	2,4	2,0
17	125,0	120,6	4,4	3,5
26	155,0	149,9	5,1	3,3
38	185,0	182,3	2,7	1,5

bela 4, obtém-se um desvio médio  $d_{\text{med}} = 1,9$ , valor que possibilita considerar o aparato desenvolvido como validado.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As características do absorvedor de Helmholtz em estudo pelos autores, e a necessidade de se investigar experimentalmente o seu comportamento acústico em frequências não contempladas por aparatos comerciais, foram a motivação do desenvolvimento do tubo de impedância apresentado no presente trabalho, que atende ao método da função de transferência para a determinação de coeficientes de absorção sonora de amostras. O estudo dos fundamentos teóricos do método e as diretrizes recomendados pela norma ISO 10534-2 (2001) fundamentaram os processos de projeto, construção, calibração e validação do aparato experimental.

O comparativo entre os resultados obtidos experimentalmente com o tubo de impedância desenvolvido e as previsões do modelo teórico

mostrou que o aparato é apto para caracterizar amostras de absorvedores acústicos em faixas não contempladas por soluções comerciais. Os ensaios executados com a amostra de alta impedância mostraram que há espaço para aprimoramentos no aparato, aprimoramentos esses que formam a sugestão de continuidade do trabalho.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o auxílio prestado pelos pesquisadores Dr. Alexandre Maiorino, Dr. Ítalo César Montalvão Guedes, Dr. Bruno Masiero e Gustavo de Mattos.

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

## REFERÊNCIAS

1. INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. *ISO 354 Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room*. Genebra, Suíça, 2003.
2. INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. *ISO 10534 Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 1: Method using stand wave ratio*. Genebra, Suíça, 2001.
3. INTERNATIONAL ORGANIZATION OF STANDARDIZATION. *ISO 10534 Acoustics - Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes - Part 2: Transfer-function method*. Genebra, Suíça, 2001.
4. LI, Dengke; CHANG, Daoqing; LIU, Bilong. Enhancing the low frequency sound absorption of a perforated panel by parallel-arranged extended tubes. *Applied Acoustics*, v. 102, p. 126–132, 2016.
5. JIMÉNEZ, N.; HUANG, W.; ROMEROGARCÍA, V.; PAGNEUX, V.; GROBY, J.-P. Ultra-thin metamaterial for perfect and quasi-omnidirectional sound absorption. *Applied Physics Letters*, v. 109, 2016.
6. WU, Xiaoxiao; FU, Caixing; LI, Xin; MENG, Yan; GAO, Yibo; TIAN, Jingxuan; WANG, Li; HUANG, Yingzhou; YANG, Zhiyu; WEN, Weijia. Low-frequency tunable acoustic absorber based on split tube resonators. *Applied Physics Letters*, v. 109, 2016.
7. XIAODAN, Zhao; XIANGQIAN, Fan. Enhancing low frequency sound absorption of micro-perforated panel absorbers by using mechanical impedance plates. *Applied Acoustics*, v. 88, p. 123–128, 2015.
8. WANG, Weichen; WICK, Robert; HERRIN, D. W. Designer backings to improve micro-perforated panel absorber performance. *Proceedings of the 44th Inter-Noise Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, 2015.
9. LARNER, David James; DAVY, John Laurence. The prediction of the diffuse field sound absorption of perforated panel systems. *Proceedings of the 44th Inter-Noise Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, 2015.
10. DUPONT, Thomas; VERDIÈRE, Kévin; LECLAIRE, Philippe; PANNETON, Raymond. A method to control the lateral boundary condition effects in the characterization of acoustic materials in an impedance tube. *Proceedings of the 44th Inter-Noise Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, 2015.
11. COX, Trevor J.; D'ANTONIO, Peter. *Acoustic absorbers and diffusers*. USA: Spon Press, Inc., 2006.
12. OLDFIELD, R.; BECHWATI, F. Accurate low frequency impedance tube measurements. *Proceedings of the Institute of Acoustics*, v. 30, n. 4, 2008.
13. PARREIRA, Ricardo Jorge Patraquim Godinho. *Painéis acústicos perfurados em madeira: estudo e avaliação experimental de soluções*. Dissertação (Mestrado) — Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2008.
14. SOUZA, Albano Neves e; PATRAQUIM, Ricardo. Análise preliminar da viabilidade de



ressoadores de helmholtz adaptáveis para otimização da resposta acústica de salas pequenas. *Anais do VIII Congresso Ibero-americano de Acústica*, 2012.

15. EVEREST, F. Alton; POHLMANN, Ken C. *Master handbook of acoustics*. USA: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2009.

*(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)*

William D'Andrea  
Fonseca

Universidade Federal de  
Santa Maria

Av. Roraima n° 1000,  
Cidade Universitária  
Santa Maria - RS

{will.fonseca}  
@eac.ufsm.br

## Publique seu artigo na **Acústica e Vibrações**

*Traga seu trabalho para a A&V e contribua para a ciência do país e do mundo, sendo reconhecido por seus desenvolvimentos*

A Revista Acústica & Vibrações (A&V) publica artigos técnicos em diversas áreas relacionadas com os temas de A&V. Ela é coordenada pela Sociedade Brasileira de Acústica via seus editores (ainda apoiados por revisores e pareceristas).

A revista tem se modernizado e internacionalizado nos últimos anos. Ela está em processo de digitalização e cadastro de todos seus artigos com sistema DOI (Digital Object Identifier System) [1] – desde 1985.

As submissões podem ser feitas em português, espanhol e inglês, sempre incluindo resumo, palavras-chave, PACS<sup>a</sup>, title, abstract e keywords (na primeira página). Há um modelo (template) completo com instruções e detalhes sobre escrita, formato e submissão [2] – ele pode ser obtido direto no site da Sobrac [3] ou no Overleaf [4].

### 1. Tipos de artigo

A revista aceitará **submissões originais** (isto é, ainda não publicadas) de pesquisas científicas e aplicações de engenharia, arquitetura, áudio, física, matemática e áreas afins. Assim, serão considerados os seguintes tipos de documento:

- **Artigos de revisão** (*Review papers*): discutem o *estado da arte* sobre o tema pretendido, aclarando desde aspectos básicos até os sofisticados. Esse tipo de submissão deve ser completo no que concerne à literatura, cobrindo em boa parte as ideias, modelos, experimentos etc. já desenvolvidos, mesmo que não estejam de acordo com a opinião do autor. É importante que o assunto seja de interesse da comunidade científica.
- **Artigos científicos** (*Scientific papers*): contém material original (ideias, modelos, experimentos etc.) não publicado, que contribui substancialmente para o avanço da ciência naquele tema. Ele deve estabelecer uma relação entre seu conteúdo e o *estado da arte* já publicado.
- **Artigos técnicos e aplicados** (*Technical and applied papers*): apresentam material original a partir de aplicações de técnicas conhecidas e/ou em desenvolvimento. Deve apresentar métodos aplicados que estejam de acordo com normativas e/ou que apresentem resultados pertinentes. É essencial que sejam de interesse de pesquisadores e profissionais do tema proposto.

<sup>a</sup>Vide <https://asa.scitation.org/jas/authors/manuscript>.

Algumas sugestões de áreas para publicação são:

- Acústica geral;
- Acústica não-linear;
- Processamento de sinais;
- Acústica virtual e auralização;
- Imageamento acústico (*beamforming*, intensimetria, holografia);
- Acústica ambiental;
- Acústica arquitetônica: condicionamento;
- Acústica de edificações: isolamento;
- Acústica fisiológica (psicoacústica), subjetiva, fonoaudiologia e saúde;
- Métodos numéricos em acústica, vibrações e áudio;
- Acústica subaquática e geofísica;
- Processamento e síntese de fala;
- Vibrações e vibroacústica;
- Acústica musical e instrumentos musicais;
- Circuitos e dispositivos para acústica, vibrações e áudio;
- Acústica veicular e da mobilidade (automotiva, aeronáutica, ferroviária etc.);
- Aeroacústica;
- Bioacústica;
- Controle de ruído;
- Acústica industrial;
- Áudio e eletroacústica;
- Instrumentação e metrologia;
- História da acústica;
- Ensino em acústica, vibrações e áudio;
- entre outros.

## 2. Submissão e avaliação

É responsabilidade dos autores a preparação e envio dos artigos em seu formato final. Por esse motivo, pede-se que verifiquem com atenção a formatação de seus artigos, especialmente gráficos e fotos, quanto à legibilidade e qualidade digital (e para impressão).

Os artigos deverão ser enviados (submetidos) nos formatos descrito a seguir. (1) Para usuários do **Word**: .docx e .pdf com identificação; e .docx e .pdf **sem identificação de autores e filiações**. (2) Para usuários do **L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X**: .rar (contendo todo o projeto) e .pdf com identificação; e .pdf **sem identificação de autores e filiações**.

O envio dos documentos sem a identificação é para que o processo de avaliação seja duplo-cego, ou seja, avaliadores desconhecem os autores e autores desconhecem os avaliadores. Desse modo, busca-se uma avaliação/revisão justa e técnica. Caso seja necessário, oculte nomes e filiações (troque por "A", por exemplo) que estejam porventura no texto. Todo artigo será avaliado por pelo menos dois profissionais, que emitirão o parecer de *aceitação*, *aceitação mediante revisão* ou *rejeição*.

## Referências

1. The DOI System. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://www.doi.org/>.
2. FONSECA, William D'Andrea. Instruções e modelo de artigo para a Revista Acústica e Vibrações (2018-2020). *Acústica & Vibrações*, v. 34, n. 50, p. 107–117, 2018. ISSN 1983-442X.
3. Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac) website: Publique. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <http://acustica.org.br/publique/>.
4. Instruções e modelo de artigo para a Revista Acústica e Vibrações (2018-2020) online no Overleaf. Acessado dez. 2019. Disponível em: <https://pt.overleaf.com/read/mnmwhwscsykjh>.

# Associe-se à



# SOBRAC

## Sociedade Brasileira de Acústica

### É fácil

- Acesse o site da SOBRAC ([acustica.org.br](http://acustica.org.br)) e, na aba superior, selecione o item "Associe-se", escolhendo em seguida a categoria pretendida (Efetivo, Estudante ou Institucional).
- Preencha o pré-cadastro e submeta-o.
- Sendo os dados aprovados, o sistema lhe comunicará que está à espera do primeiro pagamento, para efetivar a associação à SOBRAC.
- O sistema disponibiliza pagamentos através do PagSeguro, via cartão de crédito (podendo ser parcelado) ou boleto bancário.
- Para maiores informações entre em contato.

- 
- Os associados têm sempre acesso a Revista Acústica & Vibrações e
  - Descontos em eventos da sociedade e parceiras!

## REGIONAIS DA SOBRAC

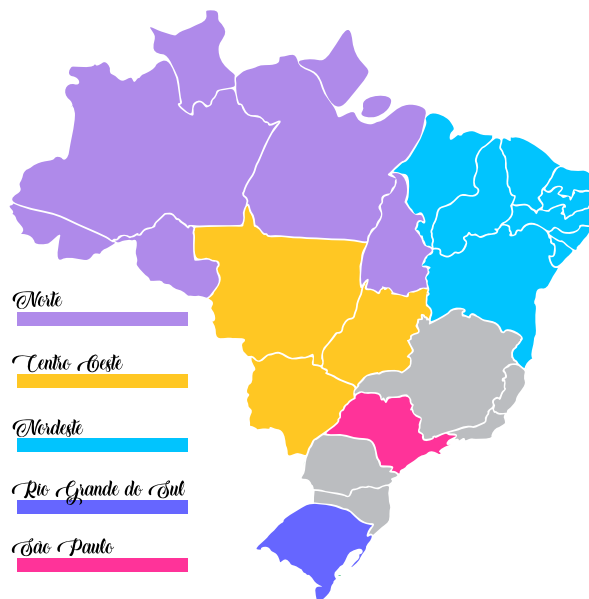
Você já conhece as Seções Regionais da Sobrac? Elas promovem eventos, discussões, encontros, cursos e compartilhamento de conhecimento. As seções eleitas para biênio 2019/2020 são:

### Região Norte

- Coordenadora: Elcione Maria Lobato de Moraes | ✉
- Secretário: Antonio Carlos Lobato Soares
- Tesoureiro: Gustavo da Silva Vieira de Melo

### Rio Grande do Sul

- Coordenador: Rafael Ferreira Heissler | ✉
- 1ª Secretária: Viviane Mello
- 2º Secretário: William D'Andrea Fonseca
- 1ª Tesoureira: Maria Fernanda Oliveira
- 2ª Tesoureira: Maira Janaina Ott



### Região Nordeste

- Coordenadora geral: Bianca Carla Dantas de Araújo | ✉
- Vice-Coordenador Geral: Italo César Montalvão Guedes
- 1º Secretário: Otávio Joaquim da Silva Junior
- 2ª Secretária: Maria Lucia Gondim da Rosa Oiticica
- 1º Tesoureiro: Sérgio Fernando Saraiva da Silva
- Coordenador de Atividades Técnicas: Gleidson Martins Pinheiro
- Coordenador de Comunicação e Marketing: Frederico de Vasconcelos Brennand

### Centro Oeste

- Coordenadora: Maria Alzira de Araújo Nunes | ✉
- Secretaria: Ludmila de Araújo Correia
- Tesoureira: Fabiana Curado

### São Paulo

- Coordenadora: Ranny Loureiro Xavier Nascimento Michalski | ✉
- Secretaria: Maria Luiza Belderrain
- Tesoureira: Gilberto Fuchs de Jesus

William D'Andrea  
Fonseca

Universidade Federal de  
Santa Maria  
Av. Roraima n° 1000,  
Cidade Universitária  
Santa Maria - RS

{will.fonseca}  
@eac.ufsm.br

## Dia Internacional de Conscientização sobre o Ruído - INAD Brasil 2020

*Em 2020 o INAD Brasil abordará o tema da saúde auditiva do trabalhador*

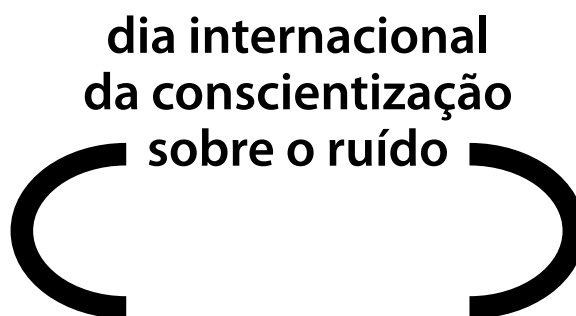


Figura 1: Logo do INAD Brasil.

A poluição sonora é considerada um problema de Saúde Pública mundial, dada a sua repercussão na saúde e no meio ambiente. Por conta disto, há 25 anos o *Center for Hearing and Communication* [1], promove mundialmente um evento de conscientização que são 60 segundos de silêncio para destacar o impacto do ruído na vida cotidiana, proporcionando aos participantes uma pausa e uma oportunidade de conscientização sobre um problema que atinge a todos. Ele é chamado de *International Noise Awareness Day* (ou apenas INAD) ou Dia Internacional de Conscientização sobre o Ruído que ocorre em uma data móvel, sempre a última quarta-feira do mês de abril.

Mundialmente a campanha é muito difundida na Alemanha, Espanha, Chile, Holanda, Suíça, Itália, dentre outros países. No Brasil [2], O INAD acontece desde 2008 com o apoio nacional da Academia Brasileira de Audiologia (ABA) [3], da Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac) [4] e do Curso de Engenharia Acústica (EAC) [5] da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e, regionalmente, de diversas entidades locais, veja o logo na Figura 1. A campanha brasileira incorporou outras atividades respeitando a diversidade do território nacional e criatividade dos parceiros locais, como por exemplo, reuniões com autoridades governamentais e ambientais, distribuição de protetores auditivos, estratégias educativas e avaliação do ruído e da audição. Tem sido crescente a participação de colaboradores autônomos e institucionais, simpatizantes e organizações de representatividade de classes.

Em Santa Maria, a comissão local do INAD tem se reunido com a supervisão do professor William D'Andrea Fonseca (EAC) e da professora Valdete Alves Valentins dos Santos Filha da Fonoaudiologia. A partir de discussões e reuniões com os professores, alunos de graduação e pós-graduação, para o ano de 2020, o tema proposto foi o da **saúde auditiva do trabalhador**, sendo esse abraçado pela comissão nacional do INAD. Ainda, a partir dada UFSM surgiu a sugestão do lema

pelo aluno Giovanni Timóteo (EAC) “*Trabalho com ruído, saúde em perigo.*” e a arte principal, idealizada e discutida entre todos da comissão de SM e materializada por um trabalho conjunto da aluna Laura Motta (da Fono) e do prof. Will, veja a Figura 2 (a).



(a) Arte + Lema INAD Brasil 2020



(b) Ecobag



(c) Marcador de página

**Figura 2:** Arte + Lema para a campanha de 2020, ecobag (com redução do número de cores) e marcador de página.

Na arte, a ideia é trazer um diálogo atual, com isso, é utilizada uma linguagem visual iconográfica. Temos um *emoji aliviado* (do lado esquerdo), com seu protetor auditivo (ou EPI), a conexão dele com o *emoji muito irritado* (do lado direito) é feita por algumas formas que lembram ondas (do vermelho ao violeta, simbolizando de baixas a altas frequências). Dentre eles há o trabalhador e seu cérebro pensante, em meio a algumas fontes de ruído indesejados que experimentamos no dia a dia (fábricas, meios de transporte e conversas ao fundo) [6]. O objetivo é que o lema e a arte se completem.

Como de costume, a comissão nacional oferece uma série de materiais básicos no site do INAD Brasil (<http://www.inadbrasil.com>) para que autônomos, empresas, alunos e simpatizantes utilizem livremente em suas atividades. Apoiamos para que as pessoas promovam a conscientização por diversos meios, sejam palestras, ações na cidade/comunidade, encontros etc. Este ano teremos os seguinte materiais básicos disponíveis no site:

- Cartazes (4 modelos), o clássico do ano, uma versão em inglês, um com informações adicionais e um no estilo *keep calm* (todos eles estão anexo a esta matéria);
- Banners (2 modelos), seguindo os modelos dos cartazes clássico e o com informações adicionais;
- Ecobag com as cores simplificadas para utilização em produção com serigrafia (veja Figura 2 (b));
- Crachá, modelo para as comissões e participantes;



- Marcador de página (veja Figura 2 (c));
- Postal (para envio via correios);
- Capa para vinheta/spot sonoro (12 × 12 cm);
- Adesivos ou bótons em dois tamanhos (3 × 3 cm) e (5 × 5 cm);
- Adesivo para produção em serigrafia em duas cores (7 × 10 cm);
- Lixeira pra carro (em uma cor apenas);
- Caneta (em uma cor apenas);
- Apoio de mesa com informações e curiosidades;
- Aviso para porta (similar aos de hotéis);
- Camiseta (4 modelos);
- Folheto (*folder*) com informações e dicas;
- Elementos gráficos em .png para poderem integrar outros materiais;
- Cartilha básica do uso do sonômetro (MNPS);
- Modelos de apresentação para Powerpoint em duas proporções (4:3 e 16:9) e
- Logo principal em quatro diferentes paletas de cores (objetivando aplicações distintas).

É uma grande variedade de materiais, você encontra todas as artes separadamente no site do INAD Brasil [6] (ou ainda em um único pdf com 35 páginas no total). Mediante a necessidade de organizadores locais, outros também podem ser feitos pelas próprias comissões regionais/locais. Lembre-se, há sempre algum espaço nas artes para organizadores e apoiadores locais colocarem suas marcas.

O INAD faz parte das atividades do **Ano do Som** (ou *International Year of Sound 2020, IYS*) [7], sendo assim, vocês encontrarão a logomarca do IYS nos materiais (mais informações sobre o IYS você pode consultar também na página 85 desta edição da revista).

Tradicionalmente, com apoio da ABA, o INAD Brasil participa do Encontro Internacional de Audiologia (EIA) [8], que em 2020 será em São Paulo (SP), de 19 a 21 de março, celebrando sua 35ª edição.

Como citado acima, os quatro modelos de cartazes (A4 ou A3) estão colocados na sequência dessa notícia para que leitores e/ou comissões locais possam usar. No caso de dúvidas quando as artes ou questões quanto aos arquivos, você pode entrar em contato com a comissão nacional.

É interessante aclarar que o INAD é um trabalho voluntário, sem fins lucrativos, que busca esclarecer e conscientizar a população. Com isso, o INAD Brasil está sempre aberto para receber apoio de empresas e/ou outras instituições. Cooperando somos mais fortes.

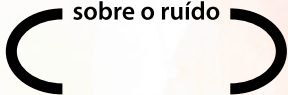
## Referências

1. International Noise Awareness Day (INAD) website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://chcheating.org/noise/day/>.
2. Dia Internacional de Conscientização Sobre o Ruído (INAD Brasil) website. Disponível em: <http://inadbrasil.com/>.
3. Academia Brasileira de Audiologia website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://www.audiologiabrasil.org.br>.
4. Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC) website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <http://acustica.org.br/>.
5. Engenharia Acústica (EAC) website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <http://www.eac.ufsm.br/>.
6. INAD Brasil - Materiais campanha 2020. Disponível em: <http://inadbrasil.com/materiais-inad-2020/>.
7. International Year of Sound (IYS) website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://sound2020.org/>.
8. Encontro Internacional de Audiologia (EIA) website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://www.audiologiabrasil.org.br/eia/>.



*trabalho com*  
**RUÍDO,**  
*saúde em*  
**PERIGO**

dia internacional  
da conscientização  
sobre o ruído



**29 de ABRIL de 2020**

No dia 29 de abril de 2020 será celebrado o Dia Internacional da Conscientização sobre o Ruído. Serão 60 segundos de silêncio, entre 14h25 e 14h26, para destacar o impacto do ruído excessivo em nossas vidas.

Acompanhe a programação no site [www.inadbrasil.com](http://www.inadbrasil.com) e [/INAD.BRASIL](https://www.instagram.com/inadbrasil)



Patrocínio



Apoio nacional



Realização



Apoio/organização regional





*working with*

**NOISE,**

*health in*

**DANGER!**



**29<sup>th</sup> APRIL 2020**

29th April 2020 is International Noise Awareness Day. To commemorate, we will recognize 60 seconds of silence and ask you join us between 14:25 and 14:26 to highlight the impact of excessive noise in our lives.

Follow the schedule on the website [www.inadbrasil.com](http://www.inadbrasil.com) and [/INAD.BRASIL](https://www.instagram.com/inad_brasil)



Sponsorship



National support



Organizers

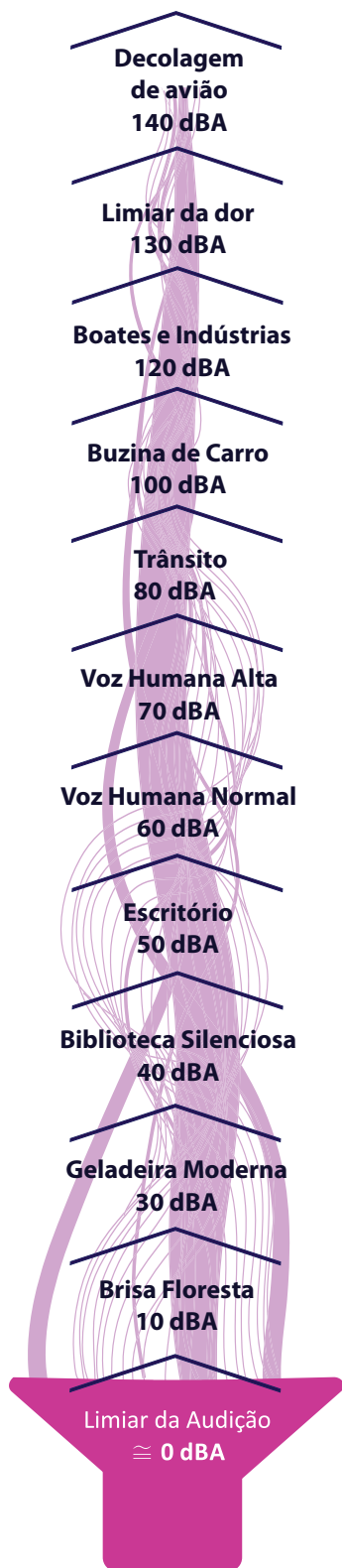


Regional organizer/support



**29 DE ABRIL DE 2020**  
dia internacional da conscientização sobre o ruído

Níveis de pressão sonora a 1 m de distância



dia internacional da conscientização sobre o ruído

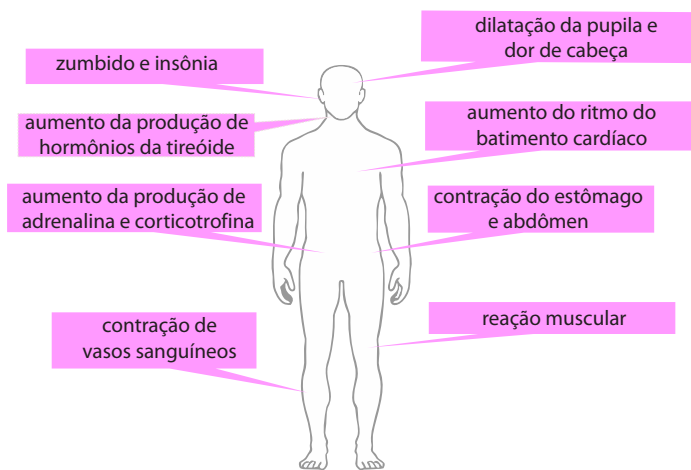


# trabalho com **RUÍDO,** saúde em **PERIGO**

## Se liga!

O som em excesso a que você se expõe não afeta somente sua audição, mas também seu corpo inteiro!

Alguns efeitos do ruído no ser humano:



**Os efeitos podem não ser imediatos, mas são cumulativos!**

Dependem:

- # do nível de pressão sonora,
- # do tempo de exposição,
- # da predisposição pessoal.

Acompanhe a programação no site [www.inadbrasil.com](http://www.inadbrasil.com) e /INAD.BRASIL

Patrocínio



Apoio nacional



Apoio regional





**ENJOY  
THE  
SOUND  
OF  
SILENCE**



[inadbrasil.com](http://inadbrasil.com)



*(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)*

Márcio Avelar

Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná  
UTFPR

Av. Sete de Setembro, 3165 -  
Rebouças, Curitiba - PR

{marcio.avelar}  
@gmail.com

William D'Andrea  
Fonseca

Universidade Federal de  
Santa Maria

Av. Roraima n° 1000,  
Cidade Universitária  
Santa Maria - RS

{will.fonseca}  
@eac.ufsm.br

## International Year of Sound 2020

2020 é Ano Internacional do Som



Figura 1: Logo do International Year of Sound 2020.

Várias importantes agremiações da área de Acústica irão inaugurar em 2020 o **Ano Internacional do Som**, observe o logo na Figura 1. A ideia é divulgar, ao máximo possível, a relevância do som em quase todos os aspectos da sociedade moderna. Ações ao redor do mundo serão programadas com esta finalidade e, de uma forma geral, são fortemente inspiradas em “*La Semaine du Son*” [1] (a semana do som) – que foi importante para tornar o tema pauta da conferência geral das Nações Unidas de 2017. Eventos tais como o **Dia Internacional de Conscientização Sobre o Ruído (INAD)** [2], já conhecido em nossa comunidade nacional [3], são exemplos do conjunto de ações programadas.

A página do “International Year of Sound” (IYS) [4], em <https://sound2020.org/>, contém várias informações sobre os eventos programados nos mais diversos países. O encontro da **FIA/SOBRAC de 2020** [5] está inscrito nessa página como “atividade” e o momento será certamente propício para impulsionar uma divulgação mais ampla junto à sociedade brasileira. Nossa representante perante o comitê organizador do IYS é a Professora Stelamaris Rolla Bertoli, atual Presidente da **SOBRAC** [6]. As ações desenvolvidas devem ser informadas a ela, para que o comitê possa receber de forma organizada os eventos desenvolvidos no Brasil.

Uma ótima iniciativa já agendada é o concurso estudantil internacional, voltado a estudantes de 5 a 12 anos, em uma categoria, e de 13 a 18, em outra. Consulte a página do IYS e procure por “**Student Competition**” [7] para o edital e maiores detalhes. Há prêmios de 300, 200 e 100 euros em livros ou equipamentos para cada categoria. Atenção! Para participar do concurso, a primeira data importante é 31 de maio de 2020.

A conscientização proposta é importante em qualquer lugar e principalmente no Brasil, onde temos muitos desafios a vencer em relação à educação científica. Em especial, o de mostrar à sociedade brasileira que é importante contratar o profissional bem preparado para as demandas relativas à Acústica/Som. Assim, para qualquer ação realizada no contexto do Ano Internacional do Som, é importante deixar claro que esses profissionais, bem como os centros de formação, existem e estão à disposição de todos.

No Brasil temos centros de formação em acústica, vibrações, áudio, fonoaudiologia e áreas relacionadas por todo o território. Há diversos tipos de cursos, a saber:

- Cursos livres;
- Cursos técnicos;
- Graduação;
- Temas relacionados em especializações *lato sensu* (como Segurança do Trabalho); e
- Pós-graduação *stricto sensu* (mestrado e doutorado).

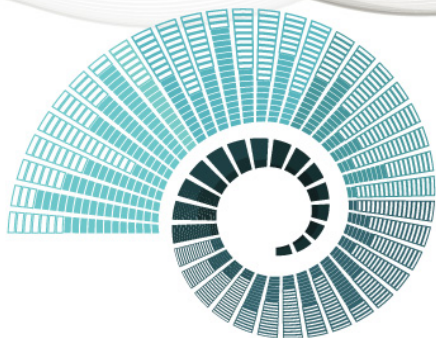
Por exemplo, quando existe uma obra de uma casa, temos que contratar profissionais específicos para cada quesito, isto é, precisamos de um projeto arquitetônico, hidráulico, elétrico, estrutural etc... Assim como precisamos de um projeto acústico. Construir e depois corrigir é uma prática que pode deixar o empreendimento muito mais caro.

É interessante ainda aclarar, que no Brasil, a profissão de Engenheiro(a) Acústico(a) é regulamentada pelos conselhos regionais e federal de engenharia, CREA e CONFEA [8] respectivamente.

## Referências

1. La Semaine du Son website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://www.lasemaineduson.org/>.
2. International Noise Awareness Day (INAD) website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://chcheating.org/noise/day/>.
3. Dia Internacional de Conscientização Sobre o Ruído (INAD Brasil) website. Disponível em: <http://inadbrasil.com/>.
4. International Year of Sound (IYS) website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://sound2020.org/>.
5. 12º Congresso Iberoamericano de Acústica & XXIX Encontro da SOBRAC website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://fia2020.com.br/>.
6. Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC) website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <http://acustica.org.br/>.
7. IYS 2020 - Student Competition. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://sound2020.org/society/student-competition/>.
8. CONFEA - Conselho Federal de Engenharia e Agronomia website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <http://www.confex.org.br/>.





# FIA 2020

XII CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA  
XXIX ENCONTRO DA SOBRAC

20 a 23 de setembro de 2020 / Florianópolis-SC

[www.fia2020.com.br](http://www.fia2020.com.br)



Realização



Secretaria executiva



Patrocinador ouro



Patrocinador prata



Ano internacional do som



Patrocinador bronze



Divulgação



**MAIS INFORMAÇÕES: +55 48 3028-2004**

## INFORMAÇÕES DA COMISSÃO

A Sociedade Brasileira de Acústica (SOBRAC) tem o prazer de convidá-los para o 12º Congresso Iberoamericano de Acústica, que será realizado em Florianópolis, de 20 a 23 de setembro de 2020. A programação incluirá palestras de especialistas mundialmente renomados, bem como apresentações de trabalhos e pôsteres sobre temas relacionados às áreas de Acústica e Vibrações. Uma exposição técnica com os últimos avanços em produtos e equipamentos e o XXIX Encontro da SOBRAC ocorrerão em paralelo ao Congresso.

O FIA2020 tem como objetivo promover o intercâmbio de experiências de pesquisadores, professores, estudantes e profissionais dos países ibero-americanos que atuam em questões de Acústica, Vibrações e áreas correlatas. Busca-se criar um ambiente de discussão entre as pessoas envolvidas na produção, difusão e aplicação de técnicas e processos nos campos de abrangência.

## DATAS PARA OS ARTIGOS

- Início da submissão de resumos: Dezembro 2019
- Prazo para submissão de resumo: até 30/03/2020
- Comunicação de aceite dos resumos: 30/04/2020
- Envio dos trabalhos finais: 30/06/2020
- Prazo para pagamento da inscrição do autor: 30/06/2020

## DATAS PARA INSCRIÇÃO

<b>Categoria</b>	<b>Até 28/05/2020</b>	<b>Até 30/06/2020</b>	<b>Até 30/06 e no local</b>
Profissional sócio FIA *	R\$ 700,00	R\$ 1.000,00	R\$ 1.200,00
Profissional não sócio	R\$ 900,00	R\$ 1.250,00	R\$ 1.500,00
Estudante sócio FIA *	R\$ 300,00	R\$ 400,00	R\$ 500,00
Estudante não sócio	R\$ 400,00	R\$ 500,00	R\$ 600,00
Acompanhante	R\$ 150,00	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Paper adicional	R\$ 150,00	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Jantar de confraternização	R\$ 130,00	R\$ 130,00	R\$ 130,00

## ÁREAS TEMÁTICAS

Acústica ambiental  
Acústica da audição e da fala  
Acústica de salas  
Acústica de edificações  
Acústica musical  
Acústica submarina  
Acústica veicular  
Acústica virtual  
Aeroacústica  
Áudio e eletroacústica  
Bioacústica  
Controle de ruído  
Ensino em acústica  
Equipamentos e medições acústicas  
Legislação e normalização em acústica  
Materiais acústicos  
Métodos numéricos em acústica  
Paisagens sonoras  
Processamento de sinais  
Psicoacústica  
Ruído e vibrações em ambiente laboral  
Ultrassom  
Vibrações e vibroacústica

\*Sócios: membros das sociedades que compõem a FIA

Desconto especial para inscrições em grupo, na categoria estudante. Mais informações no site [www.fia2020.com.br](http://www.fia2020.com.br)

## Eventos de acústica pelo Brasil e o mundo

Nesta seção são colocados alguns dos próximos eventos, congressos e encontros de acústica pelo mundo, junto com suas datas, locais e endereços virtuais.

### 2020

- **International Year of Sound 2020 (Abertura)**

- Data: 31 de janeiro de 2020
- Local: Paris, França
- <http://sound2020.org/event/opening-ceremony/>



- **3º Euro-Mediterranean Conference on Structural Dynamics and Vibroacoustics** integrando com AIDAA - Italian Association of Aeronautics and Astronautics

- Data: 17-25 de fevereiro de 2020
- Local: Nápoles, Itália
- <https://medyna2020.sciencesconf.org/>



- **8º Berlin Beamforming Conference (BeBeC)**

- Data: 2-3 de março de 2020
- Local: Berlim, Alemanha
- <http://www.bebec.eu/>



- **46º Congresso da Sociedade Alemã de Acústica (DAGA 2020)**

- Data: 16-19 de março de 2020
- Local: Hanover, Alemanha
- <http://www.daga2020.de/en/>

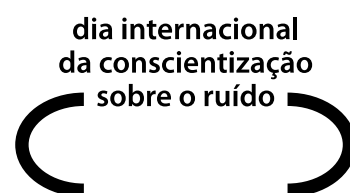


- **35º Encontro Internacional de Audiologia (EIA)**

- Data: 19-21 de março de 2020
- Local: São Paulo, SP, Brasil
- <https://www.audiologiabrasil.org.br/eia>

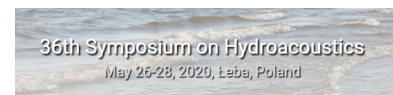


- **International Conference on Voice Physiology and Biomechanics (ICVPB)**
  - Data: 16-20 de março de 2020
  - Local: Grenoble, França
  - <https://euracoustics.org/events/events-of-2020/icvpb-international-conference-on-voice-physiology-and-biomechanics>
- **24th Conference on Acoustic and Biomedical Engineering**
  - Data: 31 de março a 3 de abril de 2020
  - Local: Zakopane, Polônia
  - <http://www.ptakrakow.pl/iab2020/>
- **Forum Acusticum 2020**
  - Data: 20-24 de abril de 2020
  - Local: Lion, França
  - <https://fa2020.universite-lyon.fr/fa2020/english-version/>
- **International Conference on Sound and Vibration**
  - Data: 23-24 de abril de 2020
  - Local: Boston, Massachusetts, EUA
  - <https://waset.org/sound-and-vibration-conference-in-april-2020-in-boston>
- **Dia Internacional de Conscientização sobre o Ruído (INAD) ou *International Noise Awareness Day***
  - Data: 29 de abril de 2020
  - Local: Mundo todo
  - Brasil: <http://inadbrasil.com/inad-2020/>
  - Internacional: <https://chcheating.org/noise/day/>
- **Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2020 (BNAM)**
  - Data: 3-6 de maio de 2020
  - Local: Oslo, Noruega
  - <https://www.bnam2020.org/>
- **179º Meeting Acoust. Soc. America**
  - Data: 11-15 de maio de 2020
  - Local: Chicago, Illinois, EUA
  - <https://acousticalsociety.org/asa-meetings/>



• **36th Symposium on Hydroacoustics**

- Data: 26-28 de maio de 2020
- Local: Leba, Polônia
- <http://sha2020.pl/>



• **Tecniacústica 2020, 51º Congreso Español de Acústica & XI Congreso Ibérico De Acústica**

- Data: 3-5 de junho de 2020
- Local: Faro, Portugal
- <http://www.sea-acustica.es/index.php?id=437>

• **CeLyA Summer School 2020: “Hearing in noise”**

- Data: 15-17 de junho de 2020
- Local: Lyon, França
- <https://euracoustics.org/events/events-of-2020/celya-summer-school-2020-201chearing-in-noise201d>

• **13th ICBEN Congr. on Noise as a Public Health Problem**

- Data: 15-18 de junho de 2020
- Local: Estocolmo, Suécia
- <https://www.icben2020.se/>



• **11th International Styrian Noise, Vibration and Harshness Congress (ISNVH)**

- Data: 17-19 de junho de 2020
- Local: Graz, Áustria
- <https://www.isnvh.at/>



• **Noise-Con 2020**

- Data: 29 de junho a 1 de julho de 2020
- Local: Nova Orleans, Louisiana, EUA
- <https://www.inceusa.org/noisecon20/>



• **International Conference on Underwater Acoustics (ICUA)**

- Data: 6-10 de julho de 2020
- Local: Southampton, UK
- <http://icua2020.org/>



- **Int. Congress on Sound and Vibration (ICSV 27)**

- Data: 12-16 de julho de 2020
- Local: Praga, República Tcheca
- <https://www.icsv27.org/>



- **XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM)**

- Data: 2-6 de agosto de 2020
- Local: Teresina, Piauí, Brasil
- <https://eventos.abcm.org.br/conem2020/>



- **AES LAC**

- Data: 10-12 de agosto de 2020
- Local: Rio de Janeiro, RJ, Brasil
- <http://www.lac2020.aesbrasil.org.br>



- **V Seminário Gaúcho de Acústica e Vibrações (SEGAV)**

- Data: 14 de agosto de 2020
- Local: Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil



- **Internoise 2020**

- Data: 23-26 de agosto de 2020
- Local: Seul, Coreia do Sul
- <http://internoise2020.org/>



- **4th Vienna Talk**

- Data: 13-16 de setembro de 2020
- Local: Viena, Áustria
- <https://viennatalk2020.mdw.ac.at/>



- **67th Open Seminar on Acoustics**

- Data: 15-18 de setembro de 2020
- Local: Ciche, Polônia
- [www.ptakrakow.pl/osa2020/](http://www.ptakrakow.pl/osa2020/)

• **12º Congresso Iberoamericano de Acústica (FIA) & XXIX Encontro da SOBRAC**

- Data: 20-23 de setembro de 2020
- Local: Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
- <https://fia2020.com.br/>
- Veja encarte detalhado na página 87.



• **47th AIA National Conference**

- Data: 23-25 de setembro de 2020
- Local: Matera, Itália
- <https://acustica-aia.it/en/event/matera2020/>



• **Symposium of Alps Adria Acoustics Association**

- Data: 24-25 de setembro de 2020
- Local: Budapeste, Hungria

• **Quiet Drones. A Symposium on Noise from UASs/UAVs**

- Data: 19-21 de outubro de 2020
- Local: Paris, França
- <https://www.quietdrones.org/>



• **Aachen Acoustics Colloquium 2020 (AAC)**

- Data: 23-25 de novembro de 2020
- Local: Aachen, Alemanha
- <https://www.aachen-acoustics-colloquium.com/>



• **International Conference on Voice Physiology and Biomechanics (ICVPB 2020)**

- Data: 30 de novembro a 4 de dezembro de 2020
- Local: Grenoble, França
- <https://icvpb2020.sciencesconf.org/>



• **6th Symposium on the Acoustics of Poro-Elastic Materials (SAPEM 2020)**

- Data: 15-17 de dezembro de 2020
- Local: Purdue University, West Lafayette, Indiana, EUA
- <http://sapem2020.matelys.com/>



**2021**

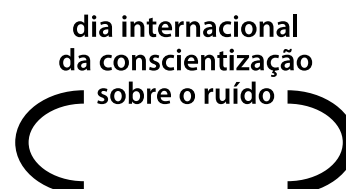
- **Noise and Vibration Emerging Methods (NOVEM 2021)**

- Data: 26-28 de janeiro de 2021
- Local: Auckland, Nova Zelândia
- <https://www.novem2021.ac.nz/>



- **Dia Internacional de Conscientização sobre o Ruído (INAD) ou *International Noise Awareness Day***

- Data: 28 de abril de 2021
- Local: Mundo todo
- Brasil: <http://inadbrasil.com/inad-2020/>
- Internacional: <https://chcheating.org/noise/day/>



- **180º Meeting Acoust. Soc. America**

- Data: 7-11 de junho de 2021
- Local: Seattle, EUA
- <https://acousticalsociety.org/asa-meetings/>



- **EuroNoise 2021**

- Data: 21-23 de junho de 2021
- Local: Funchal, Madeira, Portugal
- <http://www.spacustica.pt/euronoise2021/index.html>



- **28th International Congress on Sound and Vibration (ICSV28)**

- Data: 25-29 de julho de 2021
- Local: Singapura
- <https://iiav.org/>

- **Internoise 2021 (50th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering)**

- Data: 1-4 de agosto de 2021
- Local: Washington DC, EUA
- <http://www.i-ince.org/>

- **181º Meeting Acoust. Soc. America joint with WESPAC 2021 and the Australian Acoustical Society**

- Data: 6-10 de dezembro de 2021
- Local: Seattle, EUA
- <https://acousticalsociety.org/asa-meetings/>





---

## 2022

---

- Dia Internacional de Conscientização sobre o Ruído (INAD): 27/04/2022 (Mundo todo)
- 182º Meeting Acoust. Soc. America: 23-27/05/2022 (Denver, Colorado, EUA)
- ICA 2022 - Int. Cong. on Acoustics: 24-28/10/2022 (Gyeongju, Coreia do Sul)
- FIA 2022 - Congresso Iberoamericano de Acustica: 05-07/12/2022 (Santiago, Chile)

## Congressos online

---

- Acompanhe o site do professor António Pedro Oliveira de Carvalho (Universidade do Porto) que há sempre datas atualizadas de congressos
  - <https://web.fe.up.pt/~carvalho/congressos.htm>
- Acompanhe o site da Sociedade Europeia de Acústica (EAA) que há sempre datas atualizadas de congressos
  - <https://euracoustics.org/events/>
- Acompanhe o site da International Commission for Acoustics (ICA) que há sempre datas atualizadas de congressos
  - <https://www.icacommission.org/calendar.html>

---

Esperamos que o caro leitor possa aproveitar diversos eventos da área.

William D'Andrea Fonseca (*editor-chefe A&V*)

*(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)*

**William D'Andrea  
Fonseca**

*Universidade Federal de  
Santa Maria*

*Av. Roraima n° 1000,  
Cidade Universitária  
Santa Maria - RS*

{will.fonseca}  
@eac.ufsm.br

**Márcio Avelar**

*Universidade Tecnológica  
Federal do Paraná  
UTFPR*

*Av. Sete de Setembro, 3165 -  
Rebouças, Curitiba - PR*

{marcio.avelar}  
@gmail.com

## Agradecimentos aos autores e pareceristas da **Acústica e Vibrações**

*A Sobrac via comissão editorial gostaria de agradecer aos autores e pareceristas que contribuíram com um árduo trabalho nas edições 48, 49, 50 e 51*

A Revista Acústica & Vibrações (A&V) publica artigos técnicos em diversas áreas (como já falado na chamada para publicação na página 73). Com isso, primeiramente queremos

*expressar nossa profunda gratidão para todos os  
autores que preparam seu texto*

com cuidado e dedicação.

A qualidade dos artigos é assegurada por uma seleção de especialistas em A&V, que realizam pareceres e revisões nos artigos (no sistema duplo-cego). Cada artigo passa por pelo menos dois pareceristas, sendo que eventualmente um terceiro avaliador também é convocado. Com isso, queremos

*expressar nossa profunda gratidão para todos os  
pareceristas e revisores*

que teceram comentários, apontamentos e, além disso, dedicaram seu tempo para que a Revista A&V e a produção científica nacional pudesse crescer.

***Recebam nosso sincero e cordial agradecimento!***



A seguir os pareceristas e revisores que contribuiriam nas edições de números 48, 49, 50 e 51 (2016-2019) são de acordo nominados (em ordem alfabética, veja a Tabela 1). Todos contribuiriam, seja com um ou dez artigos, logo, cada um recebeu uma carta de agradecimento, certificando sua contribuição para aquele número.

**A Revista A&V conta sempre com o apoio de voluntários, se você tem interesse em contribuir nos escreva.**

**Tabela 1:** Pareceristas e revisores da A&V de 2016 a 2019.

Nome
Alexander Pasqual
Alexandre Pescador
Aline Lisot
Bianca Araújo
Bruno Fonseca
Bruno Masiero
Carolina Monteiro
Dinara Paixão
Elcione Moraes
Elias Teodoro
Eric Brandão
Fernando Marengo
Guilherme Deboni
Gustavo Melo
Isis Portolan
Jaime A. Mosquera Sánchez
João Paulo Ristow
Julio Alexandre M. S. Teixeira
Laís Smeha
Léa Cristina de Souza
Leandro Barbosa
Lygia Niemeyer
Marcela Maciel
Márcio Avelar
Márcio Furukava
Marcos Lenzi
Maria Fernanda Nunes
Maria Lúcia Oiticica
Marselle Barbo
Olavo Silva
Pablo Serrano
Paulo Boni
Paulo Mareze
Paulo Massarani
Rafael Heissler
Rafaella Estevão da Rocha
Ranny L. X. N. Michalski
Ricardo Musafir
Roberto Jordan
Roberto Tenenbaum
Sergio Aguirre
Stelamaris Rolla
Vanessa Bortucan
Virginia Araújo
Vítor Litwinczik
Viviane Suzey G. Melo
William D'Andrea Fonseca

Caroline Gaudeoso &  
William D'Andrea  
Fonseca

Universidade Federal de  
Santa Maria

Av. Roraima nº 1000,  
Cidade Universitária  
Santa Maria - RS

{caroline.gaudeoso,  
will.fonseca}  
@eac.ufsm.br

## Teatro de Santa Maria recebe simulação acústica virtual com Odeon

*Trabalho de conclusão de curso da Eng. Acústica da UFSM voa e chega até o site oficial do Odeon com auralização*

**Resumo:** O Theatro Treze de Maio é o mais importante de Santa Maria, cidade no coração do RS. Com isso, foi realizado um trabalho de conclusão de curso (da Engenharia Acústica da UFSM) fazendo medições de sua geometria e de várias respostas impulsivas. A partir desses dados foi possível criar um modelo 3D para avaliar novas respostas impulsivas, parâmetros objetivos e realizar auralizações (no Odeon).

### Santa Maria Theater receives Odeon Acoustical Virtual Simulation

*Abstract: The historic Treze de Maio theater is central to the city of Santa Maria, itself in the heart of Rio Grande do Sul, Brazil. A bachelor's honors thesis in Acoustical Engineering at the Federal University of Santa Maria (UFSM) was carried out within the theater, conducting measurements of its geometry, as well as several impulse responses. From the data collected, a 3D model was created using Odeon to evaluate new impulse responses, evaluate objective parameters, and perform auralizations.<sup>a</sup>*

### 1. Introdução

O Theatro Treze de Maio [1, 2] é o mais importante de Santa Maria, nele acontecem eventos de teatro, música, poesia, entre outros eventos culturais, observe a Figura 1.

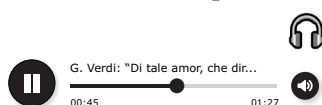


**Figura 1:** Theatro Treze de Maio, Santa Maria, RS. Vista do palco para o público (foto por Ricardo Gomes).

Na Universidade Federal de Santa Maria, temos o primeiro curso de Engenharia Acústica do Brasil [3, 4]. Nele, os alunos passam por diversas disciplinas, incluindo acústica, vibrações, elétrica,

<sup>a</sup>Os autores gostariam de agradecer ao revisor Joe Lacey pela verificação do *abstract*.

Confira o áudio suplementar



civil, arquitetura e áudio. Ao final, os alunos têm duas tarefas diferentes para concluir o curso, o trabalho de conclusão de curso (TCC) e o estágio curricular. No primeiro, os alunos devem fazer um trabalho dedicado, focando em pesquisa, aplicação e *mão na massa*. No segundo, eles têm oportunidade de colocar em prática os conhecimentos aprendidos, conhecer novos modos de trabalho e conquistar novas habilidades.

## 2. Desenvolvimento

No TCC da aluna Caroline Gaudeoso, dada a importância do teatro, buscamos fazer um trabalho que contemplasse pesquisa, estudo, medição, simulação e atendimento a comunidade, visto que o *teatro da cidade* está em estudo pela universidade.

Várias etapas foram realizadas, das primeiras, buscando plantas e medindo os espaços do teatro, passando pelas intermediárias, medindo respostas impulsivas (RI) e repostas impulsivas biauriculares (BRIR) [5] (veja a Figura 2), chegando até a parte final de maquete virtual tridimensional, estimativa de propriedades dos materiais da sala, findando em um modelo que é capaz de gerar auralizações [6] (sinais sonoros de dois canais, biauriculares).

Cinquenta e cinco receptores foram posicionados dentro do teatro, medindo-se respostas impulsivas mono e biauriculares, observe a Figura 2. Vinte delas foram selecionadas para a maquete virtual e a simulação no *software* Odeon (empresa na Dinamarca em que Caroline faz estágio atualmente [7]).

As auralizações com diversas fontes sonoras foram realizadas com base nas gravações de um trabalho da Universidade de Bolonha [8]. Os instrumentos foram gravados em uma câmara silenciosa com 12 microfones. As auralizações realizadas utilizaram as gravações do microfone posicionado em  $-10,8^\circ$  de elevação e  $0^\circ$  de azimute. Cinco posições na audiência foram selecionadas, assim como uma do regente, para a simulação virtual (pontos em azul mostrados nas Figuras 3 e 7).



(a) Cabeça artificial em detalhe

(b) Microfones na plateia

(c) Microfone e sua peça de fixação

**Figura 2:** Configurações de medição no Theatro Treze de Maio.

Visto que as propriedades de absorção dos materiais do teatro não eram conhecidas, foi utilizada uma ferramenta (do Odeon) de otimização de propriedades a partir das medições de RI realizadas. Uma investigação sobre os parâmetros dessa otimização também foi realizada, observe a interface na Figura 4 (devido a limitação de espaço, pede-se ao leitor para fazer *zoom* nas imagens).

Como pode ser verificado na Figura 5, obteve-se um bom acordo entre os parâmetros (T30, EDT, TS, C50, C80 e D50) obtidos na medição e aqueles obtidos quando utilizadas as propriedades otimizadas via algoritmo genético (na simulação). Isso é especialmente importante para que as auralizações soem o mais semelhante possível com as medições.

Com os ajustes propostos, seria possível fazer simulações para todas as 335 poltronas fixas (232 na plateia, 84 no mezanino e 19 nas varandas laterais), facilitando a comparação subjetiva do som recebido pelos espectadores.

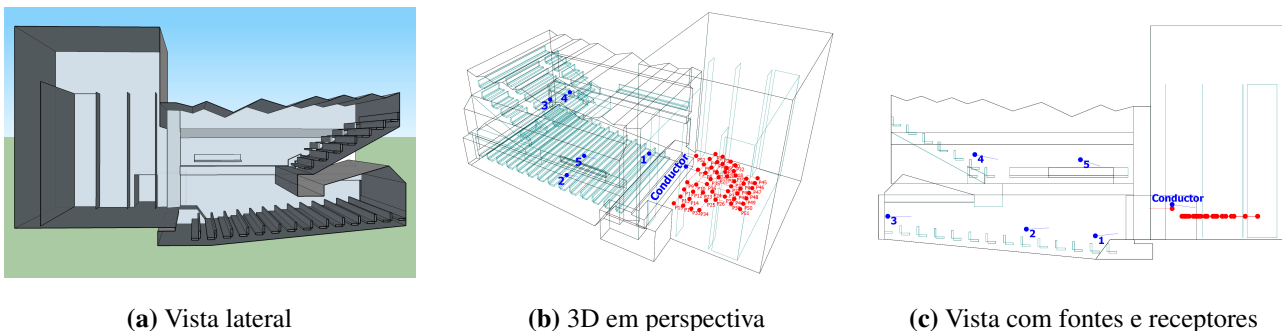


Figura 3: Maquete virtual tridimensional (fontes em vermelho e receptores em azul).

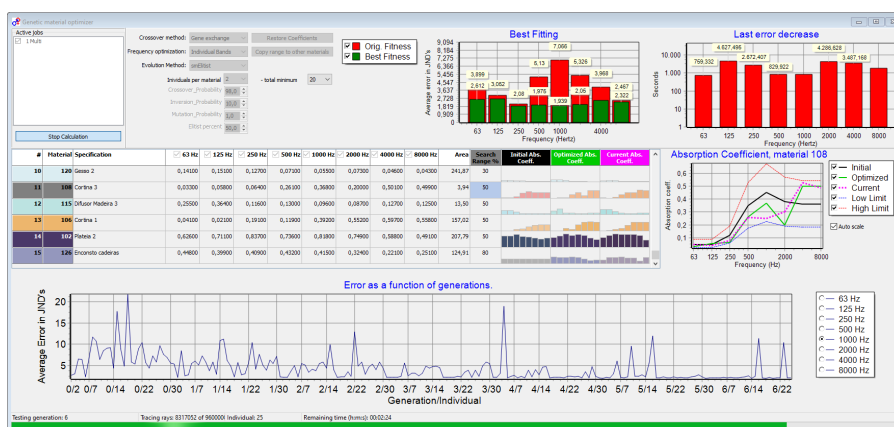


Figura 4: Otimização de propriedades de materiais a partir das RIs medidas (algoritmo genético do Odeon).

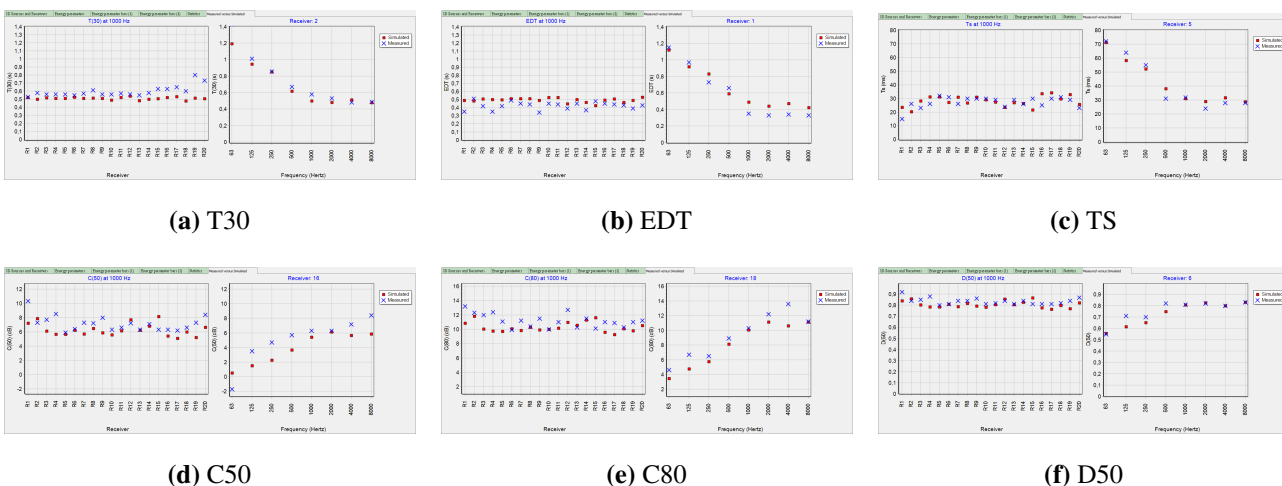


Figura 5: Comparação entre resultados estimados da medição e simulados com dados da otimização.

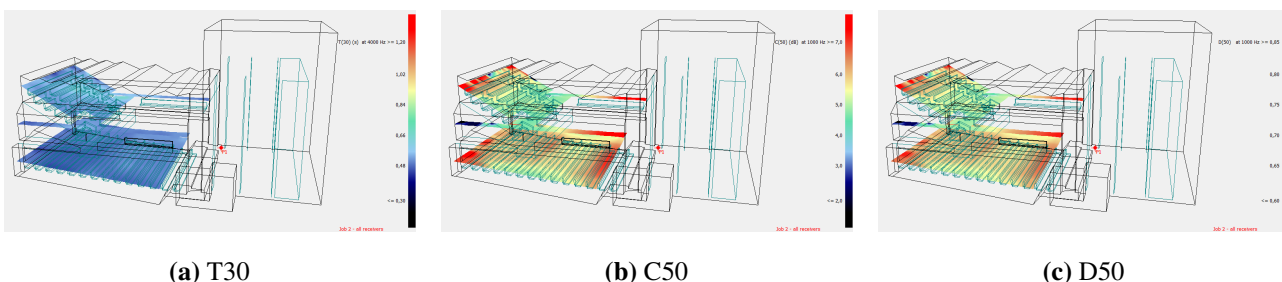
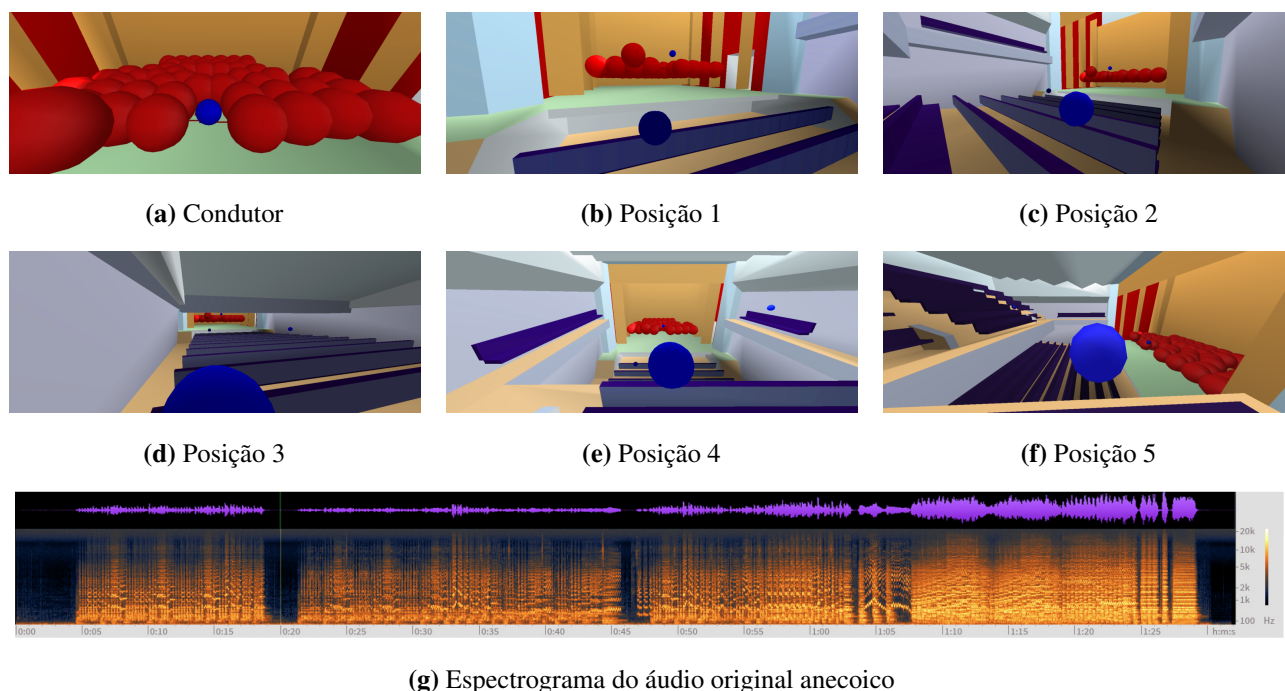


Figura 6: Respostas (em grid) simuladas com as propriedades encontradas.



(g) Espectrograma do áudio original anecoico

**Figura 7:** Maquete virtual tridimensional (fontes em vermelho e receptores em azul).

Na Figura 6 é possível se observar alguns resultados de T30, C50 e D50 em um *plot de grid* nas posições de audiência na plateia e no mezanino. Este tipo de gráfico é interessante para verificar se os ouvintes têm uma recepção sonora semelhante (situação buscada em projetos).

Ao final, depois de todas essas etapas, a experiência de ouvir traz a coroação deste bonito trabalho. É importante lembrá-los de usar um bom fone de ouvido (*headphone* circum-auricular, por exemplo) para ouvir os arquivos de áudio binaurais.

Uma breve descrição, assim como os arquivos sonoros (seis situações mais o áudio original) podem ser ouvidos (e verificados) no [site do próprio Odeon](#), fato de grande orgulho para o curso. Além de também poderem ser acessados no [site da Eng. Acústica](#)<sup>1</sup> e no [material suplementar](#)<sup>1</sup> desta edição.

### 3. Considerações finais

No primeiro semestre de 2020 o TCC deve ser concluído, com isso demais detalhes poderão ser verificados tanto na monografia, quanto em artigo subsequente que será publicado. Apesar do grande desafio de criar o modelo virtual de uma sala com tratamento acústico desconhecido, o trabalho mostra que é possível obter resultados satisfatórios utilizando a ferramenta de otimização do *software* Odeon.

### Referências

1. ALMEIDA, Luiz Gonzaga Binato de. *Theatro Treze de Maio - Um Espetáculo de História*. [S.l.]: Palotti, 2016.
2. Theatro Treze de Maio Website: [www.theatro13maio.com](http://www.theatro13maio.com). Acessado em dez. de 2019.
3. FONSECA, W. D'A. *Ensino Ativo na Engenharia Acústica*. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, 2019.
4. PAIXÃO, Dinara Xavier da; FONSECA, William D'Andrea. A experiência do ensino de graduação em Engenharia Acústica no Brasil. In: *FIA 2018 - XI Congresso Iberoamericano de Acústica; X Congresso Ibérico de Acústica; TecniaAcustica'18*. Cadiz, Espanha: [s.n.], 2018. <https://bit.ly/eac-fia2018>.
5. BLAUERT, Jens. *Communication Acoustics*. Berlin: Springer-Verlag, 2005. ISBN 9783540221623.
6. VORLÄNDER, M. *Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*. 1. ed. Berlin, Germany: Springer, 2007. ISBN 978-3540488293.
7. Odeon Website: [odeon.dk](http://odeon.dk). Acessado em dez. de 2019.
8. D'ORAZIO, Dario; CESARIS, Simona De; GARAI, Massimo. Recordings of Italian opera orchestra and soloists in a silent room. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, v. 28, n. 1, 2016. doi : [10.1121/2.0000425](https://doi.org/10.1121/2.0000425).

<sup>1</sup>Disponível em <https://bit.ly/eac-13demaio> ou <http://bit.ly/Sobrac-Sup>.



Carolina Monteiro,  
Marcel Borin,  
Marcos Holtz &  
Paola Weitbrecht

*Harmonia*  
Av. Mofarrej, 1200,  
Vila Leopoldina  
São Paulo - SP

{carolina.monteiro,  
marcel.borin,  
marcos.holtz,  
paola.weitbrecht}  
@harmonia.global

## Sala de acústica virtual voltada a projetos é inaugurada em São Paulo

*Harmonia SoundLab: acústica além dos números*

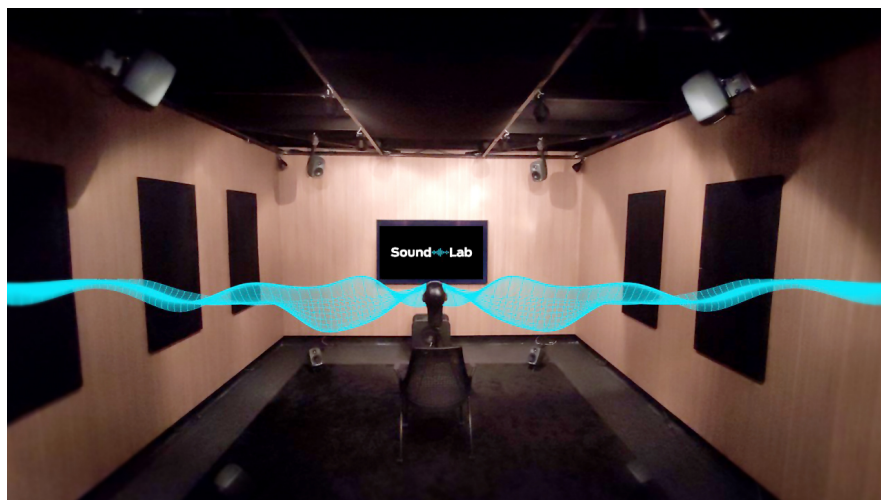
**Resumo:** O SoundLab da Harmonia é um espaço high-end de experiências virtuais acústicas, projetado criteriosamente para aproximar os usuários aos descritores e valores numéricos do âmbito técnico. Através de ferramentas de acústica Virtual, o usuário pode vivenciar a experiência sonora de um espaço que não existe mais, ou escutar como vão soar aqueles que ainda serão construídos.

### Project-oriented virtual acoustics room opens in São Paulo

*Abstract: The Harmonia SoundLab is a high-end space of acoustic virtual experiences, carefully designed to bring users closer to the descriptors and numerical values of the consultancy field. Through Virtual Acoustics tools, the user can live the sound experience of a specific space that might no longer exist or is not built yet.*

### 1. Introdução

Dada a capacidade do som de gerar *reações*<sup>a</sup> [1] das mais diversas nos seres humanos, através de adjetivos que descrevem um cenário acústico, é possível entender como nós interagimos e interpretamos o ambiente ao nosso redor.



**Figura 1:** O SoundLab da Harmonia tem como objetivo reproduzir diversos tipos de cenários acústicos da forma mais realista e imersiva possível.

No âmbito profissional da acústica, descrever um som como incômodo, agradável, forte, suave, ou qualquer outro adjetivo, não é suficiente. Diversos descritores acompanhados de valores numéricos são usados para avaliar a qualidade sonora de uma sala, ou a perda de transmissão sonora de uma fachada, por exemplo. O problema é que estes descritores e números estão desconectados da experiência mais importante para os usuários destes ambientes: Ouvir.

<sup>a</sup><https://www.youtube.com/watch?v=iSkJFs7myn0>.

Como resposta, a *acústica virtual* [2] surge como ferramenta que permite vivenciar a experiência sonora de espaços que ainda não existem ou que já deixaram de existir. Desta forma, é possível transformar os números em *sensações*<sup>1</sup> auditivas, em que qualquer um pode ouvir e tomar as próprias decisões.

Pensando na humanização do conhecimento e na melhoria da tomada de decisões em projetos, a Harmonia projetou e construiu o SoundLab, um sofisticado espaço de experiências virtuais acústicas pouco comum no Brasil, projetado para se ter um som realístico e equilibrado.

## 2. Usos do SoundLab

SoundLab é o nome dado para a *Listening Room* da Harmonia, uma sala normatizada pela ITU-R BS.1116-3 [3], que regulamenta salas para escuta crítica. Dentre os critérios exigidos, estão o ruído de fundo, tempo de reverberação, área mínima, distância entre caixas acústicas e resposta em frequência operacional de cada alto-falante. Projetada para ocupar a lacuna que existe entre os números e a percepção sonora, a sala pode proporcionar diversos usos e possibilidades:

### • Ensaios subjetivos/percepção sonora

Uma vez que a sala se encontra de acordo com uma norma para salas de audição crítica, é possível conduzir ensaios e testes subjetivos de percepção sonora. Diversas pesquisas quanto a percepção humana dos mais variados aspectos acústicos podem ser conduzidas na sala. Alguns exemplos são: a sensibilidade dos usuários a componentes em determinadas faixas de frequência no isolamento ao ruído aéreo, a adequação dos critérios da norma de desempenho ABNT NBR 15575 [4] às expectativas da população brasileira, estudos sobre a variação da performance de trabalhadores em escritórios de acordo a variação do ruído de fundo etc.

A sensação auditiva depende de uma série de características espectrais e temporais do som, e uma adequada qualidade sonora pode agregar valor de mercado a algum produto. É interessante, então, desenvolver pesquisas para avaliar a qualidade sonora de algum determinado produto para estudar a percepção sonora que os usuários possuem em relação à ele. Pode-se, por exemplo, investigar quais sons são os mais adequados para um painel eletrônico de alguma máquina.

### • Isolamento acústico

Auralização do isolamento sonoro entre ambientes. Na parte residencial tem-se enfoque na norma de desempenho ABNT NBR 15575 [4]: nível mínimo, intermediário e superior de isolamento a ruído de impacto e aéreo de pisos, de fachadas e de vedações entre unidades, ruído de equipamentos e instalações hidrossanitárias, assim como descrito na norma. É possível mostrar, então, o que um morador vai ouvir no seu quarto com diferentes tipos de esquadrias. Já em outros contextos, é interessante para analisar a privacidade entre salas de reunião ou de consultórios médicos, por exemplo.

### • Condicionamento acústico

Simulações virtuais acústicas de como soará alguma fonte sonora dentro de um ambiente com determinados tipos de materiais. Aqui podemos simular salas de aula, escritórios, salas de reunião, teatros, salas de concertos, restaurantes, templos religiosos, entre muitos outros. É possível, então, avaliar se uma sala está adequada para ensino através da inteligibilidade da fala do professor, ou se um músico conseguirá se ouvir de forma clara enquanto toca juntamente à orquestra.

<sup>1</sup><https://www.youtube.com/watch?v=pBZWcCf7WPs>.

## • Acústica ambiental

Trata-se de simular auditivamente cenários acústicos de propagação em ambientes abertos, como tráfegos urbanos, linhas de trens e passagem de aviões. Se torna uma interessante ferramenta de análise para avaliação da efetividade de planos de ações antes de sua execução. Então, pode-se considerar os efeitos de barreiras acústicas, troca de tipo de pavimento, desvio de rotas de avião, e mudanças no limite de velocidade de vias urbanas, por exemplo.

### 3. Características do SoundLab da Harmonia

Algumas características acústicas e equipamentos da sala:

- Ruído de fundo NR 10;
- Tempo de reverberação em torno de 0,15 segundos entre 250 Hz e 8 kHz;
- Área interna de piso de 21,8 m<sup>2</sup>;
- Isolamento acústico *box in box*, com caixa interna suspensa em amortecedores antivibratórios;
- Sistema de áudio multicanais 8.1;
- 8 caixas de som Genelec 8020;
- 1 Subwoofer Genelec 7060B;
- Interface de áudio Focusrite Scarlett 18i20;
- Patchbay Neutrik NYS-SPP-L1 e
- TV 65 polegadas.

A sala está aberta para visitação. Para agendar um horário e uma demonstra o, basta acessar o link [Fale Conosco](#)<sup>2</sup> no [site da Harmonia](#)<sup>3</sup>.

### Referências

1. PIERCE, Jack. *The power of music in film - How music affects film*. Spectash Productions - Youtube, acessado em nov. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=iSkJFs7myn0>{\#}action=sh.
2. LOKKI, Tapio; SAVIOJA, Lauri. Virtual Acoustics. In: HAVELOCK, David; KUWANO, Sonoko; VORL NDER, Michael (Ed.). *Handbook of Signal Processing in Acoustics*. New York, NY: Springer New York, 2008. cap. 39, p. 761–771. ISBN 978-0-387-77698-9. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-0-387-30441-0>.
3. International Telecommunication Union (ITU). *Recommendation ITU-R BS.1116-3: Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems*. Geneva: [s.n.], 2015. Disponível em: <https://www.itu.int/rec/R-REC-BS.1116/en>.
4. Associa o Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. *Desempenho de edifica es habitacionais - ABNT NBR 15575:2013*. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/curs.aspx?ID=157>.

<sup>2</sup><https://conteudo.harmonia.global/fale-com-nossa-equipe>.

<sup>3</sup><https://harmonia.global>.

*(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)*

Rémi Guastavino  
(artigo original)

Brüel & Kjær  
Lyngø, Denmark

Adaptação

Rose Esteves

HBK – Hottinger,  
Brüel & Kjær  
Rua Laguna, 276  
São Paulo, SP

{rose.esteves}  
@hbkworl.com

William D’Andrea  
Fonseca

Universidade Federal de  
Santa Maria  
Av. Roraima nº 1000,  
Cidade Universitária  
Santa Maria - RS

{will.fonseca}  
@eac.ufsm.br

## Brüel & Kjær lança moderna cabeça artificial de alta frequência

*Novo modelo do HATS Type 5128 traz novidades para usuários criteriosos que necessitam de uso até 20 kHz*

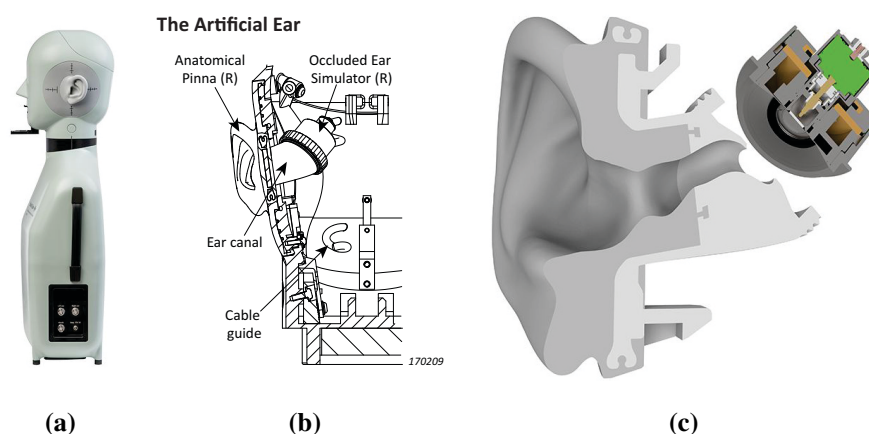
**Resumo:** Um simulador de cabeça e tronco (HATS) é um instrumento de medição objetivo com simuladores de boca e ouvido incorporados, semelhantes à dos humanos, que fornecem uma reprodução realista das propriedades acústicas de um ser humano adulto médio. O HATS de alta frequência tipo 5128 é uma evolução inovadora herdada do HATS tipo 4128. Este artigo descreve (de forma breve) os benefícios e recursos exclusivos do HATS de alta frequência.

### Brüel & Kjær releases the modern high frequency HATS

*Abstract: A head and torso simulator (HATS) is an objective measurement instrument with built-in, human-like ear and mouth simulators that provides a realistic reproduction of the acoustic properties of an average adult human. High-frequency HATS Type 5128 is an innovative evolution of the legacy HATS Type 4128. This article briefly describes the unique benefits and features of the High-frequency HATS.*

### 1. Introdução

Novo simulador de cabeça e tronco HATS Type 5128 [1, 2] traz evoluções inovadoras herdadas do HATS tipo 4128, observe a Figura 1.



**Figura 1:** HATS Type 5128 (a) Cabeça (visão lateral); (b) Vista em corte da cabeça com orelha artificial e (c) Vista 3D da pinna e em corte do simulador de orelha (adaptado do *datasheet* [3]).

O mundo da comunicação e do entretenimento está evoluindo e as expectativas dos consumidores em relação à qualidade do áudio continuam aumentando. Sabíamos que o simulador de ouvido do tipo 4128 com seu canal cilíndrico não permitia a montagem realista de dispositivos intra-auriculares. O lendário acoplador IEC 711 [4] também não foi projetado para realizar medições acústicas em toda a faixa de áudio, de 20 Hz

a 20 kHz. Portanto, decidimos construir um novo simulador de ouvido - começando com uma pinna e canal auditivo semelhantes aos dos humanos, bem como um simulador de tímpano exclusivo, que corresponde à impedância de um ouvido humano médio em toda a faixa de áudio.

## 2. Um ouvido anatomicamente correto

Coletamos as geometrias de uma grande população de ouvidos humanos usando a tecnologia de *scanner* de ressonância magnética, observe a Figura 2. A geometria completa do canal auditivo, incluindo a parte óssea adjacente ao tímpano, foi capturada. Após o processamento de todos os dados, conseguimos determinar uma geometria média do canal auditivo humano. O novo ouvido possui um canal auditivo anatomicamente correto, com um simulador de tímpano em ângulo, posicionado exatamente no local do tímpano para coincidir com o ouvido humano. Um novo design da estrutura interior da pinna foi usado para criar uma orelha mais robusta, capaz de suportar mais desgaste. A transição entre a parte mole (a orelha de silicone) e o material duro (a extremidade do canal auditivo onde você conecta o simulador de tímpano) foi projetada para manter a transição da parte mole para a óssea do canal auditivo humano.

Também adicionamos uma faixa de silicone macio ao redor da orelha para melhor vedação dos fones de ouvido. Um novo sistema de clique, com liberação rápida do simulador de ouvido, permite uma fácil troca de ouvido, se necessário. Por fim, projetamos um novo mecanismo para conectar e desconectar rapidamente o novo simulador de tímpano da orelha, permitindo o uso de geometrias personalizadas do ouvido externo e do canal auditivo.

## 3. Você mencionou um novo simulador de tímpano?

Ao medir a anatomia do canal auditivo humano, também medimos a impedância acústica da faixa completa correspondente para cada orelha e pudemos determinar uma impedância acústica humana média. Para obter uma precisão ideal da resposta do simulador de tímpanos de até 20 kHz (lembre-se de que o comprimento de onda de uma onda sonora de 20 kHz é menor que 2 cm), tivemos que usar um nível de precisão sem precedentes no design e durante os processos de fabricação, observe a Figura 2. Nosso objetivo era ter um tímpano artificial mais próximo do tímpano humano. Para acomodar isso, desenvolvemos um novo microfone pré-polarizado de  $\frac{1}{4}$  de polegada com uma resposta de pressão plana exclusiva e um novo pré-amplificador de baixo ruído. Nasceu um novo simulador de tímpano, combinando os objetivos de resposta em frequência e impedância acústica.



**Figura 2:** HATS Type 5128 (a) Pinna, canal auditivo e simulador de orelha; (b) Simulador de tímpano.

#### 4. E o simulador de boca?

O simulador de boca também foi redesenhado. Usando um alto-falante de *design* personalizado com uma geometria otimizada e um sistema de ímã mais forte, otimizamos o volume do gabinete do alto-falante, observe a Figura 3. Isso resultou em um simulador de boca em toda a faixa (com uma resposta estendida na faixa de baixa e alta frequência). Isso também permite que a boca *fale mais forte*, com um *roll-off* de alta frequência aprimorado. A nova boca também possui um amplificador embutido, simplificando as configurações de medição e reduzindo o custo do sistema.

#### 5. Eu esqueci algo?

O HATS de alta frequência tipo 5128 foi projetado com um painel lateral do conector que inclui entrada de energia e sinal para a boca e dois conectores de microfone CCLD (os microfones CCLD permitem cabos BNC baratos, *front-end* de aquisição e sistema de condicionamento, veja a ilustração na Figura 3). Você não precisa mais pescar cabos, tudo é claramente rotulado e fácil de alcançar.



Figura 3: HATS Type 5128 (a) Detalhe da boca; (b) Tipo 5128-B e (c) Tipo 5128-C (visão lateral, ilustração).

As geometrias do torso e da cabeça cumprem normas ITU-T Rec. P.58 [5], IEC 60318-7 [6] e ANSI S3.36-1985 [7].

#### 6. Por que preciso do novo HATS?

O tipo 5128 foi especialmente projetado para ser usado quando o conteúdo de alta frequência é importante. Isso pode ser testando o desempenho de áudio de dispositivos inteligentes, viva-voz, fones de ouvido ou aparelhos auditivos. O tipo 5128 carrega os dispositivos em teste com exatamente a mesma impedância que um ouvido humano comum. Isso significa que ele mede a qualidade do áudio de um dispositivo da mesma maneira que um humano perceberia a qualidade. A capacidade de medir na banda de áudio completa (20 Hz a 20 kHz) é um grande passo na avaliação do desempenho de áudio, o que potencialmente poderia facilitar a retirada do venerável acoplador IEC 711.

## Referências

1. GUASTAVINO, Rémi.  *Brüel & Kjør - High-frequency HATS, why?* Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://www.bksv.com/en/about/waves/WavesArticles/2019/High-frequency-HATS-Why>.
2. GUASTAVINO, Rémi; ESTEVES, Rose (trad.).  *Brüel & Kjør - HATS de alta frequência, por quê?* Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://www.bksv.com/pt-BR/about/waves/WavesArticles/2019/High-frequency-HATS-Why>.
3. Brüel & Kjør. *Datasheet: High-frequency Head and Torso Simulator Type 5128 Family*. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://www.bksv.com/en/products/transducers/ear-simulators/head-and-torso/hats-type-5128>.
4. IEC Central Secretary. *IEC 60711:1981 - Occluded-ear simulator for the measurement of earphones coupled to the ear by ear inserts*. Genebra, Suíça, 1981. Disponível em: <https://webstore.iec.ch/publication/17389>.
5. ITU Central Secretary. *ITU-T P.58 - Head and torso simulator for telephony*. [S.l.], 2013. Disponível em: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.58-201305-1/en>.
6. IEC Central Secretary. *IEC TS 60318-7:2017 - Electroacoustics - Simulators of human head and ear - Part 7: Head and torso simulator for the measurement of air-conduction hearing aids*. Genebra, Suíça, 2017. Disponível em: <https://webstore.iec.ch/publication/34383>.
7. ANSI Central Secretary. *ANSI S3.36-1985 (R2006) - Specification For Manikin For Simulated In Situ Airborne Acoustic Measurements*. Nova Iorque, EUA, 2006. Disponível em: <https://webstore.ansi.org/standards/asa/ansi3361985r2006>.



