

Acústica e Vibrações

Sociedade Brasileira de Acústica - Sobrac

Dezembro de 2021 - Vol. 36 ▶ Nº 53

Artigos:

Simulação do desempenho acústico de um modelo BIM a partir do esquema de dados IFC

Análise experimental das fontes de ruído em uma lavadora de roupas

Avaliação de ruído urbano durante a pandemia de COVID-19: um estudo de caso no centro de São Paulo/SP

Avaliação de algoritmos promotores de esparsidade para localização de fontes com arranjo esférico de microfones

Dose de vibração, uma abordagem diferente sobre o tema

Atenuadores para controle de ruído em sistemas de ar-condicionado: estudos com a utilização de materiais reaproveitados

Estado da arte das legislações sobre ruído ambiental na América do Sul

Validação de programa de simulação acústica de salas via intercomparação internacional e aferição de inteligibilidade

Chamadas: Publique na A&V, Associe-se à Sobrac, Congresso Iberoamericano de Acústica – FIA 2020/22 & XXIX Encontro da Sobrac e VII Seminário Gaúcho de Acústica e Vibrações (SeGAV).

News & Reviews: INAD Brasil 2021, Fim do Ano Internacional do Som – IYS'20–21, Resenhas de livros, Convênio Sobrac + SPA, O novo "Som do Silêncio" na Unicamp, Young Acousticians Network (YAN), Eleições Sobrac 2020, Festival Internacional de Música em Casa, Workshop online: Planejamento urbano acústico em zonas culturais, 1º Colóquio virtual da Sobrac NE, II Mês Acadêmico da Engenharia Acústica (UFSM), HBK 2245 Product Noise e 2245 Open API, Simulação de Acústica de Salas desenvolvidas nas universidades do Brasil, Brasil tem curso de Engenharia Acústica 5 estrelas na UFSM e Eventos de acústica pelo Brasil e o mundo.

(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)

Acústica & Vibrações

n. 53, dezembro de 2021, vol. 36

doi: [10.55753/ae.v36e53](https://doi.org/10.55753/ae.v36e53)

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

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



Comissão Editorial

Editor-Chefe

William D'Andrea Fonseca |

Editora Associada

Ranny L. X. N. Michalski |

English Proofreader

Joseph Lacey |

Capa e Diagramação

William D'Andrea Fonseca

Apoio editorial

Felipe Ramos de Mello e Eduardo M. Viera

Endereços Sobrac

UFSM – Centro Tecnológico – Sala 212

Av. Roraima no 1000, Camobi

Santa Maria, RS, Brasil - 97105-900

www.acustica.org.br |

Diretoria Sobrac 2020–2022

Presidente: Krisdany S. M. Cavalcante |

Vice-pres.: Elcione Maria L. de Moraes |

1º Sec.: Viviane Suzey Gomes de Melo |

2º Sec.: Sérgio Fernando Saraiva da Silva |

1º Tesoureira: Cândida de Almeida Maciel |

2º Tesoureira: Ranny L. X. N. Michalski |

Conselhos

Deliberativo 2020–2022

Maria Fernanda de Oliveira, William D'Andrea Fonseca, Gilberto Fuchs de Jesus, Paulo Madeiros Massarani, Roberto Jordan, Dinara Xavier da Paixão, José Augusto Mannis, Aline Lisot e Daniel Fernando Bondarenco Zajarkiewicz.

Fiscal 2020–2022

Felipe Barreiros Paim, Danielly Borges Garcia Macedo e Ítalo César Montalvão Guedes.

Regionais Sobrac 2020–2022

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

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 | 2 |
| <i>Editorial in English</i> | 4 |

Artigos

| | |
|---|-----|
| Simulação do desempenho acústico de um modelo BIM a partir do esquema de dados IFC | 7 |
| Análise experimental das fontes de ruído em uma lavadora de roupas | 17 |
| Avaliação de ruído urbano durante a pandemia de COVID-19: um estudo de caso no centro de São Paulo/SP | 37 |
| Avaliação de algoritmos promotores de esparsidade para localização de fontes com arranjo esférico de microfones | 49 |
| Dose de vibração, uma abordagem diferente sobre o tema | 67 |
| Atenuadores para controle de ruído em sistemas de ar-condicionado: estudos com a utilização de materiais reaproveitados | 81 |
| Estado da arte das legislações sobre ruído ambiental na América do Sul | 99 |
| Validação de programa de simulação acústica de salas via intercomparação internacional e aferição de inteligibilidade | 109 |

Encartes A&V

Chamadas

| | |
|--|-----|
| Publique seu artigo na A&V | 128 |
| Associe-se à Sobrac | 132 |
| Regionais da Sobrac..... | 133 |
| 12º Congresso Iberoamericano de Acústica – FIA 2020/22 & XXIX Encontro da Sobrac | 134 |
| VII Seminário Gaúcho de Acústica e Vibrações (SeGAV) | 136 |

News & Reviews

| | |
|---|-----|
| INAD Brasil 2021 | 138 |
| Fim do Ano Internacional do Som – IYS'20–21 | 146 |
| Resenhas de livros | 153 |
| Book Reviews | 159 |
| Convênio Sobrac + SPA..... | 165 |
| O novo “Som do Silêncio” na Unicamp..... | 167 |

| | |
|---|-----|
| Young Acousticians Network (YAN) | 171 |
| Eleições Sobrac 2020 (Biênio 2021–2022) | 179 |
| Festival Internacional de Música em Casa | 185 |
| Workshop online: Planejamento urbano acústico em zonas culturais | 197 |
| 1º Colóquio virtual da Sobrac NE | 201 |
| II Mês Acadêmico da Engenharia Acústica (UFSM) | 207 |
| 2245 Product Noise e 2245 Open API | 213 |
| Simulação de Acústica de Salas desenvolvidas nas universi- dades do Brasil | 219 |
| Brasil tem curso de Engenharia Acústica 5 estrelas na UFSM..... | 243 |
| Eventos de acústica pelo Brasil e o mundo | 247 |
| Congressos e Proceedings online..... | 261 |
| Acústica e Vibrações (arquivo)..... | 262 |

Editorial

Com muita satisfação, a Comissão Editorial da **Revista Acústica & Vibrações** apresenta sua edição número 53. Este exemplar traz grandes novidades: a **Revista** agora é aberta para a comunidade e atende aos critérios de indexação das principais bases de dados com a adição do identificador digital DOI. Além disso, conta com seu **próprio site** (<https://revista.acustica.org.br>), contendo o **arquivo** com todas as edições já publicadas.

Segue um pequeno histórico sobre a **Revista Acústica & Vibrações**. Concebida em 1985 pela Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac), ela era apenas um Boletim para os associados da entidade. No entanto, com o crescimento da área, em novembro de 1988, alcançou o status de **Revista**, abrangendo um maior conteúdo técnico-científico. Ao longo dos anos ela passou por muitas etapas, sendo que em 2021 acontece sua abertura para a comunidade, indexação e adição do identificador digital DOI.

A edição número 53 da **Revista Acústica & Vibrações** conta com oito artigos de diferentes ramos da área de acústica e vibrações.

O artigo de Bárbara Fengler, Karina Sá, Raquel Rossatto, e José Carlos Giner apresenta um estudo inicial do uso de um modelo em Modelagem da Informação da Construção, BIM (Building Information Modeling), a partir do esquema de dados Industry Foundation Classes, IFC, e a ferramenta IfcOpenShell, para estimar o desempenho acústico de uma divisória.

O trabalho de Jacson Vargas, Hideraldo Santos, Lucas Kulakauskas, Arcanjo Lenzi e Olavo Silva, do Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA), da Universidade Federal de Santa Catarina, apresenta uma análise experimental das fontes de ruído em uma lavadora de roupas de carregamento frontal. Foram caracterizadas as contribuições do ruído radiado pelo motor, pelo tanque e pelo gabinete da lavadora. Os resultados confirmam a hipótese preliminar de que o motor elétrico é a principal fonte de ruído da lavadora analisada.

O estudo de Ranny Michalski, Alessandra Shimomura e Roberta Mülfarth, da USP, analisou e comparou condições de ruído urbano antes e durante a pandemia no centro de São Paulo, SP, com o intuito de verificar as mudanças entre os dois cenários. Os resultados mostram uma redução nos valores medidos e confirmam a hipótese de que as medidas adotadas de restrição social impactaram na paisagem sonora urbana.

Fernanda Caldas e Bruno Masiero, da Unicamp, realizaram um estudo de avaliação de três algoritmos promotores de esparsidade para determinar a direção de fontes em uma cena sonora utilizando um arranjo esférico de microfones em três condições: cenas simuladas com e sem ruído aditivo e uma situação real com uma fonte gravada em ambiente quase anecoico. No caso das cenas simuladas, os algoritmos apresentaram um resultado satisfatório sendo capazes de determinar acuradamente o número de fontes e suas direções.

O artigo de Valdiney Sousa e Alexandre Teixeira apresenta uma abordagem diferente e de fácil interpretação sobre o tema “dose de vibração”, ao definir uma dose adimensional para vibração de corpo inteiro e aplicá-la em exemplos conhecidos em guias técnicos.

O artigo de Tais Felipetto, Maria Fernanda de Oliveira, Fernanda Rossatto, Lorenzo Kerber e Rafael Heissler busca identificar alterações em atenuadores para controle de ruído em sistemas de ar-condicionado com a incorporação de materiais fono-absorventes reaproveitados e chega a resultados de coeficientes de absorção sonora muito próximos aos de materiais primários.

O artigo de Tamáris da Costa Brasileiro-Meneses, Virgínia Araújo e Bianca Carla Dantas de Araujo

apresenta um compilado dos parâmetros para avaliação de ruído ambiental em normas e leis ambientais de países da América do Sul. Da pesquisa, concluiu-se que, no geral, os países definem os níveis sonoros permitidos a partir do zoneamento urbano e da divisão entre os períodos noturno e diurno, sendo o Paraguai o único país que apresentou valores específicos para os horários de pico.

Encerrando a seção de artigos científicos, o artigo de Viviane Melo, Roberto Tenenbaum, Edna Sofia Santos, Murilo Soares e Gabriel Sampaio, da UFSM, apresenta um estudo de validação dos resultados do código computacional RAIOS 7 de simulação numérica de acústica de salas com aurilização. São validados o cálculo dos parâmetros acústicos e as respostas impulsivas tanto monoauriculares como biauriculares.

A edição 53 conta também com dezenove encartes, apresentados nas seções *Chamadas* e *News & Reviews*. São apresentados detalhes sobre: as atividades do INAD 2021, o fechamento do Ano Internacional do Som 2020 & 2021, resenhas de cinco livros na área de acústica e vibrações (em português e inglês), o acordo de cooperação mútua assinado entre a Sobrac e a Sociedade Portuguesa de Acústica (SPA), a Sala de Escuta Crítica em construção na Unicamp, o *Young Acousticians Network* (YAN), o processo eleitoral da Sobrac referente ao biênio 2021–2022, o Festival Internacional de Música em Casa (Fimuca Áudio), o workshop online: Planejamento urbano acústico em zonas culturais, o 1º Colóquio Virtual “Cuscuz com Acústica” da Sobrac NE e o II Mês Acadêmico da Engenharia Acústica.

A seção *News & Reviews* conta também com um pequeno artigo sobre uma nova aplicação para o sonômetro Brüel & Kjær, modelo 2245, chamada *Product Noise Partner*. Outro artigo muito interessante da seção é sobre simulações de acústica de salas desenvolvidas nas universidades do Brasil. Na sequência, tem-se informações sobre o curso de Engenharia Acústica, ganhador das 5 estrelas no Guia da Faculdade do Jornal Estadão. Por fim, temos uma lista com os próximos eventos de acústica no Brasil e no mundo.

Também temos chamadas neste número: como publicar artigos na revista; como se associar à Sobrac e informações sobre FIA 2020/2022 e o VII Seminário Gaúcho de Acústica e Vibrações (Segav).

Gostaríamos também de aproveitar a oportunidade para convidar o leitor para o 12º Congresso Iberoamericano de Acústica (FIA) em conjunto com o XXIX Encontro da Sobrac, que será realizado em Florianópolis, de 28 a 31 de agosto de 2022, reagendado novamente por conta da pandemia. 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 ocorrerá em paralelo ao Congresso. Convidamos também para o VII Seminário Gaúcho de Acústica e Vibrações, realizado de forma presencial em São Leopoldo, RS, no dia 23 de setembro de 2022.

Gostaríamos de agradecer à Sobrac, aos autores e ao grupo de pareceristas-revisores, pela contribuição para a presente edição (que quebra um recorde de páginas, sendo a maior já publicada).

Aproveite a leitura!

Cordialmente,

Editores Revista A&V n° 53, dezembro de 2021.

Editorial in English

With a huge satisfaction, the Editorial Committee of **Acoustic & Vibrations Journal** (*Revista Acústica & Vibrações*) presents its 53rd edition. This issue brings great news: the **Journal** is now open to the community and meets the indexing criteria of the main databases with the addition of the DOI digital identifier. In addition, it has its **own site** (<https://revista.acustica.org.br>), which contains the **archive** with all editions already published.

Here's a little history about **Acoustic & Vibrations Journal**. Conceived in 1985 by the Brazilian Acoustic Society (Sobrac), it was just a Bulletin for the entity's associates. However, with the growth of the area, in November 1988, it reached the status of **Journal**, covering a greater technical-scientific content. Over the years it has gone through many stages, and in 2021 it opens to the community, indexes and adds the DOI digital identifier.

Issue number 53 of **Acoustic & Vibrations Journal** has seven articles from different branches of the acoustics and vibrations area.

The article by Bárbara Fengler, Karina Sá, Raquel Rossatto, and José Carlos Giner presents an initial study using a model in Building Information Modeling (BIM) from the Industry Foundation Classes (IFC) data schema, and the IfcOpenShell tool, to estimate the acoustic performance of a partition.

The work from Jacson Vargas, Hideraldo Santos, Lucas Kulakauskas, Arcanjo Lenzi and Olavo Silva, from the Laboratory of Vibrations and Acoustics (LVA), at the Federal University of Santa Catarina, presents an experimental analysis of noise sources in a front-loading washing machine. The contributions of the noise radiated by the engine, the tank and the washing machine cabinet were characterized. The results confirm the preliminary hypothesis that the electric motor is the main source of noise in the analyzed washing machine.

The study by Ranny Michalski, Alessandra Shimomura and Roberta Mülfarth, from USP, analyzed and compared urban noise conditions before and during the pandemic in downtown São Paulo, SP, in order to verify the changes between the two scenarios. The results show a reduction in the measured values and confirm the hypothesis that the adopted measures of social restriction had an impact on the urban soundscape.

Fernanda Caldas and Bruno Masiero, from Unicamp, carried out an evaluation study of three sparsity promoting algorithms to determine the direction of sources in a sound scene using a spherical array of microphones in three conditions: simulated scenes with and without additive noise and a real situation with a source recorded in an almost anechoic environment. In the case of simulated scenes, the algorithms showed a satisfactory result, being able to accurately determine the number of sources and their directions.

The article by Valdiney Sousa and Alexandre Teixeira presents a different and easily interpretation on the topic "vibration dose", by defining a dimensionless dose for whole-body vibration and applying it in known examples in technical guides.

The article by Tais Felipetto, Maria Fernanda de Oliveira, Fernanda Rossatto, Lorenzo Kerber and Rafael Heissler seeks to identify changes in attenuators for noise control in air conditioning systems with the incorporation of reused sound-absorbing materials and arrives at results of sound absorption coefficients very close to those of primary materials.

The article by Tamáris da Costa Brasileiro-Meneses, Virgínia Araújo and Bianca Carla Dantas de Araujo presents a compilation of parameters used for environmental noise assessment in standards and

environmental laws of South American countries. From the research, it was concluded that, in general, countries define the permitted sound levels based on urban zoning and the division between night and day periods, with Paraguay being the only country that presented specific values for peak hours.

Closing the scientific articles section, the article by Viviane Melo, Roberto Tenenbaum, Edna Sofia Santos, Murilo Soares and Gabriel Sampaio, from UFSM, presents a validation study of the results from RAIOS 7 computer code for numerical simulation of room acoustics with auralization. The calculation of acoustic parameters and impulse responses both monaural and binaural are validated.

Issue 53 also has nineteen inserts, presented in the *Calls* and *News & Reviews* sections. Details are presented on: the activities of INAD 2021, the closing of the International Year of Sound 2020 & 2021, the reviews of five books in the field of acoustics and vibrations (in english and portuguese), the mutual cooperation agreement signed between Sobrac and the Portuguese Society of Acoustics (SPA), the critical listening room under construction at Unicamp, the Young Acousticians Network (YAN), Sobrac's electoral process for 2021–2022, the International Festival of Music at Home (Fimuca Áudio), the online Workshop: Acoustic urban planning in cultural zones, the 1st Virtual Colloquium “Cuscuz com Acústica”, and the 2nd Academic Month of the Acoustical Engineering (UFSM).

The *News & Reviews* section also has a short article about a new application for the Brüel & Kjær sound level meter, model 2245, called Product Noise Partner that makes measuring sound power much easier. Another very interesting article in the section is about room acoustics simulations developed at Brazilian universities. Following, informations concerning the Acoustical Engineering program, winner of the five stars given by *Estadão News' College Guide*. Finally, there is a list with upcoming events in acoustics throughout Brazil and the world.

We also have calls in this issue: how to publish articles in the journal; how to join Sobrac; and information about FIA 2020/2022 and about the VII Southern Seminar on Acoustics and Vibrations (Segav).

We would also like to take the opportunity to invite the reader to the 12th Ibero-American Acoustics Congress (FIA) together with the XXIX SOBRAC Meeting, which will be held in Florianópolis, from August 28 to 31, 2022, rescheduled again due to the pandemic. The program will include lectures by world-renowned experts, as well as presentations of papers and posters on topics related to the areas of Acoustics and Vibrations. A technical exhibition with the latest advances in products and equipment will take place in parallel with the Congress. We also invite you to the VII Southern Seminar on Acoustics and Vibrations, held in person in São Leopoldo, RS, on September 23, 2022.

We would like to thank Sobrac, the authors and the group of reviewers for their contribution to this edition (which breaks a page record, being the largest ever published).

Enjoy reading!

Cordially,

Editors A&V n° 53, December 2021.

Simulação do desempenho acústico de um modelo BIM a partir do esquema de dados IFC

Fengler, B.^{1, 2} ; Sá, K. S.²; Rossatto, R. R.²; Giner, J. C.²

¹ Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, barbarafengler@usp.br

² Giner, São Paulo, SP, {barbara, karina, raquel, jcginer}@giner.com.br

Resumo

O presente artigo tem como objetivo principal verificar a possibilidade de utilizar um modelo em Modelagem da Informação da Construção, BIM - *Building Information Modeling*, para estimar o desempenho acústico de uma divisória. Para a análise, foi realizado um projeto simplificado em *software* específico de modelagem BIM e exportado o esquema de dados *Industry Foundation Classes*, IFC. De posse do esquema de dados, foram extraídas todas as informações geométricas e especificações do projeto no arquivo IFC com auxílio da biblioteca *IfcOpenShell* em Python. Com os dados extraídos, foram realizados os cálculos para determinação do desempenho acústico com Análise Estatística Energética (SEA) em *software* de processamento de sinais. Para fins de comparação, foi realizada a simulação de desempenho acústico do mesmo projeto no *software* comercial SONArchitect ISO, seguindo os procedimentos usuais de simulação. As propriedades dos materiais consideradas tanto no cálculo por SEA quanto na simulação pelo *software* comercial foram as mesmas. Foi definido o parâmetro $D_{nT,w}$ para análise por ser requisito da norma de desempenho ABNT NBR 15575. Apesar das limitações dos cálculos de desempenho acústico por SEA verificadas e da complexidade para extração das informações necessárias do IFC, foram obtidos resultados de $D_{nT,w}$ próximos, sendo entretanto notável uma divergência maior em baixas frequências, estando de acordo com estudos anteriores. Dessa forma, conclui-se que o objetivo principal do presente estudo foi alcançado, uma vez que mostra ser possível a realização de simulações de desempenho acústico com um modelo BIM.

Palavras-chave: desempenho acústico, simulação, BIM, IFC.

PACS: 43.50.Sr, 43.55.Ka, 43.58.Ta.

Acoustic Performance Simulation of a BIM model from the IFC Data Schema

Abstract

This article has the objective of verifying the possibility of using a BIM (Building Information Modeling) model to estimate the acoustic performance of a partition. For that goal, a simplified BIM model using a specific software was realized and the Industry Foundation Classes (IFC) data schema of these model was exported. With the data, all the geometrical information and specifications of the project on the IFC with the IfcOpenShell library were extracted using the Python tool. With the extracted data, the Statistical Energy Analysis (SEA) was used to determinate the acoustic performance. The calculation was performed in the signal processing software. For comparison purposes, the simulation of the same project was performed using the commercial software SONArchitect ISO, following the usual simulation procedures. The material properties considered in SEA analysis were the same for the simulation in commercial software. The parameter $D_{nT,w}$ was defined for analysis as it is a requirement of the Brazilian performance standard ABNT NBR 15575. Despite the limitations of the acoustic performance calculations by SEA and the complexity to extract information of IFC, close results were obtained comparing the two methodologies. However, it was remarkable a larger divergence in the low frequencies, according to previous studies. Thus, the main objective was achieved, since it is possible to perform simulations of acoustic performance with a BIM model.

Keywords: Acoustic performance, simulation, Building Information Modeling, IFC.

1. INTRODUÇÃO

Em 2013, foi aprovada a norma técnica ABNT NBR 15575 Edificações Residenciais – Desempenho [1], dividida em seis partes, sendo a maioria dessas partes revisadas em 2021 [2]. Embora no Brasil não seja obrigatória a aplicação de normas técnicas, o Código de Proteção e Defesa do consumidor [3] determina que em um processo de compra e venda todos os padrões técnicos devem ser atendidos.

A norma de desempenho ABNT NBR 15575 [2] estabelece requisitos acústicos para ruído aéreo que devem ser atendidos por elementos de vedação vertical (externa e interna). Já sistemas de piso devem estar de acordo com os critérios de ruído aéreo e de ruído de impacto. A mesma norma ainda apresenta valores de referência para sistemas prediais, sendo esses apenas de caráter informativo, portanto, não obrigatório. Todos esses requisitos são categorizados para atendimento ao desempenho mínimo (M), intermediário (I) e superior (S).

A aprovação de uma norma técnica que apresenta critérios para desempenho acústico é um grande passo para garantir melhores condições de moradia ao consumidor final, mesmo que os valores da norma sejam relativamente brandos se comparados com regulamentações de outros países como Portugal, Alemanha e Argentina, conforme Rasmussen [4] e Instituto Argentino de Normalização e Certificação [5].

Paralelamente, existe a necessidade de economia por parte das construtoras. Para isso, uma boa prática comum para evitar futuros problemas, reclamações e despesas não previstas em orçamento é a realização de simulações computacionais de desempenho de diversas disciplinas. Ao simular o desempenho acústico dos elementos construtivos tradicionais, os resultados das simulações são muito exatos em relação às medições realizadas *in loco* posteriormente [6].

Contendo geometria precisa e dados relevantes das construções, o modelo BIM (*Building Information Modeling*) apresenta-se adequado para a realização de simulações acústicas [7]. De acordo com a NBR/ISO 12006-2 [8], o termo

Building Information Modeling pode ser traduzido como Modelagem da Informação da Construção. De acordo com Tan [7], no mercado de construção civil, nos últimos anos, o termo BIM deixou de ser um modismo com poucos pioneiros, para ser a peça central da tecnologia do mercado de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), abordando aspectos de projeto, construção e operação de edifícios. Com essa tecnologia, um modelo preciso de um edifício é construído digitalmente [9].

Segundo Corrêa e Santos [10], o processo BIM permite um fluxo de trabalho colaborativo e mais eficiente tanto em empreendimentos de edificações, quanto de infraestrutura pesada. O esquema de dados *Industry Foundation Classes*, IFC, promovido pela organização BuildingSMART, tornou-se um padrão internacional para consolidar a interoperabilidade durante todo o ciclo de vida da edificação.

De maneira simples, o esquema de dados IFC pode ser entendido como um arquivo de texto exportado do modelo BIM, o qual foi construído digitalmente em *software* específico. Esse arquivo apresenta todos os dados e especificações que foram inseridos no modelo, a partir de uma estrutura de informações orientada a objetos. A organização BuildingSMART tem concentrado seus esforços para desenvolver o esquema de dados IFC a fim de viabilizar o OpenBIM, *software* gratuito, e consequentemente evitar a utilização do BIM apenas em *software* e desenvolvedores já consolidados no mercado mundial.

Além disso, o decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019 [11] instituiu estratégias para disseminação do BIM no Brasil. Em alguns estados do país, como os de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná, licitações para obras públicas já estão restritas ao BIM [12]. Além dos incentivos legislativos, estudos como o de Suermann e Issa [13] mostram as vantagens da utilização do BIM em termos de qualidade, preço e prazo das obras. Nesse sentido, a adoção do processo BIM no Brasil tende a aumentar.

Recentemente, houve um esforço pela adoção

de ferramentas de *software* BIM em projetos acústicos [14]. Entretanto, os dados geralmente são recuperados de um modelo BIM e são utilizados em *software* de simulação acústica, como EASE, Odeon e CATT-Acoustics [15].

O presente artigo busca avaliar a possibilidade de identificar no esquema de dados IFC todas as informações necessárias e utilizá-las para cálculo do isolamento acústico de um sistema construtivo. Esse cálculo, por sua vez, é realizado conforme método de simulação baseada em Análise Estatística de Energia, SEA (*Statistical Energy Analysis*). Dessa forma, caso seja possível obter facilmente os parâmetros necessários do IFC, evita-se o uso de modelos simplificados, seja para utilizar *software* comercial de simulação acústica, conforme apresentado por Forneck [16], ou para realizar as simulações acústicas localmente no *software* BIM conforme Erfani [14].

2. REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Corrêa e Santos [10], “o IFC é um modelo de dados que procura representar todos os componentes ou objetos relevantes ao ambiente construído.” Assim, os modelos digitais podem ser trocados entre diferentes plataformas e ferramentas de *software*, possibilitando uma adequada e detalhada troca de informações entre projetistas, fornecedores, construtores, orçamentistas etc. No esquema de dados IFC podem ser encontradas diversas informações, como o local da futura construção até especificações das composições construtivas.

Tendo essa informação em vista, não só projetistas acústicos quanto de diversas disciplinas não têm medido esforços para conseguir utilizar essa grande quantidade de dados para realizar e/ou alimentar suas análises. Simulações de desempenho estrutural, por exemplo já podem ser realizadas localmente em *software* de modelagem BIM com *plug-in* específico. Para estudos acústicos, não existem, ainda, aplicativos próprios dentro dos *software* de modelagem BIM capazes de realizar os cálculos necessários avançados, devido às diferenças entre os modelos de dados [17].

Na área de acústica, alguns estudos [7, 14] mostram resultados satisfatórios com a utilização de BIM. Os estudos realizaram comparações entre simulações realizadas de maneira tradicional, sem utilização do BIM, e a partir dos dados IFC. Entretanto, em ambos os casos, foram necessárias simplificações nos modelos para conseguir realizar as simulações. Vale ponderar que o estudo de Tan [7] apresentou problemas de interoperabilidade entre o BIM e o *software* de análise acústica, limitando as aplicações na prática. Os estudos citados foram realizados para simulação do tempo de reverberação das salas. No entanto, o presente artigo busca a realização da simulação do desempenho acústico referente ao isolamento acústico entre salas adjacentes, conforme parâmetros apresentados pela norma de desempenho ABNT NBR 15575 [2].

Já o estudo de Erfani [14] apresenta como uma possível solução para esse problema a execução das simulações acústicas localmente no *software* BIM. Nesse estudo, foi atingido o objetivo de integração, o que, conforme indicado pelos autores, poderia aumentar a produtividade, facilitando ciclos de *feedback* entre arquiteto e projetista acústico. Entretanto, os autores do estudo citado não conseguiram realizar isso sem simplificações no modelo.

Para cálculo de desempenho de isolamento acústico a partir do modelo BIM, o *software* CypeCad MEP utiliza os dados IFC para cálculo conforme norma ISO 12354 [18]. O CypeCad MEP, desenvolvido para detalhamento e dimensionamento de instalações prediais, é um dos *software* integrantes do Cype 2016, constituído para interligar diversos módulos [16]. Entretanto, Forneck [16] conclui em seu estudo que, para realizar o cálculo de desempenho acústico com o *software* citado, é necessário redesenhar o modelo BIM de forma simplificada. Nesse caso, seria perdido todo o nível de especificação e detalhamento, bases essenciais do conceito BIM.

Utilizando o mesmo *software*, o estudo de Montenegro [17] apresenta a viabilidade de realizar simulações similares às requeridas pela norma de desempenho brasileira [2], entretanto apenas

com um fluxo de trabalho específico e a necessidade de ajuste do modelo arquitetônico para um modelo analítico para realização dos cálculos de isolamento acústico dos sistemas definidos.

Para divisórias entre unidades habitacionais autônomas, a norma ABNT NBR 15575 [2] apresenta requisitos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$. Assim, baseado em SEA, é possível calcular o $D_{nT,w}$ para a divisória entre os dois ambientes do modelo avaliado. Esse parâmetro é calculado a partir do resultado das medições da Perda de Transmissão, TL (*Transmission Loss*), realizadas por meio do procedimento descrito na ISO 16283-1 [19] e com procedimento de ponderação definido pela ISO 717-1 [20].

A metodologia de simulação SEA é aplicada em diversas áreas da engenharia. No caso específico para isolamento acústico, o método é utilizado para prever a perda de transmissão sonora, a resistência à radiação e a amplitude de vibração de uma partição [21]. O cálculo considera as propriedades físicas do elemento de separação e as características geométricas dos ambientes e do próprio elemento de partição. É simulada uma quantidade de energia sendo gerada em uma das salas e, a partir das características dos elementos construtivos, é estimada a perda da energia e, assim, a energia sonora que é transmitida à sala adjacente. Com base nesses valores verificados em cada ambiente, é possível calcular o isolamento acústico da partição, dado pela $D_{nT,w}$.

No cenário atual de projetos de isolamento acústico, é utilizada como referência a norma ISO 12354 [18], que apresenta metodologia de cálculos para a simulação de propagação de ruído em diferentes sistemas, tanto para ruído aéreo, quanto para ruído de impacto. Os métodos de cálculos apresentados especificamente na parte 1 da norma [18] são derivados da metodologia SEA. Mesmo que decorrentes dessa metodologia, torna-se importante salientar que os procedimentos apresentados pela ISO 12354-1 consideram as transmissões secundárias, não levadas em conta nos modelos mais simples em SEA.

Para o cálculo de isolamento acústico, conforme apresentado por Crocker e Price [21], é considerada a energia dentro de um dos ambientes e a transmissão para os demais ambientes é calculada pela transmissão direta, por meio da Lei da Massa. Ainda, são analisados também os fatores de perda pelos acoplamentos de todas as conexões existentes e por amortecimento, sendo necessário, para isso o cálculo de densidade modal da divisória, número de ondas de flexão dos elementos de partição e as densidades modais dos ambientes em análise.

É relevante ressaltar que em seus estudos, Crocker e Price [21] verificaram uma variação entre resultados estimados por meio do SEA e medidos, devido às simplificações das condições de contorno. O mesmo estudo ainda alerta para uma limitação do método em baixas frequências.

3. METODOLOGIA

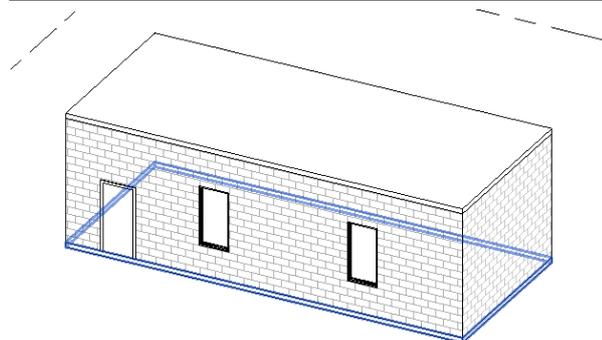
Para fins de estudo, foi escolhido verificar inicialmente apenas o desempenho acústico para ruído aéreo de uma divisória, a fim de validar os procedimentos de análise e cálculos. Para isso, foi utilizado um modelo de uma edificação simples em BIM, modelado no *software* REVIT 2020 e tendo seu arquivo IFC exportado na versão de esquema de dados do IFC 2x3. O modelo estudado é apresentado na Figura 1.

O mesmo projeto foi considerado para simulação da forma convencional, que se resume a redesenhar o modelo no *software* comercial de simulação acústica SONArchitect ISO e realizar as simulações de desempenho acústico localmente.

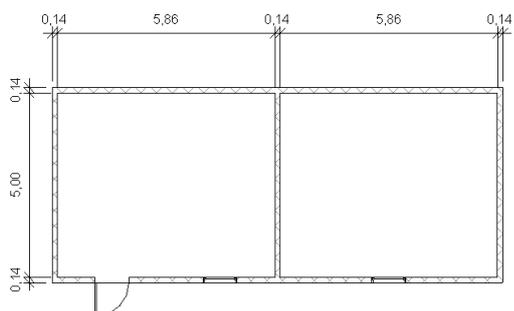
No presente estudo, o desafio é conseguir utilizar os dados do modelo BIM contidos no esquema IFC para simulação de desempenho acústico sem a necessidade de redesenhar o modelo.

3.1 Simulação de desempenho acústico - modelo BIM a partir dos dados IFC

Sendo o esquema IFC um conjunto completo de dados em formato de texto com todas as infor-



(a) Modelo BIM do projeto estudado.



(b) Planta do projeto estudado.

Figura 1: Modelo do projeto de estudo avaliado em ambas metodologias.

mações do projeto [10], a partir desse arquivo exportado do modelo de estudo, foram verificados e extraídos todos os parâmetros necessários por meio de uma rotina em linguagem de *script* Python, com a biblioteca de código aberto *IfcOpenShell* [22], que tem por objetivo auxiliar os usuários e desenvolvedores a trabalharem com formato de arquivo IFC. Essa rotina foi desenvolvida para localizar e resgatar as informações necessárias para o estudo acústico sem que seja necessário ter um *software* comercial para verificação no próprio modelo BIM. Isso é possível tendo em vista que as informações dentro do IFC são organizadas em uma estrutura de programação orientada à objetos, desde a identificação dos ambientes até a composição e propriedades sobre cada um dos sistemas construtivos.

Por meio da rotina, foram identificados os ambientes e desses extraídas as informações geométricas. Também foram localizadas dentro do esquema de dados IFC cada uma das vedações dos

ambientes e obtidas suas características, como espessura total, composição e espessura de cada camada, existência ou não de esquadrias, área e especificação das esquadrias existentes etc. Os parâmetros identificados a partir dos dados contidos no arquivo IFC foram: volume e área de cada um dos ambientes; área, composição e espessura da divisória entre esses ambientes, ou seja, da divisória em análise. Além da divisória em questão, podem ser verificadas as propriedades das demais composições, como divisórias secundárias, laje inferior e superior, que contribuem para o isolamento acústico, através das chamadas transmissões secundárias.

Após serem identificadas as composições das vedações dos ambientes, os sistemas construtivos foram modelados no *Insul* [23], *software* comercial com um banco de dados de materiais com suas respectivas propriedades. Modelados os sistemas, foram extraídos os parâmetros, como densidade, módulo de elasticidade e razão de Poisson para utilização nos cálculos da simulação. O Quadro 1 apresenta as informações extraídas do IFC e propriedades verificadas no *Insul*.

Quadro 1: Dados considerados nas simulações.

| Informação/Propriedade | Valor | Retirado de |
|------------------------|------------------------------|-------------|
| Área sala recepção | 29,3 m ² | Modelo/IFC |
| Área sala emissão | 29,3 m ² | Modelo/IFC |
| Pé direito | 3,86 m | Modelo/IFC |
| Área janelas | 1,5 m ² | Modelo/IFC |
| Área porta | 2 m ² | Modelo/IFC |
| Área parede de gemação | 19,3 m ² | Modelo/IFC |
| Tipo da partição | Bloco de concreto estrutural | Modelo/IFC |
| Espessura da partição | 14 cm | Modelo/IFC |
| Densidade da partição | 940 kg/m ³ | Insul |
| Módulo de Elasticidade | 2,54 GPa | Insul |
| Razão de Poisson | 0,006 | Insul |

De posse desses dados, os cálculos de análise estatística energética foram realizados no *software* de processamento de sinais, Matlab, no qual foi desenvolvida uma rotina própria para os cálculos. Os dados de entrada para o cálculo foram as características geométricas, extraídas do IFC, e as propriedades dos materiais, verificadas no Insul, todas especificadas anteriormente.

Para cálculo baseado em SEA, o presente estudo utilizou na íntegra os procedimentos de cálculo apresentados por Crocker e Price [21]. A metodologia considera dois sistemas acoplados por um painel e, a partir das características desses 3 elementos, a transmissão da energia direta entre os sistemas e entre os sistemas e o painel.

De forma geral, o cálculo consiste em considerar uma determinada energia sonora no ambiente denominado “1” e verificar o Nível de Pressão Sonora, NPS. A partir das propriedades físicas e geométricas utilizadas como dado de entrada, são calculados os números de onda de flexão e densidade modal da parede de geminação e os fatores de perda por acoplamento e amortecimento. Com isso, é calculada a perda de transmissão da divisória. De posse dessa perda de transmissão, pode ser calculada a energia transmitida para o segundo ambiente, e a partir disso, o NPS no ambiente “2”. Essa etapa busca simular o que é feito a partir da medição *in loco* normatizada pela ISO 16283-1 [19].

Com os níveis de pressão sonora médios em cada uma das salas e ponderação decorrente do tempo de reverberação, é possível calcular a diferença padronizada de nível D_{nT} para cada banda de frequência, conforme o procedimento apresentado na ISO 16283-1 [19]. Para fins de simulação e comparação entre as metodologias, o valor do tempo de reverberação considerado foi de 0,5 s, tempo de reverberação de referência, visto que no modelo de estudo não foram definidas os materiais de acabamento considerados.

Por fim, para determinar o desempenho acústico como um valor único, utiliza-se o procedimento descrito na ISO 717-1 [20], sendo realizado um

ajuste da curva de referência em relação à curva da diferença padronizada do nível de pressão sonora no passo de 1 em 1 dB até que a soma das diferenças (apenas para D_{nT} medido menor que o da referência) entre referência e D_{nT} medido seja próxima, mas não maior, do que 32 dB. O $D_{nT,w}$ será o valor dessa curva ajustada em 500 Hz.

3.2 Simulação de desempenho acústico - forma convencional

Para fins de comparação, foi simulado o mesmo modelo no *software* comercial SONArchitect ISO (versão 3.1.11), utilizado pelas principais empresas de consultoria acústica no Brasil. O modelo gráfico de simulação nesse *software* pode ser visualizado na Figura 2, sendo representados os ambientes receptor (em azul) e emissor (vermelho).

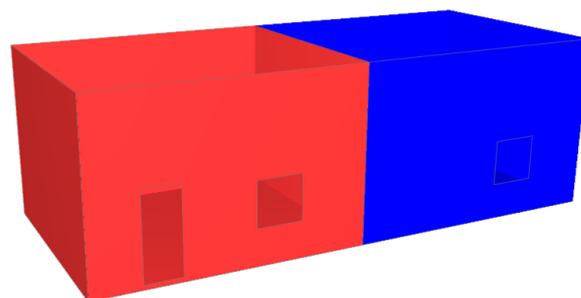


Figura 2: Modelo de simulação no *software* SONArchitect ISO.

O *software* utiliza para simulação os cálculos apresentados pela norma ISO 12354:2017 [18]. No *software* SONArchitect ISO são consideradas as propriedades da divisória importadas do *software* Insul. Dessa forma, é possível garantir que tanto o modelo geométrico quanto as propriedades físicas dos materiais considerados em ambos os modelos são exatamente os mesmos.

A fim de auxiliar no entendimento da metodologia adotada, a Figura 3 apresenta um esquema resumido e explicativo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seguindo a metodologia apresentada na Seção 3, o $D_{nT,w}$ obtido através do cálculo realizado em

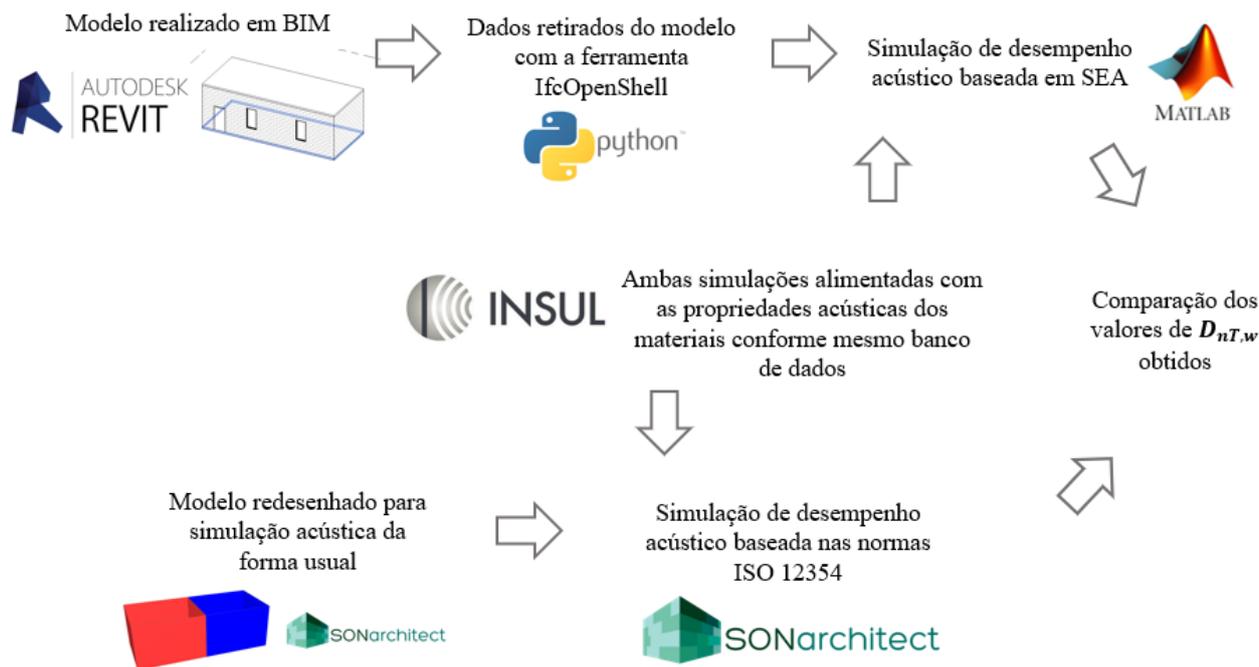


Figura 3: Resumo explicativo da metodologia utilizada.

software de processamento de sinais, com os parâmetros extraídos do IFC com a análise estatística energética, foi de 42 dB. Já na simulação de desempenho acústico pelo *software* SONArchitect ISO, o valor resultante foi de 44 dB.

O desempenho acústico obtido por meio de cada uma das metodologias de simulação utilizadas e as respectivas curvas de referência podem ser verificados na Figura 4.

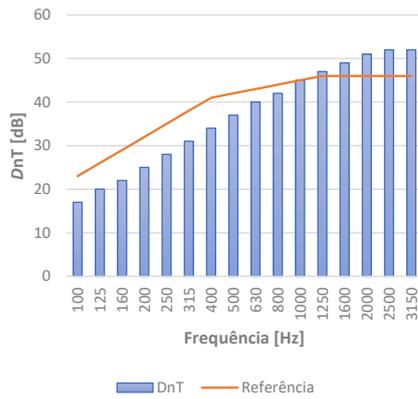
Apesar do resultado ponderado, $D_{nT,w}$, estar próximo entre as simulações, é possível verificar uma diferença considerável entre os resultados, especialmente nas baixas frequências. Em 63 Hz o erro absoluto entre os valores de D_{nT} obtidos por cada um dos métodos chega a 20 dB. Com o aumento da frequência, o erro absoluto entre os métodos diminui e a partir de 500 Hz, a diferença é de 1 dB na maioria das bandas de frequência, conforme indicado na Figura 5. De acordo com Cotoni [24] e Crocker e Price [21], as simulações baseadas em SEA apresentam, de fato, uma limitação nessa faixa de frequências.

Ainda, é importante considerar que o resultado no *software* SONArchitect ISO é bastante confiável, uma vez que, conforme indicado por Simmons [25], há uma diferença em média de

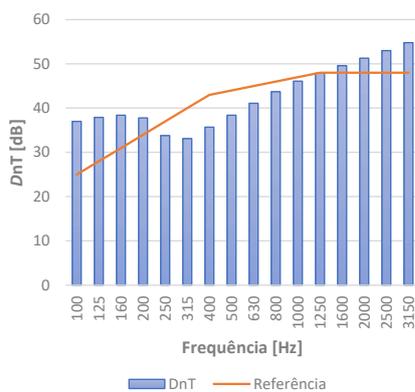
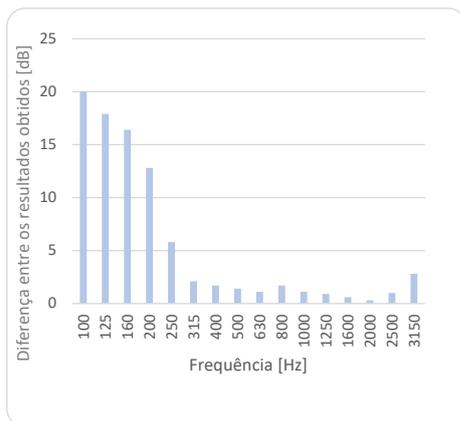
3 dB entre valores medidos *in loco* e simulados de acordo com os procedimentos da norma ISO 12354 [18]. O estudo de Romero [26] mostra que no cenário nacional é atingido o mesmo padrão de exatidão. É importante ponderar, ainda, que a diferença entre os valores globais encontrados em cada uma das metodologias é inferior à diferença usual entre valores simulados e ensaiados em campo verificados por Simmons [25].

Conforme indicado por Craik [6], deveriam ser considerados os materiais utilizados nas chamadas transmissões secundárias (composição de piso e de forro, nesse caso), transmissões por “junta T” etc. Nos cálculos realizados de acordo com a ISO 12354 [18], ou seja, pelo *software* SONArchitect ISO, essas características são consideradas.

É importante enfatizar também que para obter os parâmetros necessários, o modelo BIM deve ser construído de maneira correta: com a criação de espaços e as propriedades inseridas de maneira específica no modelo digital, o que infelizmente ainda não é a realidade de parte dos projetos no Brasil. Nesse sentido, os estudos da comissão ABNT/CEE-134 - Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da



(a) Simulação com análise energética (SEA).

(b) Simulação com o *software* comercial SONArchitect ISO.**Figura 4:** Resultados de D_{nT} obtidos.**Figura 5:** Erro absoluto entre valores de D_{nT} obtidos a partir de simulação com análise energética (SEA) e com o *software* comercial SONArchitect ISO.

Construção - tem a importante função de buscar essa padronização.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos se mostram satisfatórios, uma vez que se conseguiu realizar a simulação de desempenho acústico a partir dos dados extraídos do IFC, embora o resultado não tenha sido muito compatível com a metodologia de simulação de desempenho acústico usual. Ainda, é necessário evidenciar que o presente estudo é inicial e simplificado.

A diferença do valor ponderado, $D_{nT,w}$, entre as simulações no presente estudo pode ser decorrente tanto da limitação do modelo SEA para baixas frequências, como da desconsideração das transmissões secundárias. Ainda, é importante ressaltar que em um modelo mais complexo, como normalmente tem-se em edificações residenciais, essas outras transmissões tendem a apresentar uma influência ainda maior nos resultados.

Mesmo com essas diferenças entre as metodologias de cálculo empregadas, o objetivo principal do presente estudo foi alcançado, uma vez que fica evidente que podem ser realizadas simulações de desempenho de isolamento acústico a partir do IFC de um modelo BIM. É notório, entretanto, que devem ser realizados estudos mais aprofundados que utilizem os dados do modelo IFC e cálculos de todos os requisitos apresentados pela norma ABNT NBR 15575 [2], utilizando os procedimentos de cálculo apresentados pela norma ISO 12354 [18].

Vale ressaltar que o modelo BIM utilizado foi construído especificamente para o presente estudo. Por esse motivo, pode ser considerado um modelo bastante simplório e relativamente fácil de ser analisado com a ferramenta IfcOpenShell. Entretanto, em projetos reais a quantidade de informações será muito maior, aumentando a dificuldade de análise, identificação dos ambientes e extração das informações necessárias a partir da ferramenta IfcOpenShell.

Além de futuros estudos fundamentais como análise de modelos mais complexos e com as metodologias de cálculos da norma ISO 12354 [18], pretendidas pela equipe de pesquisa, outras etapas se mostram importantes por parte

dos desenvolvedores de *software*, como automação do processo.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Giner por disponibilizar o acesso aos *software* utilizados na presente pesquisa e pelo incentivo à sua equipe para desenvolvimento neste e em demais assuntos pertinentes.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575: Edificações habitacionais - desempenho*. Rio de Janeiro, 2013.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575: Edificações habitacionais - desempenho*. Rio de Janeiro, 2021.
3. BRASIL. *Código de Defesa do Consumidor*. [S.l.], 1900. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil03/Leis/L8078.html>.
4. RASMUSSEN, Birgit. Building acoustic regulations in Europe - Brief history and actual situation. In: NORDIC ACOUSTIC ASSOCIATION. *Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2018*. [S.l.], 2018. p. 1–16.
5. INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *IRAM 4044: Protección contra el ruido en edificios. Requisitos de aislamiento acústico mínimo Método de medición y clasificación Cerramientos y aberturas, verticales y horizontales*. Buenos Aires, 2015.
6. CRAIK, Robert JM. The prediction of sound transmission through buildings using statistical energy analysis. *Journal of sound and Vibration*, Elsevier, v. 82, n. 4, p. 505–516, 1982. doi: [10.1016/0022-460X\(82\)90404-7](https://doi.org/10.1016/0022-460X(82)90404-7).
7. TAN, Yi; FANG, Yi; ZHOU, Teng; WANG, Qian; CHENG, Jack Chin Pang. Improve indoor acoustics performance by using building information modeling. In: IAARC PUBLICATIONS. *ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. [S.l.], 2017. v. 34.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12006: Parte 2: Estrutura para classificação*. Rio de Janeiro, 2018.
9. EASTMAN, C. M. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. 2. ed. John Wiley & Sons: Hoboken, 2011.
10. CORRÊA, Fabiano Rogerio; SANTOS, Eduardo Toledo. Na direção de uma modelagem da informação da cidade (CIM). *VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção (TIC 2015), Recife*, 2015.
11. BRASIL. *DECRETO Nº 9.983, DE 22 DE AGOSTO DE 2019*. [S.l.], 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9983.htm#art15.
12. BONATTO, H. *A adoção da modelagem da informação da construção (Building Information Modeling – BIM) no projeto de Lei Nº 1292, de 1995*. [S.l.], 2020. Disponível em: <http://www.novaleilicitacao.com.br/2020/02/06/adoacao-da-modelagem-da-informacao-da-construcao-building-information-modeling-bim-no-projeto-de-lei-no-1292-de-1995/>.
13. SUERMANN, Patrick C; ISSA, Raja RA. Evaluating industry perceptions of building information modelling (BIM) impact on construction. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, v. 14, n. 37, p. 574–594, 2009.
14. ERFANI, Kaveh; MAHABADIPOUR, Sarah; NIK-BAKHT, Mazdak; LI, Joonhee. Bim-based simulation for analysis of reverberation time. *IBPSA Building Simulation*, 2019.
15. KIM, Sunyoung; COFFEEN, Robert C; SANGUINETTI, Paola. Interoperability building information modeling and acoustical analysis software-a demonstration of a performing arts hall design process. In: ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. *Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013*. [S.l.], 2013. v. 19, n. 1, p. 015136.
16. FORNECK, Naiara Braghirolli. Interoperabilidade entre softwares para análise acústica

no desenvolvimento de projetos em BIM. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2016.

17. MONTENEGRO, V. D.; AGNOLIN, S.; DUCRUET, P. Development of an architectural acoustic study through a complete Open BIM workflow. *Euronoise*, 2021.

18. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 12354 Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1: Airborne sound insulation between rooms*. [S.l.], 2017.

19. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 16283: Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation*. [S.l.], 2018.

20. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 717 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation*. [S.l.], 2013.

21. CROCKER, MJ; PRICE, AJ. Sound transmission using statistical energy analysis. *Journal of Sound and Vibration*, Elsevier, v. 9, n. 3, p. 469–486, 1969. doi: [10.1007/978-94-015-9173-730](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9173-730).

22. IFCOPENSHELL. The open source IFC toolkit and geometry engine. [S.l.], 2020. Disponível em: <http://ifcopenshell.org/python>.

23. MARSHALL DAY ACOUSTICS. *Insul*. [S.l.], 2022. Disponível em: <https://www.insul.co.nz/>.

24. COTONI, Vincent; SHORTER, Phil; LANGLEY, Robin. Numerical and experimental validation of a hybrid finite element-statistical energy analysis method. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Acoustical Society of America, v. 122, n. 1, p. 259–270, 2007. doi: [10.1121/1.2739420](https://doi.org/10.1121/1.2739420).

25. SIMMONS, C. *Managing uncertainty in building acoustics - Comparisons of predictions using the EN 12354 standards to measurements*. Tese (Doutorado) — Luleå tekniska universi-

tet, 2009. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:991549/FULLTEXT01.pdf>.

26. ROMERO, T. B.; FENGLER, B.; NETTO, P. E. S.; ROCHA, R. R.; GINER, J. C. A importância entre a tipologia do caixilho versus a tipologia do vidro no desempenho acústico de sistemas de vedações verticais externas (fachadas). *Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Porto Alegre, 2018.

Análise experimental das fontes de ruído em uma lavadora de roupas

Vargas, J. G.¹ ; Santos, H. L. V.¹; Kulakauskas, L. V. Q.¹ ; Lenzi, A.¹ ; Silva, O. M.¹ 

¹ Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, jgvargasemc@gmail.com

Resumo

Lavadoras de roupas são eletrodomésticos que vibram e emitem ruído durante o seu funcionamento. Uma das principais fontes de ruído de uma lavadora de roupas é o motor elétrico que aciona seu tambor agitador e os maiores níveis de potência sonora radiada são normalmente observados no processo de centrifugação. Diante do problema vibroacústico associado ao funcionamento desse eletrodoméstico, foi desenvolvido um estudo por meio de procedimentos experimentais com o objetivo de identificar os principais caminhos e fontes de propagação da energia vibroacústica em uma lavadora de roupas de carregamento frontal. Durante a caracterização do comportamento vibroacústico do motor elétrico da lavadora, detectou-se regiões críticas em que pequenas variações de velocidade rotacional resultavam em um aumento acentuado no ruído radiado. Fez-se um estudo detalhado nessas regiões críticas com o auxílio da análise de ordem e chegou-se à conclusão de que as frequências naturais dos componentes do motor estavam sendo excitadas pelo carregamento de origem magnética. Com base na análise dos resultados obtidos, corroborou-se a hipótese preliminar de que o motor elétrico é a principal fonte de ruído da lavadora analisada e que o gabinete da lavadora proporciona, em toda faixa de operação, atenuações entre 5 dB e 10 dB nos níveis globais da potência sonora radiada pelas fontes internas da lavadora. Propostas de melhorias ao isolamento acústico do gabinete da lavadora foram testadas e obtiveram-se reduções significativas entre 6 dB até 8 dB nos níveis globais da potência sonora.

Palavras-chave: lavadora de roupas, fontes de ruído, motor elétrico, métodos experimentais.

PACS: 43.10.SV, 43.20.Bj, 43.60.-c, 46.40.Ff.

Experimental analysis of noise sources in a washing machine

Abstract

Washing machines are household appliances that vibrate and emit noise during their operation. One of the main noise sources of a washing machine is the electric motor that drives its washer drum and the highest levels of radiated sound power are normally observed in the spin cycle process. Faced with the vibroacoustic problem associated with operating this household appliance, a study was developed by experimental procedures in order to identify the main sources and propagation paths of the vibroacoustic energy in a front loading washing machine. During the vibroacoustic behavior characterization of the washing machine's electric motor, critical regions were detected in which small variations in rotational speed resulted in a marked increase in radiated noise. A detailed study was performed on these critical regions with the aid of order analysis tracking, concluding that natural frequencies of motor components were being excited by magnetic source loadings. Based on the analysis of obtained results, the preliminary hypothesis that the electric motor is the main noise source from the analyzed machine was confirmed. In addition, over the entire operating range the washing machine cabinet provides, attenuations between 5 dB and 10 dB in the overall sound power levels radiated by the internal sources of the washing machine. Proposals for improvements to the acoustic insulation of the washing machine cabinet were tested and significant reductions between 6 dB and 8 dB were obtained in the overall levels of radiated sound power.

Keywords: washing machine, noise, electric motor, experimental procedures.

1. INTRODUÇÃO

Diante da competitividade do mercado atual e da tendência natural, por parte dos usuários, da escolha de eletrodomésticos mais eficientes e que emitem menos ruído durante o seu funcionamento, as fabricantes de lavadoras de roupas têm se preocupado cada vez mais com o ruído gerado pelo produto. Em mercados exigentes, como o europeu, o selo de ruído já é um dos critérios decisivos no momento da escolha do modelo de lavadora de roupas, sendo tão importante quanto o selo de eficiência energética e de eficiência do processo de lavagem.

Com relação à análise das fontes de ruído de lavadoras de roupas, é escasso o número de trabalhos publicados com maior nível de detalhamento. Barpanda et al. [1], por exemplo, investigaram as fontes de ruído de uma lavadora de roupas de carregamento frontal de acionamento indireto. Nesse trabalho, foram desenvolvidos experimentos para determinar a potência sonora radiada pela lavadora e as acelerações nos painéis do gabinete. Identificou-se que o motor da lavadora é a principal fonte de ruído e que o ciclo de centrifugação é o mais crítico em termos de nível de potência sonora radiada (*Sound Power Level* ou SWL). O motor tem maior contribuição nas frequências superiores a 1 kHz, como fonte ativa, e contribui passivamente no ruído radiado pela lavadora nas componentes de frequências inferiores a 1 kHz. Ao final, fez-se o tratamento acústico das aberturas inferiores e do painel traseiro do gabinete da lavadora por meio da aplicação de material de elevada absorção sonora e material com elevado amortecimento estrutural, respectivamente. Tais autores obtiveram reduções da ordem de até 7,2 dB(A).

Por sua vez, Wang et al. [2] apresentaram uma análise vibroacústica de uma lavadora de roupas de carregamento superior (*top load*) de acionamento convencional. Nesse trabalho, foram desenvolvidos experimentos na área de acústica e vibrações com interesse nas frequências inferiores a 1 kHz. Com base nos dados obtidos, foi aplicada a Análise de Caminhos de Transferência Operacional (*Operational Transfer Path Analysis* ou OTPA) para identificar os

principais caminhos de transmissão da energia vibroacústica e as principais fontes de ruído da lavadora. Como resultado, foi verificado que os maiores contribuidores, em ordem decrescente, são o motor, o sistema de transmissão (polias/correia), o tanque e o gabinete.

Liu et al. [3] caracterizaram experimentalmente o ruído radiado por uma lavadora de roupas de carregamento frontal por meio de medições de uma sonda de intensidade sonora em uma câmara semianecoica. Nesse trabalho, foi criada uma malha de 240 pontos experimentais distribuídos em planos paralelos e distantes 0,20 m dos painéis do gabinete da lavadora, e em cada ponto da malha experimental foram processados os valores da intensidade sonora durante o ciclo de centrifugação. Com o processamento e análise dos dados adquiridos, verificou-se que os maiores níveis de intensidade sonora ocorrem na proximidade à abertura inferior do gabinete nas bandas de frequências de 1/3 de oitava centradas em 100 Hz, 2 kHz e 4 kHz. Níveis de potência sonora de 48,2 dB, 51,0 dB, 45,4 dB e 46,9 dB resultaram do processamento dos dados relativos aos planos de medição frontal, traseiro, esquerdo e direito, respectivamente.

Paris e Tabuenca [4] avaliaram a resposta acústica de uma lavadora de roupas de carregamento frontal durante o ciclo de drenagem. Os dados necessários à caracterização dos níveis de potência sonora radiada pela lavadora foram adquiridos por meio de experimentos realizados em uma câmara semianecoica. Os autores mediram a velocidade de vibração dos painéis do gabinete da lavadora para estimar ruído de origem estrutural. Níveis de potência sonora da ordem de 60 dB(A) foram obtidos nos testes com a lavadora original e 51 dB(A) se removida a fixação da eletrobomba de drenagem do gabinete. Uma proposta de melhoria da fixação da eletrobomba foi testada e os níveis de potência sonora foram reduzidos para 57 dB(A).

Diante do problema ruído relacionado ao funcionamento das lavadoras de roupas, surge a necessidade de analisar o comportamento vibroacústico deste equipamento doméstico. Neste sentido, esse trabalho foi desenvolvido com o

intuito de analisar experimentalmente a contribuição das fontes de ruído de uma lavadora de roupas de carregamento frontal similar ao modelo mostrado na Figura 1.

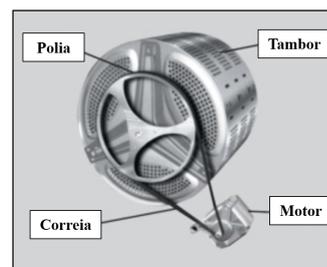


Figura 1: Lavadora de roupas de carregamento frontal (adaptado de Whirlpool [5]).

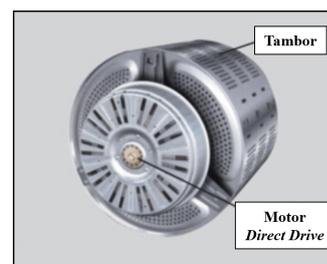
Em geral, os motores elétricos que equipam as lavadoras de roupas de carregamento frontal acionam direta ou indiretamente o tambor agitador da lavadora. No acionamento indireto, ou convencional, a transmissão de movimento e potência do motor ao tambor da lavadora é dada por meio de um sistema de polias e correia (Figura 2 (a)). No acionamento direto (*Direct Drive* ou DD), tem-se um acoplamento direto entre o rotor do motor e eixo do tambor agitador da lavadora (Figura 2 (b)). Desta forma, o eixo do motor é o próprio eixo da lavadora e a transmissão de movimento rotativo e de torque do motor ao tambor da lavadora é direta.

A lavadora objeto de estudo deste trabalho é equipada com um motor DD sem escovas, de ímãs permanentes, síncrono e trifásico. Como ilustra a Figura 3, esse motor é formado por dois componentes principais: um componente fixo, o estator (Figura 3 (a)), que contém os enrolamentos de armadura, e um componente móvel, o rotor (Figura 3 (b)), o qual possui ímãs permanentes que formam os polos do motor.

A metodologia experimental apresentada no presente artigo se assemelha à adotada por Barpanda et al. [1]. Entretanto, as condições operacionais dos testes e algumas das ferramentas de análise utilizadas diferem das encontradas no trabalho supracitado. Barpanda et al.

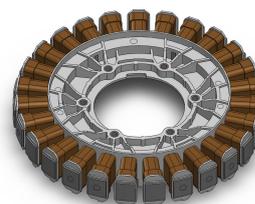


(a)

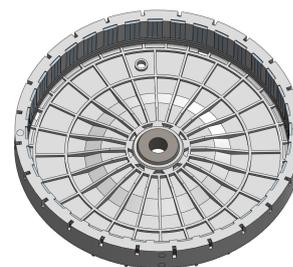


(b)

Figura 2: (a) sistema de acionamento indireto (adaptado de UK Whitegoods [6]) e (b) sistema de acionamento direto (adaptado de UK Whitegoods [6]).



(a)



(b)

Figura 3: Componentes do motor DD que aciona a lavadora: (a) estator e (b) rotor.

[1] desenvolveram as medições experimentais considerando a velocidade rotacional fixa em 1200 RPM. No presente trabalho, fez-se a aquisição e processamento dos sinais entre as velocidades rotacionais de 200 RPM e 1600 RPM. Com relação às análises desenvolvidas, a principal diferença desse trabalho é o uso da análise

das ordens que possibilita identificar as fontes geradoras dos problemas vibroacústicos.

As escalas de alguns gráficos deste artigo foram suprimidas por questão de sigilo industrial, sem que seja prejudicada a interpretação física dos fenômenos envolvidos.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Nessa seção, será feita uma breve revisão de conceitos relevantes à compreensão do trabalho que será detalhado. Primeiramente serão apresentados conceitos básicos a respeito da análise de ordem e, na sequência, são revistos conceitos sobre as fontes de vibração e ruído em motores elétricos.

2.1 Análise de ordem

A análise de ordem consiste em uma ferramenta para analisar sinais de vibrações ou acústicos relativos ao funcionamento de máquinas rotativas (Brandt [7]). Tal técnica é aplicável tanto em máquinas de rotação nominal fixa (regime permanente) quanto em máquinas de rotação variável (regime transiente). As máquinas rotativas são, em geral, compostas por vários componentes e cada componente possui padrão de vibração e radiação sonora que contribuem de forma característica na resposta vibroacústica da máquina a cada revolução.

Gade et al. [8] destacam que é comum desenvolver a análise de sinais vibroacústicos de máquinas rotativas em termos do espectro de ordem em vez do espectro de frequência. Um espectro de ordem fornece a amplitude e/ou fase de um sinal de origem vibratória ou acústica como uma função da ordem harmônica da frequência de rotação. A grande vantagem em aplicar a análise de ordem está relacionada ao fato da maioria das excitações dinâmicas de uma máquina rotativa estarem relacionadas à frequência de rotação. Tal característica facilita a interpretação e diagnóstico do fenômeno físico associado ao sinal medido.

A frequência rotacional f_{Ω} de uma máquina rotativa e as ordens harmônicas n são determi-

nadas, respectivamente, por:

$$f_{\Omega} = \frac{\Omega}{60} \quad (1)$$

e

$$n = \frac{f}{f_{\Omega}}, \quad (2)$$

sendo Ω a velocidade rotacional em rotações por minuto (RPM) e f a frequência do espectro de interesse em hertz. É importante destacar que o valor de n não necessariamente precisa ser um número inteiro.

O parâmetro de rastreamento dos sinais na análise de ordem é a posição angular, portanto, na análise de ordem o sinal deve estar no domínio do ângulo. Normalmente, os sinais no domínio angular são obtidos por meio de algoritmos de reamostragem síncrona. Segundo Brandt [7], o algoritmo de processamento de análise de ordem, amplamente utilizada atualmente, foi desenvolvido e patenteada pela Hewlett-Packard nos anos 80 e foi adotado como padrão industrial para reamostragem síncrona de sinais de máquinas rotativas. Em resumo, faz-se a aquisição síncrona dos sinais vibroacústicos e do sensor de velocidade rotacional, que fornece dados sobre a posição angular e velocidade rotacional, e por meio de sucessivas interpolações se obtém um sinal reamostrado no domínio angular. O sinal reamostrado apresenta um espaçamento angular constante de modo que ao se aplicar a transformada de Fourier sobre esse sinal se obtém os espectros das ordens do sinal.

Conforme destaca Brandt [7], é recomendado que os sinais sejam adquiridos à taxa de amostragem constante, considerando uma taxa de sobreamostragem de 10 a 20 vezes para garantir uma boa reamostragem do sinal. Como recomendação prática, recomenda-se utilizar a máxima frequência de amostragem do sistema de aquisição.

2.2 Ruído em motores elétricos

Segundo Gieras et al. [9] e Beranek et al. [10], a vibração e o ruído produzidos pelo funcionamento de motores elétricos alimentados por corrente alternada têm três origens: eletromag-

nética, mecânica e aerodinâmica. Conforme proposto por Beranek et al. [10], Gieras et al. [9], Chen e Tsai [11], Shuguang et al. [12] em motores de pequeno e médio porte a principal fonte de ruído tem origem no carregamento eletromagnético que atua nos componentes do motor. Beranek et al. [10] destaca que em motores de maior potência tem-se, em geral, a redução da contribuição do ruído de origem eletromagnética e o aumento do ruído de origem mecânica e aerodinâmica.

O ruído eletromagnético é resultante da interação das ondas de fluxo magnético de alta densidade que cruzam o entreferro do motor. Gieras et al. [9] relatam que a distribuição das bobinas, distorções na forma de onda da corrente que alimenta as fases do motor, variações na permeabilidade magnética do entreferro em função do núcleo saliente do estator, excentricidade do rotor e desbalanceamento entre as fases causam deformações que contribuem para a geração de ruído. Segundo Beranek et al. [10], inversores que alimentam alguns tipos de motores elétricos podem inserir harmônicas que aumentam consideravelmente o ruído de origem eletromagnética.

Segundo Shuguang et al. [12], em motores sem escovas, de ímãs permanentes e de rotor externo, a maior fonte de ruído é o rotor e o ruído de origem eletromagnética é resultante da ação das componentes de força magnética que atuam sobre os ímãs. Conforme Krotsch et al. [13], Chen e Tsai. [11] e Gieras et al. [9], a componente magnética radial da força é a principal origem de vibração e ruído radiado pelos motores sem escovas e de ímãs permanentes. As tensões mecânicas resultantes da força radial são proporcionais ao quadrado da densidade de fluxo magnético do entreferro (Beranek et al. [10]).

O ruído de motores elétricos gerados por fontes mecânicas é causado por mancais de rolamentos defeituosos ou inadequados, atrito entre componentes móveis, empenamento do eixo do motor, desalinhamento de montagem, rotor desbalanceado, acoplamentos, juntas e engrenagens (Gieras et al. [9] 2006, Beranek et al. [10]). O desbalanceamento do rotor causa vibração e

excentricidade dinâmica que altera o entreferro do motor, alterando a forma do carregamento de origem magnética, além de transmitir mais esforços à fixação do motor.

O ruído aerodinâmico em motores é comumente associado aos ventiladores utilizados no arrefecimento do motor. Em motores de rotor externo, geralmente são efetuadas modificações topológicas na carcaça do rotor para auxiliar na refrigeração do estator e aumentar a rigidez da própria carcaça. Em ambos os casos, observa-se que estas modificações implicam no aumento do ruído aerodinâmico. Em motores sem escovas, de ímãs permanentes e de rotor externo que equipam lavadoras, o ruído aerodinâmico tem características similares ao ruído de banda larga e aumenta com a elevação da velocidade rotacional do rotor.

A faixa de frequência de interesse na análise de vibrações em máquinas elétricas pode variar dependendo das suas características construtivas. Para Beranek et al. [10], em função da elevada rigidez radial de motores de pequeno e médio porte, a faixa de frequência de interesse para o problema de ruído varia entre 200 Hz e 6 kHz, enquanto que, para vibrações os problemas costumam ocorrer entre 10 Hz e 2 kHz. Em função do número de bobinas e polos do motor DD que equipa a lavadora objeto de estudo desse trabalho e da velocidade rotacional máxima, a faixa de frequência de interesse é limitada a 3,5 kHz.

3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Esse trabalho tem como objetivo caracterizar experimentalmente as fontes de ruído de uma lavadora de roupas de carregamento frontal de acionamento direto. O ruído radiado pela lavadora em questão é resultante da vibração dos componentes do motor elétrico, do tanque e do gabinete da lavadora. A caracterização do ruído radiado pela lavadora foi executada por meio de técnicas experimentais adequadas com a lavadora em funcionamento no processo de centrifugação em uma câmara acústica semianecoica.

3.1 Montagem e condições dos testes

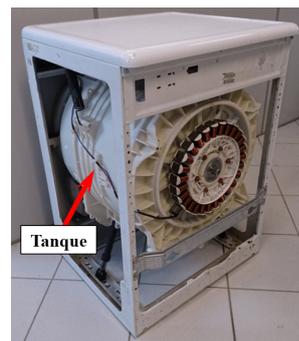
Os testes destinados à caracterização do ruído da lavadora de carregamento frontal foram desenvolvidos considerando duas condições de fixação do motor elétrico. Primeiramente, este foi montado em uma bancada de testes especificamente projetada para executar de forma controlada os experimentos dos motores elétricos DD. A bancada consiste em uma caixa metálica formada por placas de alumínio com espessura de 25,4 mm na tampa superior, 13,5 mm nas tampas laterais e inferior. Essa caixa metálica enclausura um disco de inércia, que é suportado por dois mancais de rolamento, e que simula a carga da lavadora em condições controladas. Uma foto da bancada de testes é apresentada na Figura 4.



Figura 4: Bancada de testes dos motores elétricos DD que acionam as lavadoras.

Na segunda configuração de montagem, o motor foi acoplado e fixado ao tanque de uma lavadora, como normalmente é feito na linha de montagem do produto. Essa configuração de montagem do motor é mostrada na Figura 5 (a). Os testes com o motor montado no tanque da lavadora foram realizados em um gabinete normal e em um gabinete modificado. O gabinete normal é o gabinete com todas as suas características originais preservadas. Diferentes configurações foram adotadas no intuito de isolar a contribuição do motor elétrico, mesmo quando montado no tanque da lavadora.

Os testes de caracterização das fontes de ruído da lavadora foram realizados considerando os dois gabinetes diferentes. Um dos gabinetes per-



(a)



(b)

Figura 5: (a) Detalhes internos da lavadora de referência e (b) lavadora preparada para avaliar todo o sistema.

maneceu inalterado (Figura 5 (b)), e no outro foram realizadas modificações a fim de reduzir o ruído radiado pelos painéis do próprio gabinete (Figura 5 (a)). Adicionalmente, buscou-se reduzir as influências da presença do gabinete no ruído radiado pelos componentes internos da lavadora. As modificações realizadas concentraram-se em recortar os painéis da lavadora, dado o objetivo de reduzir o ruído radiado pelo próprio gabinete. No entanto, garantiu-se a integridade estrutural e rigidez necessária à estrutura que suporta o conjunto interno da lavadora. As alterações não modificaram as posições de encaixe dos amortecedores e molas do sistema de suspensão na estrutura do gabinete.

Nos testes de aceleração (*run-up*) desenvolvidos com o motor montado na bancada ou no tanque da lavadora, o sistema de controle e alimentação do motor foi configurado para acelerar de 200 RPM até 1600 RPM, com taxa de variação de velocidade constante de 10 RPM/s. Além dos testes de *run-up*, foram realizados testes esta-

cionários à velocidade rotacional constante em regiões críticas, em que foram observadas variações abruptas dos níveis de potência sonora radiada pelo motor ou lavadora.

O estudo e a análise das fontes que mais contribuem ao ruído radiado pela lavadora envolveu a montagem, desmontagem e, na medida do possível, componentes da lavadora foram "isolados acusticamente". Ao final de todos os testes, diversas configurações foram experimentadas e os detalhes de cada configuração são apresentados nas próximas seções.

Os experimentos e testes foram executados na câmara semianecoica do Laboratório de Vibrações e Acústica (Departamento de Engenharia Mecânica) da Universidade Federal de Santa Catarina, que é qualificada e está em conformidade com a Norma ISO 3745:2012 *Acoustics—Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure—Precision methods for anechoic rooms and hemi-anechoic rooms* [14], como apresenta Gomes [15]. Os espectros de ruído característicos do motor e da lavadora para diferentes pontos de velocidade rotacional são obtidos em um teste cuja duração é de aproximadamente 140 segundos. Para tal, foram instalados e devidamente posicionados a cada rodada de testes um conjunto de dez microfones de campo livre de 1/2 polegada B&K Type 4819. Nas Figuras 6 (a) e 6 (b) são apresentadas fotos dos arranjos experimentais utilizados na caracterização da potência sonora radiada pelo motor e pela lavadora, respectivamente.

O nível de potência sonora (SWL) de cada fonte analisada foi calculado com base nos níveis de pressão sonora (*Sound Pressure Level* ou SPL) medidos nos pontos determinados pelo arranjo de microfones recomendado pela norma ISO 3744:2010 *Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane* [16], conforme Anexo B da Norma. Em função das dimensões das fontes e seguindo as recomendações da Norma, foi adotada uma superfície hemisférica virtual de

medição com raio de 1,50 m resultando em uma frequência limitante inferior de 66 Hz e 120 Hz para o motor e lavadora, respectivamente, segundo o critério de 1/4 do comprimento de onda. Nas medições realizadas com o motor montado na bancada de testes, o centro da fonte foi deslocado em 0,225 m acima do piso da câmara para compensar a altura dos painéis refletores. Conforme a norma supracitada, o cálculo do nível de potência sonora é dado por:

$$\text{SWL} = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{\text{SPL}_i}{10}} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{S}{S_0} \right) + K_1 + K_2, \quad (3)$$

sendo SPL_i o Nível de Pressão Sonora relativo ao i -ésimo ponto de medição, N o número de pontos de medição utilizados, S a área da superfície virtual de medição, S_0 a área de referência equivalente à unidade, K_1 e K_2 as constantes de correção do ruído de fundo e da câmara, respectivamente. Além dos microfones, utilizouse um tacômetro óptico laser Monarch modelo PLT200 para medição da velocidade rotacional e posição angular do rotor (ver Figura 6 (a)). Os sinais de saída do tacômetro óptico permitiram referenciar a posição angular do rotor no processamento dos dados adquiridos.

Os sinais dos microfones e do tacômetro óptico foram adquiridos simultaneamente através de um analisador de sinais Siemens SCADAS Mobile de 12 canais equipado com um módulo específico para tacômetros. A faixa de frequência analisada nos experimentos se estendeu até 10 kHz, sendo a taxa de aquisição de 25,6 kS/s. Os sinais adquiridos foram processados no domínio do tempo e no domínio do ângulo da lavadora utilizando algoritmo de reamostragem síncrona em relação à velocidade rotacional do rotor do motor, conforme a teoria da análise de ordem apresentada por Brandt [7]. A faixa de frequência de interesse às análises de ruído radiado pelas fontes em estudo é limitada a 3,5 kHz, tendo em vista que são observadas reduções consideráveis nos níveis de potência sonora radiada acima dessa faixa de frequências. Entretanto, para o cálculo dos níveis globais de potência so-

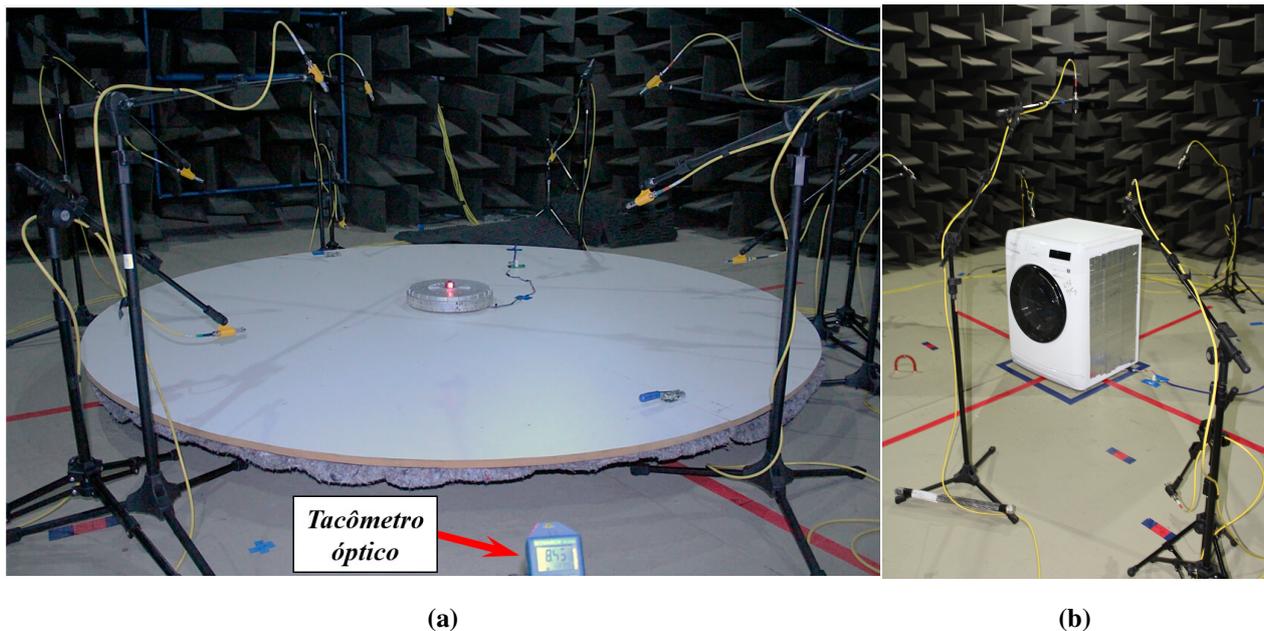


Figura 6: Arranjo experimental utilizado na medição dos sinais das pressões sonoras utilizadas no cálculo da potência sonora radiada pelo motor (a) e pela lavadora (b).

nora foram consideradas todas as componentes de frequência até 10 kHz. Por meio dessas análises foram obtidos os gráficos na forma de mapas de cores da amplitude dos sinais processados em função da frequência e da velocidade rotacional. Esses gráficos consistem em ferramentas que auxiliam a caracterização do ruído radiado pelas fontes estudadas, sendo possível analisar informações nos domínios da frequência e das ordens simultaneamente.

3.2 Testes com o motor elétrico

Durante o seu funcionamento, o motor atua como fonte de ruído da cavidade acústica formada no interior do gabinete e como fonte de vibração da estrutura da lavadora, visto que o motor está mecanicamente acoplado a ela. Portanto, o motor atua como fonte ativa de vibração e ruído. Adicionalmente, por meio da fixação do motor aos componentes da lavadora, tem-se um caminho de transmissão de parte da energia vibratória do motor. Essa energia excita componentes internos da lavadora, fazendo-os vibrar passivamente.

Nos experimentos desenvolvidos com o motor elétrico montado sobre a bancada de testes foram instalados dois painéis bipartidos em MDF

(*Medium Density Fiberboard*) com 18 mm de espessura com formato de semicírculo com raio de 2,0 m, conforme Figura 6 (a). Dessa forma, obteve-se uma superfície de reflexão às ondas sonoras radiadas pelo motor elétrico e atenuou-se parte do ruído radiado pelos mancais de rolamento da bancada. Além disso, a fonte de radiação sonora foi deslocada verticalmente de forma que o centro considerado é o centro do motor e portanto todos os pontos experimentais também foram deslocados de $\delta_z = 0,225$ m na direção vertical. As aberturas entre os painéis e a bancada foram isoladas acusticamente. Inseriu-se material Sonex [17] de elevada absorção entre os painéis refletores e o piso da câmara a fim de minimizar a influência do ruído radiado pela própria bancada de testes nos valores globais dos níveis de potência sonora radiada pelo motor. É importante destacar que não existe contato mecânico entre os painéis e a bancada de testes.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Nessa seção do artigo, serão apresentados os resultados das análises experimentais desenvolvidas com o motor elétrico montado na bancada de testes e na lavadora de roupas. Os testes da

lavadora foram executados em dois gabinetes, um original e o outro modificado, conforme será detalhado a seguir. No final, descrevem-se os resultados obtidos ao estudo proposto como forma de melhorar o isolamento acústico do gabinete da lavadora.

4.1 Motor elétrico

O primeiro teste realizado consistiu em analisar a repetibilidade dos resultados obtidos com os testes do motor elétrico montado na bancada de testes. Nessa análise, fez-se a montagem e desmontagem completa do aparato experimental em dias diferentes e obtiveram-se, em cada dia, os dados para calcular a potência sonora radiada. Na Figura 7, são mostrados os resultados obtidos para o SWL global do motor em função da velocidade rotacional, para duas repetições do teste realizado em dias distintos. A análise dos dados permite concluir que variações inferiores a 1,5 dB em termos do SWL global foram observadas. Em termos reais e de execução prática, a repetibilidade foi considerada adequada, dada a complexidade envolvida na preparação, montagem e execução dos testes.

Optou-se por utilizar as curvas de ponderação A na representação dos dados acústicos, uma prática comum na análise de eletrodomésticos, dadas as características de distribuição espectral do ruído radiado pelas fontes em estudo. Além disso, é uma forma simplificada de representar a percepção humana à resposta do produto. A potência sonora de referência $W_{ref} = 1 \text{ pW}$ foi adotada nesse estudo.

A análise dos resultados obtidos para o motor elétrico permite destacar que, de maneira geral, o SWL global radiado pelo motor elétrico aumenta com o aumento da velocidade rotacional. Segundo Gieras et al. [9], em um motor elétrico ideal seria esperado um aumento linear do SWL na escala decibel em função do aumento da velocidade rotacional. Dentro de certos limites, a resposta do motor elétrico em estudo segue essa tendência porém, em determinadas velocidades rotacionais são observados aumentos repentinos nos níveis de potência sonora radiada.

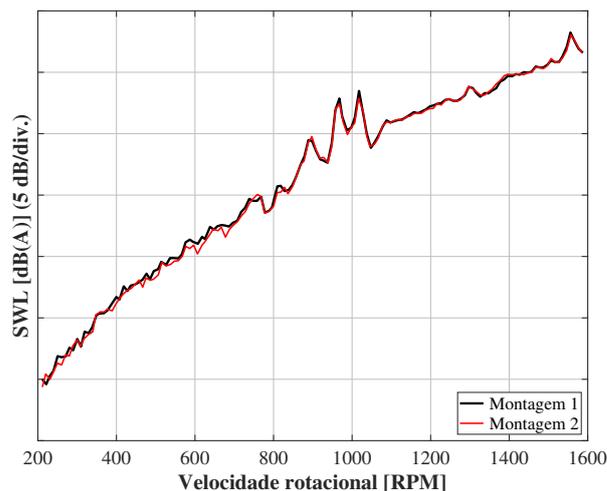


Figura 7: SWL global do motor montado na bancada de testes obtidos em dias diferentes após desmontagem a remontagem do aparato experimental.

Com o objetivo de investigar as causas que levam ao aumento dos níveis ruído radiado pelo motor em determinadas velocidades rotacionais, foi realizada uma análise voltada às regiões críticas. Para tal, foram analisados os espectros de ruído nas regiões em que foram observados os aumentos repentinos dos níveis de potência sonora. Os espectros dos níveis de potência sonora obtidos para 892 RPM, 967 RPM e 1017 RPM são mostrados na Figura 8, enquanto que, o espectro relativo a 1558 RPM é mostrado na Figura 9.

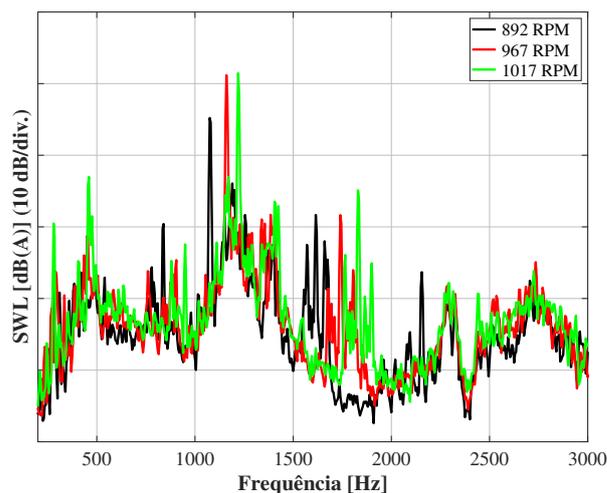


Figura 8: Espectro do SWL do motor montado sobre a bancada de testes para as rotações de 892 RPM (preto), 967 RPM (vermelho) e 1017 RPM (verde).

Observa-se diferenças superiores a 10 dB entre as componentes de maior amplitude dos espectros da Figura 8 em relação às demais com-

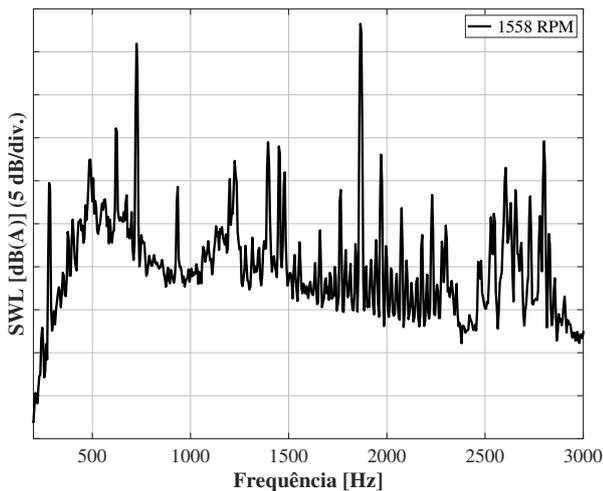


Figura 9: Espectro do SWL do motor montado sobre a bancada de testes para a rotação de 1558 RPM.

ponentes. No espectro da Figura 9, observa-se duas componentes predominantes em 725 Hz e 1870 Hz, cujas diferenças de amplitudes ultrapassam 10 dB.

No sentido de complementar a análise das regiões críticas identificadas nos experimentos com o motor, tem-se na Figura 10 o gráfico do tipo mapa de cores do SWL em função da frequência e da velocidade de rotacional. Na Figura 11 tem-se o gráfico do tipo mapa de cores do SWL em função das ordens e da velocidade de rotacional. Conforme pode ser observado, na faixa de frequências entre 1000 Hz e 1500 Hz tem-se nitidamente, no mínimo, duas frequências naturais que estão sendo excitadas. Nas maiores velocidades rotacionais observam-se nitidamente no mínimo três ressonâncias entre 2000 Hz e 2750 Hz. Conforme será detalhado, nessas componentes de frequência atuam as excitações de origem magnética, identificadas como as ordens magnéticas do motor elétrico. Essas ordens correspondem aos múltiplos inteiros dos números de polos do rotor e de bobinas do estator (Souza [18]).

Da análise dos espectros da região crítica, compreendida na faixa de 892 RPM a 1017 RPM, tem-se que o aumento nos níveis de potência sonora resulta predominantemente da excitação relativa à segunda ordem magnética do estator (ordem 72) que excita uma frequência natural do estator próximo a 1170 Hz. Já na velocidade rotacional de 1558 RPM o aumento é resultante

da composição de dois efeitos. Primeiramente, em torno de 725 Hz a componente magnética fundamental de rotor (ordem 28) excita uma frequência natural do rotor. O segundo efeito é observado quando a segunda ordem magnética do estator (ordem 72) excita uma frequência natural do estator em torno de 1850 Hz.

Segundo Souza [19], o ruído do motor elétrico relativo às ordens magnéticas é predominante em relação ao ruído total radiado. Conforme Beranek e Vér [10], esse comportamento é esperado para motores com potência inferior a 15 kW e que operam em velocidades rotacionais abaixo de 1500 RPM. Resultados similares aos apresentados Souza [19] foram encontrados nas regiões críticas analisadas.

Embora a máxima velocidade rotacional do teste seja 1600 RPM, o sistema de controle embarcado das lavadoras limita a velocidade rotacional máxima no ciclo de centrifugação para reduzir as amplitudes das forças resultantes do desbalanceamento da carga na lavadora. Para o modelo de lavadora em teste, esses valores normalmente são limitados a 1200 RPM no ciclo de centrifugação, por esse motivo adotou-se esse valor como base de referência para analisar o ruído do motor e da lavadora.

A Figura 12 mostra um gráfico do SWL em bandas de 1/3 de oitava do motor em 1200 RPM considerando a montagem na bancada de testes. Conforme pode ser observado, a energia do ruído do motor está distribuída em várias bandas. De forma geral, o ruído radiado pelo motor apresenta características similares as de fontes que radiam ruído de banda larga sobrepostas aos tons puros resultantes da excitação magnética. Dos gráficos anteriores do SWL global, verifica-se que em 1200 RPM o motor está fora da região crítica. Por meio das análises realizadas nas regiões críticas é nítida a predominância de componentes espectrais de maior energia em banda estreita, resultantes da excitação magnética do motor. Essas componentes de frequências consistem em múltiplos inteiros dos números de polos do rotor e bobinas do estator e correspondem às linhas inclinadas no diagrama da Figura 10, já na Figura 11 as ordens estão

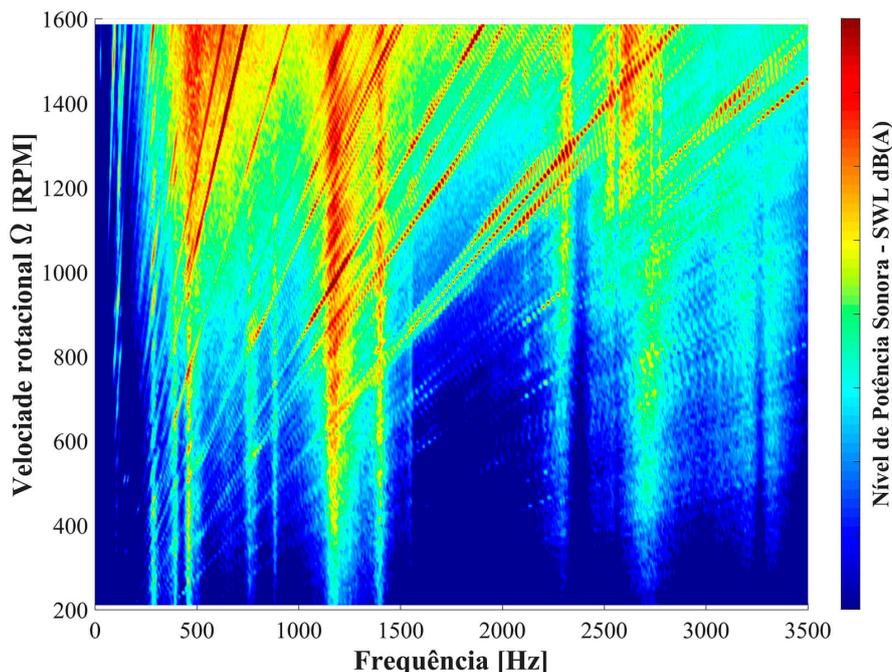


Figura 10: Mapa de cores do SWL em função da frequência e da velocidade rotacional do motor elétrico montado na bancada de testes (5 dB/divisão).

localizadas nas linhas verticais.

4.2 Lavadora de roupas

Esta seção descreve testes nos quais o motor elétrico foi fixado ao tanque da lavadora. Os experimentos foram desenvolvidos em um gabinete normal padrão e em um gabinete modificado. Diferentes configurações foram adotadas visando a caracterização aprimorada das fontes de ruído da lavadora; estas são apresentadas na Figura 13.

4.2.1 Configuração A

Trata-se do gabinete sem os painéis de enclausuramento, totalmente “aberto”, conforme Figura 13 (a). Os experimentos com o motor montado nesse gabinete modificado foram executados e o resultados obtidos para o SWL globais são mostrados na Figura 14, na qual também é apresentado o SWL global radiado pelo motor quando montado na bancada de testes. Na Figura 15 são comparados os espectros em bandas de 1/3 de oitava do SWL do motor em relação à lavadora com gabinete modificado na velocidade rotacional de 1200 RPM. A partir dos

dados apresentados, verifica-se que o tanque tem maior contribuição ao ruído radiado pela lavadora na faixa limitada a 1,6 kHz e, acima desse valor, há atenuação nos níveis de potência sonora radiada. Esse resultado é condizente com que foi encontrado no trabalho de Wang et al. [2].

Conforme pode ser observado, o SWL radiado pela lavadora com gabinete modificado é superior ao SWL radiado pelo motor isoladamente. Esse efeito era esperado, tendo em vista que o motor transmite parcela da energia vibratória ao tanque e tambor. A área do tanque é consideravelmente maior que a área do motor; conseqüentemente, a capacidade de radiar energia sonora também será maior, especialmente nas baixas frequências (inferiores a 1,6 kHz).

4.2.2 Configuração B

Neste caso, com exceção à parte traseira, fez-se o isolamento do tanque da lavadora com uma espessa camada de material Sonex [17] (50 mm de espessura por placa, aproximadamente), conforme Figura 13 (b). Os resultados experimentais obtidos com essa configuração de monta-

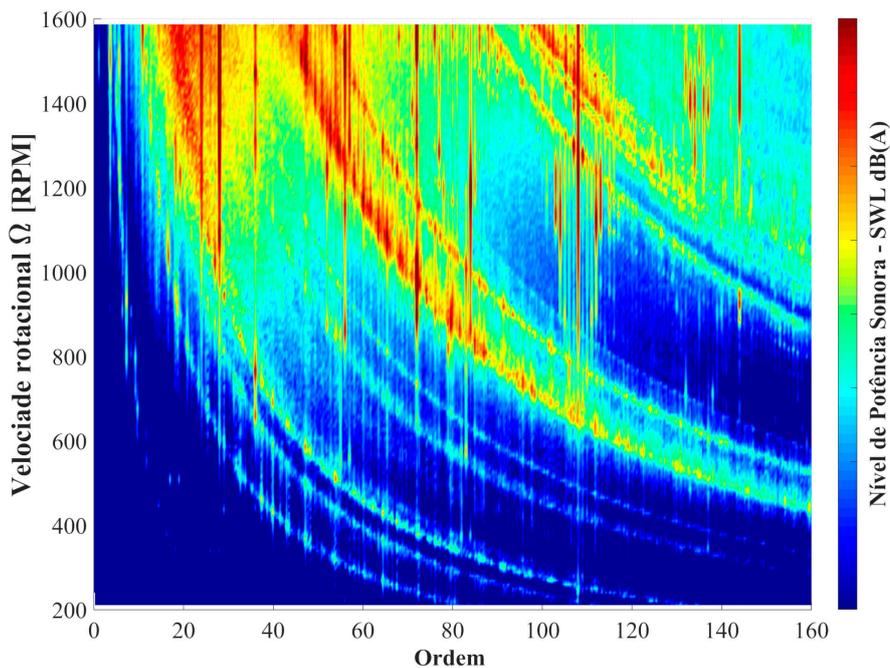


Figura 11: Mapa de cores do SWL em função da frequência e das ordens do motor elétrico montado na bancada de testes (5 dB/divisão).

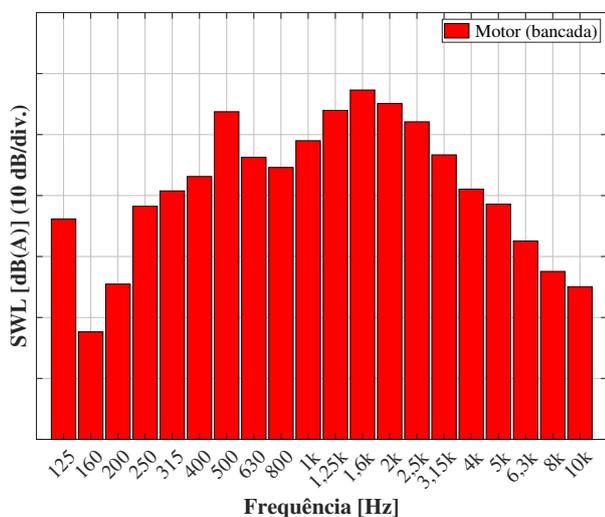


Figura 12: SWL do motor em bandas de 1/3 de oitava.

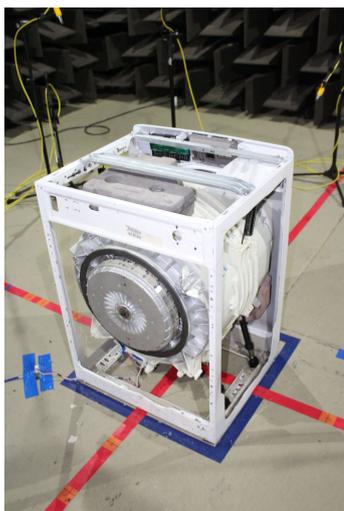
gem para os SWL globais são apresentados na Figura 16.

A partir da análise dos resultados apresentados, observa-se reduções de 1,0 dB a 2,5 dB no ruído global radiado entre as faixas de 700 RPM e 1400 RPM. Embora tenham sido utilizadas as camadas de material de elevada absorção sonora na tentativa isolar parcela da energia sonora radiada pelo tanque da lavadora, as atenuações observadas nos SWL globais foram pequenas.

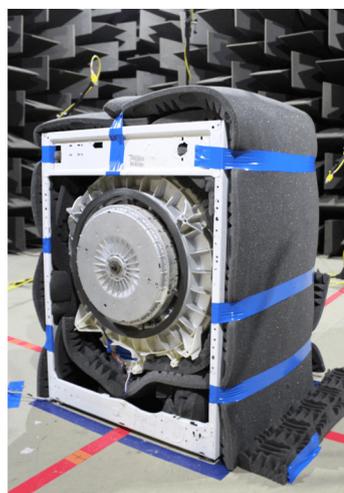
Por meio da análise comparativa dos resultados obtidos entre as Configurações A e B, verifica-se que o ruído do motor tem maior contribuição em relação ao valor do ruído global radiado pela lavadora.

4.2.3 Configuração C

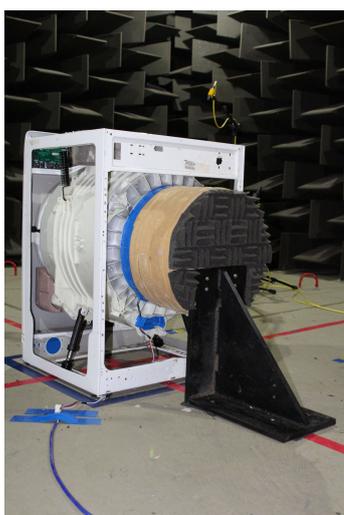
Tendo em vista que o isolamento do tanque, por si só, não garantiu adequada redução nos SWL da lavadora, e prosseguindo com o processo de investigação das fontes de ruído, optou-se por isolar o motor elétrico. O isolamento acústico do motor elétrico foi dado por meio de uma clausura circular fabricada em MDF com espessura dos segmentos constituintes de 18mm internamente selada com silicone. No interior desta clausura foi inserido material Sonex [17] de elevada absorção. Uma fita de borracha foi utilizada para reduzir a energia vibratória transmitida pelo tanque à clausura e para minimizar os vazamentos de ar entre a cavidade e o tanque da lavadora. Por fim, uma vez acoplada a cavidade acústica, fez-se o isolamento da união entre o tanque da lavadora e a clausura com o auxílio de uma fita de alta aderência. Essa



(a)



(b)



(c)

Figura 13: Configurações de montagem para testes da lavadora.

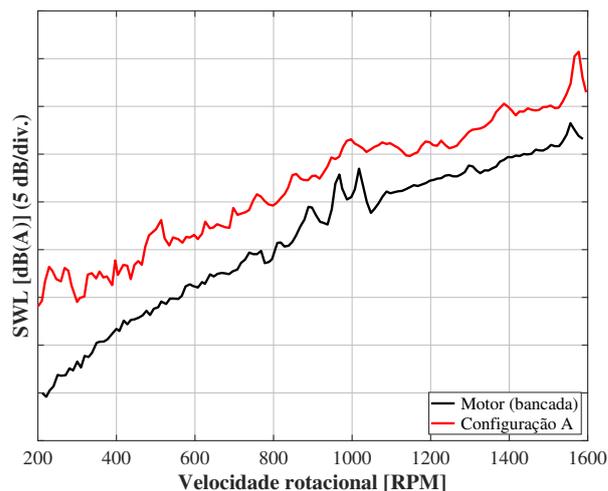


Figura 14: Resultados obtidos para a Configuração A e para o motor testado em bancada.

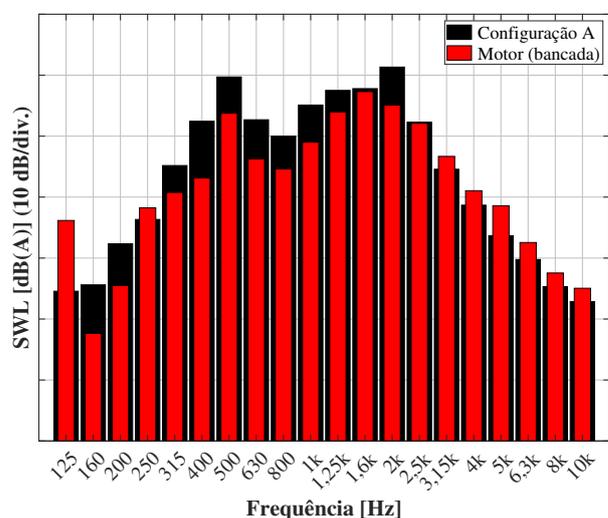


Figura 15: Comparação entre os SWL (1/3 oitava) do motor e do gabinete modificado.

configuração está apresentada na Figura 13 (c). Utilizou-se uma cantoneira de aço para o suporte da clausura. Entre a cantoneira e o piso da câmara foram inseridos calços de material elastomérico para reduzir a energia vibratória transmitida ao piso da câmara.

Os resultados obtidos com os experimentos acústicos para o motor enclausurado são apresentados na Figura 16. Observam-se reduções no SWL radiado pela lavadora de até 5 dB nas velocidades rotacionais inferiores a 900 RPM e, acima dessa velocidade, tem-se reduções de até 10 dB. Em uma análise comparativa, o enclausuramento do motor elétrico causa reduções significativamente maiores que o isolamento do tanque, descrito anteriormente. Portanto, em

termos dos valores globais do SWL, o motor elétrico radia uma parcela de energia acústica significativamente maior, se comparada à energia radiada pelo tanque da lavadora.

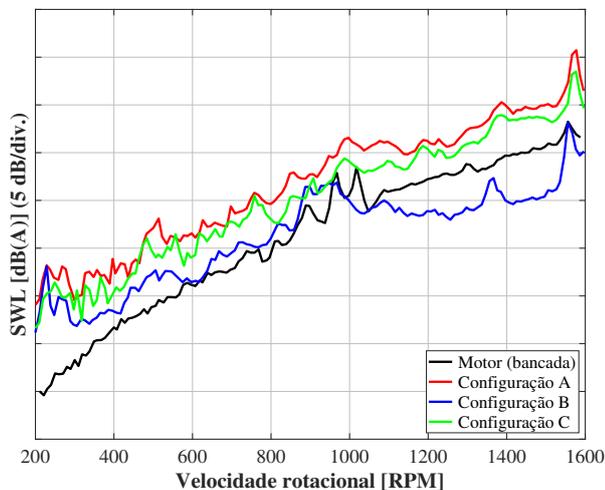


Figura 16: Resultados obtidos para a Configuração A, para a Configuração B, para a Configuração C e para o motor testado em bancada

De modo alternativo, além dos gráficos do SWL global, tem-se interesse em analisar os espectros de ruído da lavadora na condição de referência, ou seja, 1200 RPM. O gráfico da Figura 17 apresenta os espectros dos SWL em bandas de 1/3 de oitava referentes ao gabinete modificado, com o tanque isolado e com o motor isolado. Com base na análise dos espectros apresentados, conclui-se que o isolamento do motor reduziu significativamente as amplitudes das componentes de alta frequência. Por sua vez, o isolamento do tanque teve maior contribuição na faixa de 315 Hz a 1,6 kHz.

O estudo baseado na Configuração C demonstrou o potencial de redução nos SWL globais radiado pela lavadora. Embora o isolamento acústico do motor tenha levado à reduções significativas, deve-se destacar que em funções de limitações térmicas de aquecimento do rotor e do estator não se recomenda enclausurar o motor dentro de uma cavidade de pequenas dimensões. Atenuações do ruído radiado pelo motor poderiam ser obtidas pela adição de barreiras acústicas, construídas com material de elevada absorção sonora, entre o painel traseiro da lavadora e do tanque.

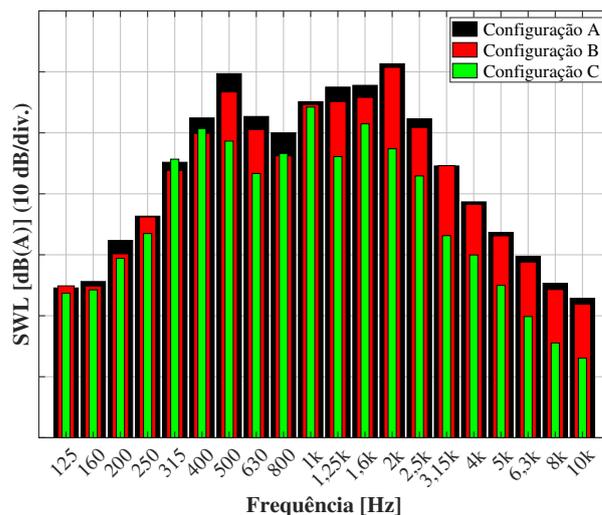


Figura 17: Comparação entre os SWL (1/3 oitava) dos gabinetes modificados.

4.2.4 Gabinete normal

Nesta seção, os SWL radiado pela lavadora com gabinete normal, sem fitas ou tratamento acústico (similar à Figura 5b), são comparados ao ruído radiado pelo gabinete modificado conforme Configuração A (Figura 13 (a)). Os resultados obtidos para o SWL global da lavadora com gabinete normal e com o gabinete modificado são apresentados na Figura 18.

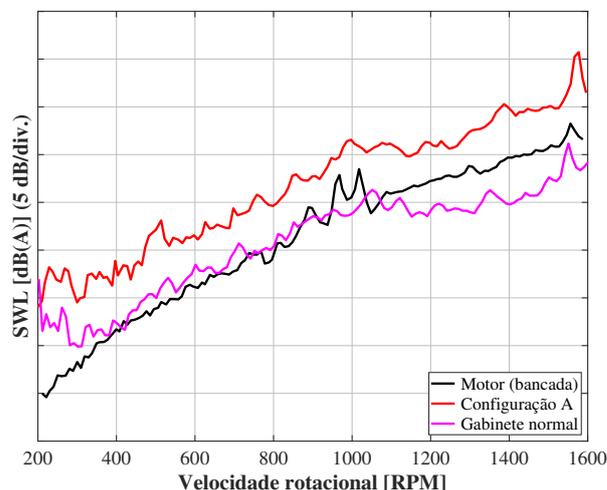


Figura 18: Resultados obtidos para a Configuração A, para a lavadora com gabinete normal e para o motor testado em bancada.

Conforme descrito na seção anterior, o motor elétrico é a principal fonte de ruído da lavadora de roupas. No entanto, o ruído radiado pelo conjunto motor e tanque é maior que o ruído radiado somente pelo motor. Considerando que o gabinete da lavadora de roupas envolve seus

elementos internos, é esperado que o gabinete enclausure estas fontes de ruído, reduzindo o ruído total radiado. Nos gráficos das Figuras 19 e 20, são comparados, respectivamente, os espectros do SWL em bandas de 1/3 de oitava e em banda estreita da Configuração A e da lavadora com gabinete normal na velocidade rotacional de referência. De modo consistente, são observadas atenuações superiores a 10 dB nas frequências superiores a 1 kHz, região na qual a clausura do gabinete da lavadora é mais efetiva na atenuação do ruído radiado pelo conjunto motor e tanque. Nas regiões de médias frequências, entre 500 Hz e 1 kHz, ocorrem atenuações do SWL entre 4 dB e 7 dB. Nas baixas frequências, especificamente próximo a 125 Hz se observam ampliações de até 10 dB no SWL. Tais ampliações resultam da menor capacidade de atenuação do gabinete nas baixas frequências e pela influência da maior eficiência de radiação sonora dos painéis do gabinete da lavadora.

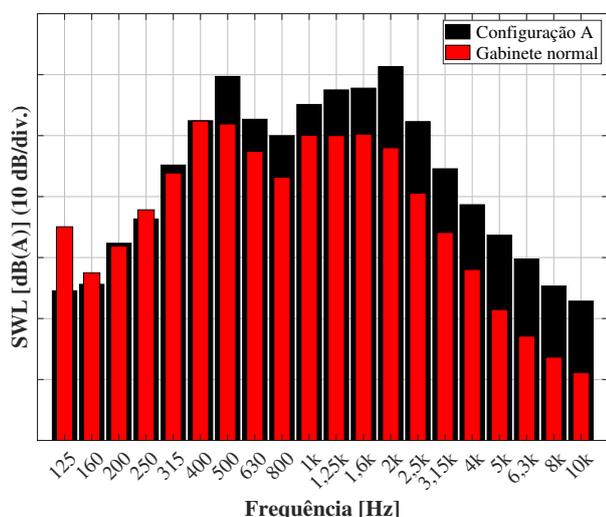


Figura 19: Comparação entre os SWL (1/3 de oitava) do gabinete modificado (Configuração A) em relação à lavadora com gabinete normal.

4.3 Tratamento acústico do gabinete

O ruído radiado pela lavadora objeto de estudo do presente trabalho foi considerado elevado, tendo em vista que até 950 RPM as diferenças entre os SWL globais do motor e da lavadora com gabinete normal eram pequenas. O trabalho apresentado por Liu et al. [3] demonstrou maiores níveis de intensidade sonora localiza-

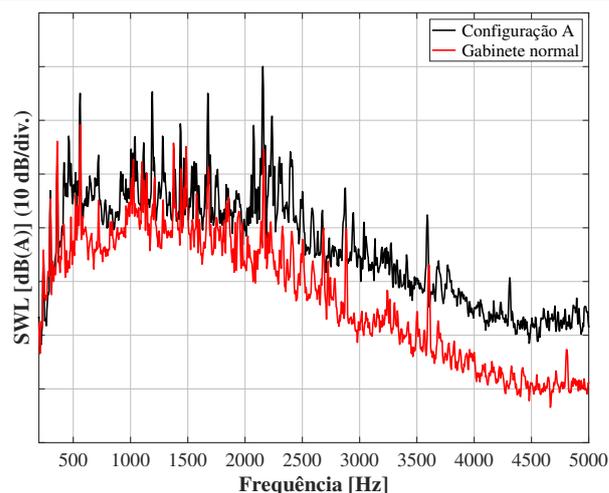


Figura 20: Comparação dos espectros do SWL do gabinete modificado (Configuração A) em relação à lavadora com gabinete normal.

dos na parte inferior do gabinete da lavadora. Os maiores níveis nessa região indicam uma deficiência à atenuação do gabinete em relação ao ruído radiado pelos elementos internos da lavadora. Diante deste fato e em busca da atenuação do ruído radiado foram realizadas modificações no gabinete da lavadora. Primeiramente, foram vedadas as aberturas do gabinete (Configuração D), resultantes do encaixe de um ou mais painéis, por meio de fitas de alta aderência. Após fez-se a vedação das aberturas da região inferior do gabinete (Configuração E) com material elevada absorção sonora (mesmo utilizado no isolamento do tanque, Configuração B).

A vedação inferior é realizada na região próxima do gabinete da lavadora ao piso da câmara e não se prolonga ao interior do gabinete. Na Figura 21 é apresentada uma foto registrada durante a preparação dos experimentos acústicos, sendo possível visualizar nitidamente as fitas utilizadas para vedar as aberturas do gabinete e o material de absorção utilizado na vedação inferior.

Para melhor compreender a contribuição de cada modificação, analisaram-se os efeitos da vedação das aberturas do gabinete separadamente e também em conjunto (Configuração F). Os resultados obtidos para cada configuração de vedação são mostrados no gráfico da Figura 22. Na Figura 23 são apresentados os espectros em bandas de 1/3 de oitava obtidos na condição

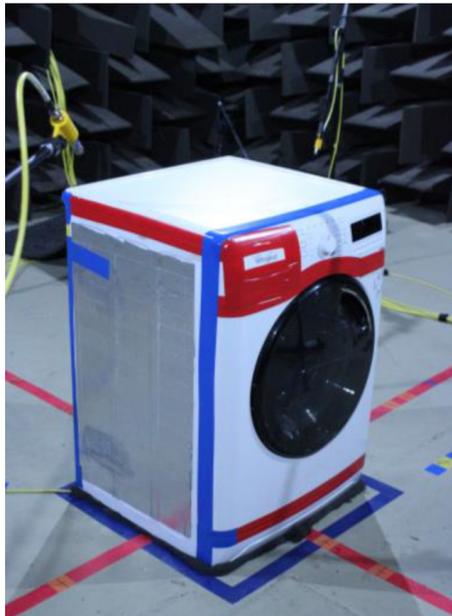


Figura 21: Foto da lavadora com as aberturas do gabinete isoladas por fitas e abertura inferior isolada por material de elevada absorção sonora.

operacional de referência com a lavadora normal, com a vedação das aberturas dos painéis (Configuração D) e vedação da abertura inferior do gabinete (Configuração E).

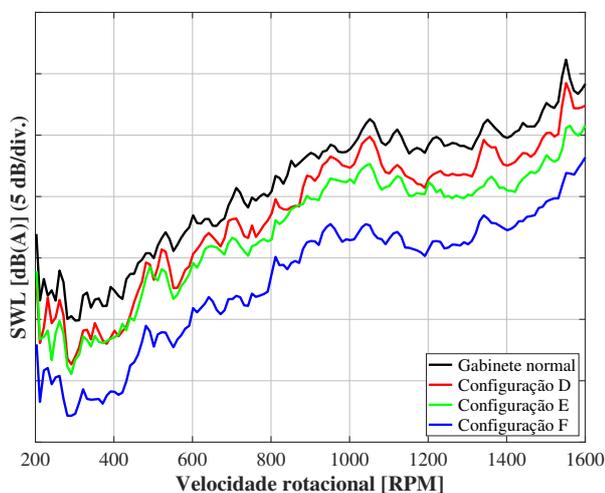


Figura 22: Resultados obtidos para os SWL globais para a lavadora com gabinete normal e após o tratamento acústico do gabinete da lavadora.

A análise dos dados processados permite concluir que reduções de até 3 dB foram obtidas considerando a vedação das aberturas do gabinete (Configuração D), e próximas a 4 dB, considerando a vedação inferior do gabinete (Configuração E). Em torno de 1370 RPM as diferenças observadas entre os resultados obtidos com o gabinete vedado por fitas em relação

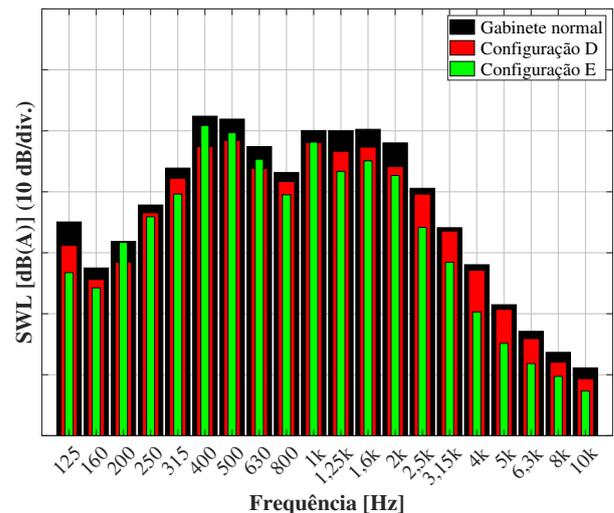


Figura 23: Resultados obtidos para os SWL em bandas de 1/3 de oitava em 1200 RPPM após o tratamento acústico do gabinete da lavadora.

ao gabinete com vedação inferior são da ordem de 3,2 dB. Nas demais regiões as mesmas diferenças são inferiores a 2 dB. Analisando-se os espectros da Figura 23, observa-se que as reduções nos SWL causadas pela vedação das aberturas do gabinete estão concentradas nas médias e baixas frequências. Por sua vez, as reduções originadas da vedação na região inferior do gabinete são mais evidentes nas regiões das médias e altas frequências.

Os resultados obtidos para os SWL globais da lavadora com vedação nas aberturas dos painéis e na parte inferior do gabinete indicam que as melhorias no isolamento acústico do gabinete da lavadora se mostraram eficazes. De modo geral, obtiveram-se reduções entre 6 dB e 8 dB em toda faixa operacional da lavadora. Vale destacar que atenuações da ordem de 7,2 dB haviam sido reportadas no estudo apresentado por Barpanda et al. [1]. Considerando os níveis das atenuações obtidas, é evidente o grande potencial em termos de redução do ruído radiado pela lavadora, desde que seja melhorado o enclausuramento dos componentes internos da lavadora.

Nas Figuras 24 e 25 são comparados os espectros em banda de terço de oitava e banda estreita, respectivamente, obtidos para a lavadora com gabinete normal em relação à lavadora com gabinete tratado acusticamente (Configuração F). Comparando-se os espectros proces-

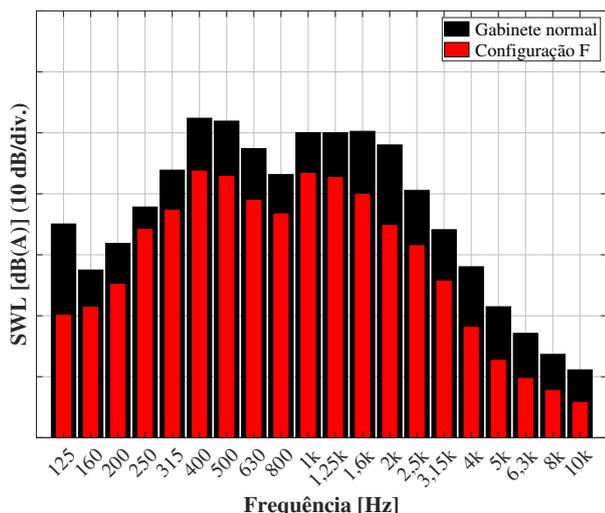


Figura 24: Espectros dos SWL em bandas de 1/3 de oitava em 1200 RPPM da lavadora com gabinete normal em relação ao gabinete com isolamento acústico aprimorado.

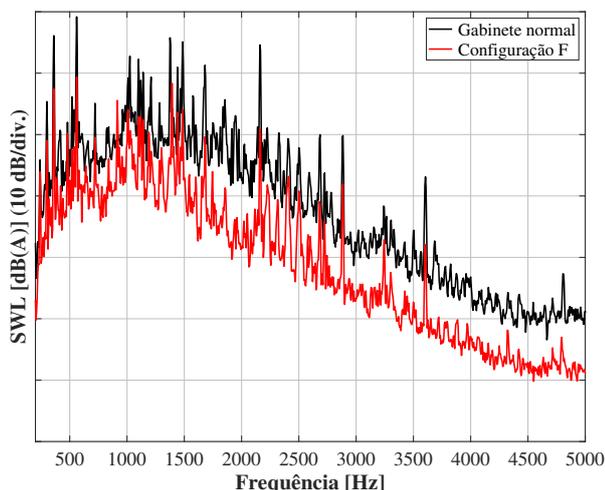


Figura 25: Espectros dos SWL em 1200 RPPM da lavadora com gabinete normal em relação ao gabinete com isolamento acústico aprimorado.

sados obtém-se que as atenuações ocorrem consistentemente ao longo de toda faixa de frequências analisada, inclusive nas componentes tonais.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram realizados experimentos acústicos visando caracterizar a contribuição do ruído radiado pelo motor, tanque e gabinete da lavadora. Como resultado dessas análises, ficou evidente que o motor é a principal fonte de ruído.

O motor, que é acoplado ao tanque e ao tam-

bor da lavadora, é uma fonte ativa de vibrações e ruído. Uma parcela da energia vibratória do motor é transmitida aos outros componentes da lavadora através desses acoplamentos. Como resultado, esses componentes passam a vibrar passivamente, aumentando o SWL radiado. A análise dos resultados obtidos permite concluir que o tanque tem maior contribuição no ruído de baixa frequência (menor que 1,6 kHz). Por sua vez, o motor tem maior contribuição no ruído de alta frequência (maior que 1 kHz), em especial, nas frequências relativas às ordens magnéticas principais, que correspondem aos múltiplos do número de polos do rotor e de bobinas do estator.

Com base nos testes realizados com a lavadora, observou-se que o gabinete proporciona, nas velocidades rotacionais inferiores a 950 RPM, atenuações da ordem de 5 dB no ruído global radiado pelos componentes internos. Nas velocidades rotacionais superiores a 950 RPM as atenuações do ruído global são da ordem de 10 dB. As maiores atenuações resultantes do enclausuramento dos componentes internos da lavadora pelo gabinete são observadas nas frequências superiores a 1,25 kHz, em que predomina o ruído do motor. Nas baixas frequências o gabinete proporciona menor atenuação.

Em síntese, o enclausuramento dos elementos internos, motor e tanque, reduz consistentemente o SWL radiado pela lavadora, entretanto, uma atenção especial deve ser dada às aberturas dos elementos que compõem o gabinete da lavadora. A energia acústica tende a se propagar por aberturas e frestas do gabinete, reduzindo os níveis de atenuação proporcionados pela clausura, conseqüentemente um produto potencialmente mais ruidoso do ponto de vista do usuário.

REFERÊNCIAS

1. BARPANDA, D.; TUDOR, J. M. Solutions-based approach for reduction noise in washing machines. In: *27th International Modal Analysis Conference*. Michigan: [s.n.], 2009. Disponível em: <http://www.sandv.com/downloads/0911barp.pdf>.

2. WANG, S.; NERSE, C.; KIM, H. W. Vibroacoustic noise analysis of a washing machine. In: SIT, E. Wee; WALBER, C.; WALTER, P.; SEIDLITZ, S. (Ed.). *Sensors and Instrumentation, Volume 5*. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 47–53. ISBN 978-3319549866. doi: [10.1007/978-3-319-54987-3_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54987-3_6).
3. LIU, Bin; FENG, Tao; WU, Xue; LI, Nan. Noise radiation characteristics of the washing machine based on sound intensity measurement. In: *Advanced Composite Materials*. [S.l.]: Trans Tech Publications Ltd, 2012. (Advanced Materials Research, v. 482), p. 1406–1409. doi: [10.4028/www.scientific.net/AMR.482-484.1406](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.482-484.1406).
4. PARIS, J. L.; TABUENCA, B. S. Acoustic analysis of the drainage cycle in a washing machine. In: *Dyna*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2014.
5. WHIRLPOOL Washing Machines Catalogue. Disponível em: http://www.whirlpool.co.uk/digitalassets/Picture/web2000x2000/WWDC-8220-1_859203515010_2000x2000.png. Acesso em: 22 de maio de 2015.
6. UK Whitegoods: Direct drive versus belt-pulley drive washing machines. Disponível em: <http://www.ukwhitegoods.co.uk/images/articles/lg-direct-drive-vs-belt-and-pulley.jpg>. Acesso em: 22 de maio de 2015.
7. BRANDT, Anders. *Noise and vibrations analysis: signal analysis and experimental procedures*. United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd, 2011.
8. GADE, S.; TUDOR, J. M.; KONSTATIN-HANSEN, H.; WISMER, N. *Order Tracking Analysis (Technical Review)*. Denmark, 1995. N. 2. Disponível em: <https://www.bksv.com/media/doc/bv0047.pdf>.
9. GIERAS, J. F.; WANG, C.; LAI, J. C. *Noise of Polyphase Electric Motors (Electrical and Computer Engineering)*. USA: Taylor & Francis Group, 2006.
10. BERANEK, Leo L.; VER, I. *Noise and Vibration Control Engineering*. Massachusetts: Wiley Interscience, 1992. 709–733 p. ISBN 978-0471449423.
11. CHEN, H. S.; TSAI, M. C. Design considerations of electromagnetic force in a direct drive permanent magnet brushless motor. *Journal of Applied Physics*, v. 103, n. 7, p. 07F117–1–07F117–3(3), 2008. doi: [10.1063/1.2835480](https://doi.org/10.1063/1.2835480).
12. ZUO, Shuguang; LIN, Fu; WU, Xudong. Noise analysis, calculation, and reduction of external rotor permanent-magnet synchronous motor. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 62, n. 10, p. 6204–6212, 2015. doi: [10.1109/TIE.2015.2426135](https://doi.org/10.1109/TIE.2015.2426135).
13. KROTSCH, Jens; PIEPENBREIER, Bernhard. Radial forces in external rotor permanent magnet synchronous motors with non-overlapping windings. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, v. 59, n. 5, p. 2267–2276, 2012. doi: [10.1109/TIE.2011.2151827](https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2151827).
14. ISO 3745:2012. *Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure— Precision methods for anechoic rooms and hemi-anechoic rooms*. [S.l.], 2012.
15. GOMES, Carlos Henrique. *Caracterização do isolamento acústico de painéis metálicos, utilizando Análise Estatística Energética (SEA)*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/102850>.
16. ISO 3744:2010 – International Organization for Standardization. *Acoustics - Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure - Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane*. 2010. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/52055.html>.
17. PLACAS SONEX ILLTEC 3D – PYRAMID. Disponível em: <https://owa.com.br/produutos/sonex-3d-pyramid/>. Acesso em: 27 de Julho de 2021.
18. SOUZA, Marcos Ricardo. *Modelo Vibroacústico de Motores Elétricos de Ímãs Per-*

manentes para Lavadoras. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/129409>.

19. SOUZA, Marcos Ricardo. *Identificação das Principais Ordens Harmônicas num Motor Elétrico e suas Contribuições para o Ruído*. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) — Programa de Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2012.

(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)

Avaliação de ruído urbano durante a pandemia de COVID-19: um estudo de caso no centro de São Paulo/SP

Michalski, R. L. X. N.¹ ; Shimomura, A. R. P.² ; Mülfarth, R. C. K.³ 

¹⁻³ Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, SP, {rannym, arprata, rkronka}@usp.br

Resumo

Diante do contexto da pandemia de COVID-19 e da necessidade de se conhecer as condições de ruído em grandes centros urbanos, visto que o mesmo já é considerado um problema de saúde pública pela Organização Mundial da Saúde, a presente pesquisa foi motivada pela possibilidade de registrar e analisar tais condições na cidade de São Paulo durante a pandemia (abril de 2020). Dessa forma, o trabalho consistiu em investigar se as medidas de distanciamento social impostas pelo governo do estado influenciaram na poluição sonora urbana. A área central da cidade de São Paulo, numa microescala de espaço urbano, foi escolhida como local de estudo devido à disponibilidade de medições realizadas anteriormente à pandemia. Durante o início do período de isolamento social foram realizadas novas medições nos mesmos locais. Os indicadores acústicos arbitrados foram: os níveis de pressão sonora em bandas de oitava, os níveis de pressão sonora contínuos equivalentes ponderados em A, L_{Aeq} , e os níveis estatísticos de pressão sonora, L_{A10} e L_{A90} . Por fim, foram analisadas e comparadas as condições de ruído urbano antes e durante a pandemia, com o intuito de verificar as mudanças entre os dois cenários. Os resultados mostram uma redução nos valores medidos, confirmando a hipótese de que as medidas adotadas de restrição social impactaram na paisagem sonora urbana. Espera-se, com tais resultados, estimular tanto as discussões a respeito do impacto do ruído urbano na saúde, quanto sua gestão, controle e prevenção por meio de iniciativas públicas.

Palavras-chave: COVID-19, pandemia, ruído urbano, avaliação sonora, poluição sonora.

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

Urban noise evaluation during the COVID-19 pandemic: a case study in the center of São Paulo/SP (Brazil)

Abstract

Due to the context of the COVID-19 pandemic and the need to better understand noise conditions in large urban centers, already considered a public health problem by the World Health Organization, this research was motivated by the possibility of recording and analyzing such conditions in the city of São Paulo, Brazil, during the pandemic (April, 2020). Thus, this study investigated whether the social distancing measures imposed by the state government influenced urban noise pollution. The central area of the city of São Paulo, a microscale of urban space, was chosen as the case study location due to the availability of measurements carried out prior to the pandemic. During the beginning of social isolation, new measurements were taken in the same places. The compared acoustic parameters were: sound pressure levels in octave bands, A-weighted equivalent continuous sound pressure levels, L_{Aeq} , and statistical sound pressure levels, L_{A10} and L_{A90} . Finally, the urban noise conditions before and during the pandemic were analyzed and compared, in order to verify the changes between the two scenarios. The results show a reduction in the measured values, confirming the hypothesis that the adopted measures of social restriction impacted the urban soundscape. These results are expected to stimulate discussion about both the impact of urban noise on health as well as its management, control and prevention through public initiatives.

Keywords: COVID-19, pandemic, urban noise, sound evaluation, noise pollution.

1. INTRODUÇÃO

Em dezembro de 2019, a Organização Mundial da Saúde (OMS) constatou um surto de casos de “pneumonia viral” detectado em Wuhan, capital e maior cidade da província de Hubei, na China. Logo depois, a incidência da doença denominada COVID-19, causada pelo novo coronavírus SARS-CoV-2, aumentou rapidamente e avançou em escala mundial. Em janeiro de 2020, a OMS declarou o surto da doença como uma emergência de saúde pública de importância internacional e dois meses depois, no dia 11 de março, foi decretada sua pandemia [1].

A exemplo do ocorrido em outras partes do mundo e seguindo as recomendações da OMS e do Ministério da Saúde, os estados brasileiros adotaram medidas para tentar conter o avanço da epidemia [1, 2]. Entre as medidas indicadas estão: o distanciamento social, a higienização das mãos, o uso de máscaras, a limpeza e a desinfecção de ambientes, o isolamento de casos suspeitos e confirmados e a quarentena dos contatos com os casos da doença.

No estado de São Paulo, o Decreto Nº 64.881, de 22 de março de 2020 [3], instituiu a medida de quarentena com restrição de atividades em todos os seus 645 municípios, a fim de inibir a aglomeração de pessoas e controlar a proliferação do coronavírus. O decreto define quais são os serviços essenciais à população, quais não são essenciais e como eles devem funcionar. O mesmo também dá o tratamento uniforme às medidas restritivas para os municípios.

A adoção das medidas de isolamento social e a consequente redução na atividade econômica ocasionaram alguns impactos à sociedade e ao meio ambiente. As condições pessoais mudaram repentinamente: instituições de ensino foram fechadas, tornando o ensino remoto, e quaisquer eventos que gerassem aglomeração de pessoas foram proibidos, as pessoas passaram a ficar mais tempo em casa, o *home office* e o ensino remoto foram necessários, o comércio em geral foi fechado, e apenas os serviços essenciais, como saúde, alimentação e segurança, foram mantidos. Com a redução das emissões

atmosféricas, os níveis de poluição do ar diminuíram nas grandes cidades [4–6].

A poluição sonora e a paisagem sonora urbana também sofreram alterações. Na Espanha, o Departamento de Qualidade Ambiental de Barcelona vem monitorando a cada semana os níveis de ruído na cidade desde 14 de março de 2020, data em que medidas locais de *lockdown* foram impostas. Os relatórios emitidos até o momento [7] mostram que a redução nos níveis sonoros foi mais significativa nas duas primeiras semanas. Os níveis permaneceram estáveis até a quinta semana, quando voltaram a aumentar, coincidindo com o retorno das atividades de trabalhadores não essenciais.

Contudo, enquanto as cidades pareciam mais silenciosas, com menor tráfego de veículos, as reclamações sobre ruído produzido por vizinhos aumentaram durante a pandemia [8,9], tornando cada vez mais importantes as preocupações com as questões acústicas.

Diante do contexto da pandemia de COVID-19 e das medidas de distanciamento social impostas pelo governo estadual, o presente trabalho buscou investigar os efeitos na poluição sonora urbana no centro da cidade de São Paulo devido às mudanças ocasionadas pela pandemia. A microescala urbana foi escolhida de modo a observar tais alterações em relação ao pedestre. Para tal estudo, foram analisadas e comparadas condições de ruído urbano realizadas antes e durante o início do período de isolamento social.

2. RUÍDO URBANO

Grandes cidades e centros urbanos possuem uma enorme quantidade e diversidade de fontes produtoras de “ruído urbano”. Esse termo compreende quaisquer sons desagradáveis relacionados a espaços urbanos, podendo surgir de diversas fontes, como tráfegos rodoviário, ferroviário e aeroviário, pessoas, construções, etc. Além das fontes sonoras, as cidades possuem muitas superfícies refletoras, que podem intensificar o ruído por meio das reflexões sonoras em suas próprias superfícies. Quando em níveis de pressão sonora elevados, o ruído pode ser carac-

terizado como agente poluidor ambiental, sendo a poluição sonora considerada um problema de saúde pública [10].

A exposição à poluição sonora é prejudicial à população, pois pode acarretar diversos problemas de saúde, desde problemas psíquicos e fisiológicos, até físicos, entre eles: irritabilidade, estresse, fadiga, depressão, distúrbios do sono, tensões musculares, alterações da pressão sanguínea, complicações cardiovasculares e respiratórias, perda auditiva ou surdez [11, 12]. É importante ressaltar que o ruído também impacta negativamente no desempenho de tarefas, no estudo, no trabalho e na produtividade, ao provocar, por exemplo, diminuição da atenção e da capacidade de concentração, dificuldade de comunicação e diminuição da capacidade de aprendizagem [13–16].

Considerando que o conhecimento das condições de ruído na cidade é fundamental para estimular discussões a respeito de sua importância para a saúde ambiental, assim como para estimular a iniciativa governamental para seu controle e prevenção [17], a possibilidade de registrar e analisar tais condições no contexto da pandemia motivou a presente pesquisa.

Na Europa, devido à Diretiva 2002/49/CE [18], relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, diversos centros urbanos possuem sistemas de monitoramento contínuo de ruído ambiental, permitindo com isso, que comparações como as propostas no presente trabalho sejam feitas a partir da obtenção destes dados. Muitas cidades têm produzido mapas de ruído para comparar os cenários anteriores à pandemia com o atual [8, 19]. Alguns estudos relacionam os dados de estações de monitoramento de ruído de longo prazo com pesquisas, em que são registradas de forma online as percepções dos residentes acerca dos seus ambientes sonoros durante a pandemia [19].

Sistemas de monitoramento de ruído de longo prazo não são a realidade dos centros urbanos brasileiros, inclusive da cidade de São Paulo, principalmente pela falta de políticas públicas para o controle e monitoramento de ruído, obri-

gando dessa forma a realização de medições pontuais em dias específicos e reduzindo as possibilidades de análises.

Para medições de longa duração, os indicadores quantitativos de avaliação sonora utilizados são os níveis de pressão sonora contínuos equivalentes representativos de períodos de tempo completos, como dia, entardecer, noite e 24 horas, L_d , L_e , L_n e L_{den} , respectivamente.

Em medições de curta duração, como é o caso do presente trabalho, os indicadores quantitativos de avaliação sonora utilizados são os níveis de pressão sonora contínuos equivalentes medidos durante intervalos de medição menores.

Para correlacionar os valores medidos dos níveis de pressão sonora com a resposta do ouvido humano, utiliza-se a ponderação A, que “traduz” a resposta do ouvido humano para as medições dos níveis de pressão sonora, visto que a resposta do ouvido não tem uma variação linear em frequência. Sendo assim, os níveis de pressão sonora contínuos equivalentes ponderados em A, L_{Aeq} , para diferentes intervalos de medição, são os descritores considerados em leis e normas.

A OMS recomenda o nível máximo de ruído de 55 dB (L_{Aeq}) ao ar livre durante o dia para não causar incômodo e possíveis problemas de saúde [10]. A norma brasileira ABNT NBR 10151:2019, *Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral* [20] estabelece limites de níveis de pressão sonora para ambientes externos às edificações, em áreas destinadas à ocupação humana, em função da finalidade de uso e ocupação do solo, para os períodos diurno e noturno. Esta norma é referenciada em Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente [21, 22] e, portanto, tem poder de regulamentação no país. A norma também é usada como referência para a elaboração de planos diretores municipais, junto com leis de parcelamento, uso e ocupação do solo, definindo níveis sonoros adequados para diferentes regiões e usos.

Além dos níveis equivalentes, também são utilizados os níveis estatísticos de pressão sonora,

L_N , que correspondem ao nível de pressão sonora que foi excedido em $N\%$ do tempo de medição. O presente trabalho utilizou dois níveis estatísticos, L_{10} e L_{90} , que equivalem ao nível de pressão sonora que foi excedido em 10% e 90% do tempo de medição, respectivamente.

É importante ressaltar que o L_{90} exclui interferências esporádicas e é usado para representar o nível residual. O contrário acontece com o L_{10} , que representa os eventos sonoros (esporádicos). Portanto, o uso do L_{90} é mais indicado para o tipo de comparação realizada no presente trabalho.

A diferença entre os níveis estatísticos L_{10} e L_{90} , ($L_{10} - L_{90}$), também é utilizada em avaliações sonoras, como indicador da variação sonora e de incômodo do ruído durante o intervalo de medição (quanto maior a diferença entre os níveis, maior a variação no nível de ruído, maior a percepção sonora e maior o incômodo) [23].

3. LOCAL DO ESTUDO

O centro da cidade de São Paulo foi o local de estudo escolhido para análise das condições sonoras, mais especificamente duas de suas principais vias e o cruzamento entre as mesmas: a Avenida Paulista e a Rua da Consolação, apresentados no mapa da Figura 1.



Figura 1: Local do estudo na cidade de São Paulo.

São Paulo é a maior metrópole brasileira. Com cerca de 12 milhões de habitantes [24], é a oitava cidade mais populosa do planeta. Além de possuir um caráter cosmopolita, também é

classificada como cidade global, em função dos serviços e do seu desenvolvimento estrutural, econômico e político.

A Avenida Paulista foi a primeira via pública asfaltada do Estado de São Paulo, em 1909 [25], sendo até hoje um dos logradouros mais importantes e símbolo da capital paulista. Além de ser um dos principais centros financeiros, concentra diversos pontos culturais e de entretenimento, atraindo milhares de pessoas e turistas. Com 2,8 km de extensão, a avenida interliga importantes vias, tais como: Rua da Consolação, Av. Dr. Arnaldo, Av. Rebouças, Av. 9 de Julho, Av. Brigadeiro Luís Antônio e Av. 23 de Maio. No ano de 2014, a população residente na Avenida Paulista era estimada em 5 mil habitantes [26].

A Rua da Consolação é outra importante via do município de São Paulo. Tem início no centro da cidade, na Rua Dr. Bráulio Gomes, e cruza, entre outras, a Av. São Luís e a Av. Paulista. Com 3,7 km de extensão, a rua abriga o mais antigo cemitério em funcionamento da capital, além de lojas especializadas em lustres e luminárias, e termina como via predominantemente residencial, na Rua Estados Unidos, nos Jardins.

Deve-se ressaltar também a disponibilidade de níveis sonoros anteriores ao período da pandemia realizadas nos locais selecionados, influenciando sua escolha.

4. DESENVOLVIMENTO

A metodologia empregada foi do tipo indutivo experimental, por meio de medições de níveis de pressão sonora no local de estudo antes e durante a pandemia. Para a comparação, foram consideradas medições em três momentos distintos, com diferentes índices de isolamento social.

Considerando o tráfego de veículos motorizados como a principal fonte de ruído local, foram selecionados pontos de medição em duas vias de tráfego de automóveis, Avenida Paulista e Rua da Consolação, e em seu cruzamento (vide Figura 1). Foram escolhidos os mesmos pontos nos quais medições prévias de nível de pressão sonora haviam sido realizadas em abril de 2019,

Quadro 1: Locais arbitrados para avaliação de ruído.

| Local | Endereço | Imagens |
|-------|--|--|
| 1 | Avenida Paulista, nº 2073, em frente ao Edifício Conjunto Nacional, no canteiro central |  |
| 2 | Cruzamento entre Av. Paulista e Rua da Consolação, no canteiro central |  |
| 3 | Rua da Consolação, nº 1660, em frente ao Cemitério da Consolação, próximo ao cruzamento com a Rua Pedro Taques |  |

em um período de normalidade, anterior ao da pandemia de COVID-19, com grande fluxo de pessoas e veículos nas vias, ou seja, sem nenhum tipo de medida de isolamento social. O Quadro 1 apresenta os locais de medição e a Figura 2 ilustra os cenários anterior e durante a pandemia, com duas fotografias registradas na Rua da Consolação.

Durante a pandemia, as medições foram realizadas nos dias 9 e 23 de abril de 2020. Para obtenção dos valores das taxas de isolamento social nestes dias, foi consultado o Sistema de Monitoramento Inteligente de São Paulo (SIMI-SP) [27], que estima diariamente o índice de adesão ao isolamento social no estado e em cidades de São Paulo. Esta estimativa é realizada por meio do monitoramento de dados georreferenciados e anônimos de localização de sinais de celulares da população.

Segundo as autoridades de saúde, uma taxa de isolamento ideal estipulada para conter a disseminação da COVID-19 e não sobrecarregar o sistema de saúde deve ser no mínimo 70% [28]. De acordo com o SIMI-SP, as taxas de isolamento registradas na capital paulista nos dias 9 e 23 de abril de 2020 foram ambas de

48%. Este número se refere à porcentagem da população em isolamento. Contudo, durante as medições, constatou-se que no dia 23 de abril o fluxo de carros, motocicletas e pedestres era visivelmente maior do que no dia 9 de abril.

Todas as medições aconteceram no período diurno, em dias úteis, e seguiram as diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR 10151 [20]. Nas medições realizadas durante a pandemia, as pesquisadoras seguiram as medidas de higiene e distanciamento social, além do uso de máscaras.

Os equipamentos utilizados nas medições foram o calibrador acústico modelo CAL200 e o sonômetro modelo SLM 831, ambos da marca Larson Davis, além de um tripé. O medidor de nível de pressão sonora, do tipo Classe 1, é capaz de avaliar os níveis de pressão sonora em função da frequência (bandas de oitava e terças de oitava), além de medir níveis ponderados e estatísticos, entre outros.

As medições foram realizadas com o sonômetro fixado no tripé a aproximadamente 1,20 m do solo e com duração de cinco minutos para cada ponto. Paralelamente à aferição da pressão

sonora, foram feitas gravações em vídeos com câmera fotográfica, de modo a registrar não apenas a variação quantitativa no nível de ruído, mas também a variação qualitativa na paisagem sonora urbana.

Foram medidos os seguintes indicadores acústicos: níveis de pressão sonora equivalente ponderado em A, L_{Aeq} , níveis estatísticos de pressão sonora, L_{10} e L_{90} , diferença entre L_{10} e L_{90} , e níveis de pressão sonora em bandas de oitava, todos expressos em decibels (dB). Por fim, os resultados das medições foram analisados e comparados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das medições dos níveis de pressão sonora (L_{Aeq} , L_{A10} e L_{A90}) são apresentados na Tabela 1 e na Figura 3 para os três locais e as três datas de medição. Já a Tabela 2 apresenta as diferenças obtidas entre as medições realizadas no ano de 2019 (pré-pandemia) e as medições realizadas nas duas datas no ano de 2020 (durante o período de distanciamento social).

Ao analisar os valores, é possível notar que a

maioria das medições realizadas durante o período de isolamento social apresentaram valores inferiores às medições realizadas previamente à pandemia.

Ao comparar os resultados de L_{Aeq} , observa-se uma redução em todos os locais de medição no dia 9 de abril de 2020, quando comparados com os resultados de 2019. Já no dia 23 de abril, o local 3 apresentou um valor um pouco maior quando comparado aos outros dias. Verifica-se também que os níveis medidos no dia 23 de abril foram maiores que os do dia 9 de abril para os três locais.

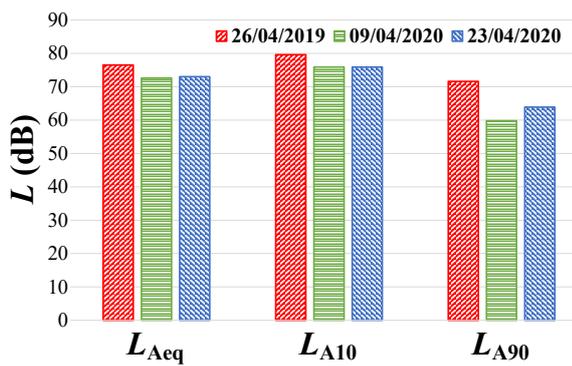
Na Av. Paulista, local de medição 1, os níveis pré-pandemia medidos foram 76 dB para L_{Aeq} . Durante a pandemia, os valores foram 73 dB. Uma redução de 3 dB equivale a uma redução de 50% na energia sonora, ou seja, uma redução de metade da potência da fonte sonora, apesar da sensação sonora não refletir tal variação [7]. Pelo fato do limiar de percepção do ouvido humano ser de aproximadamente 3 dB, uma variação em nível sonoro dessa ordem é pouco percebida pelo ouvinte. Por outro lado, uma variação de 5 dB é considerada claramente



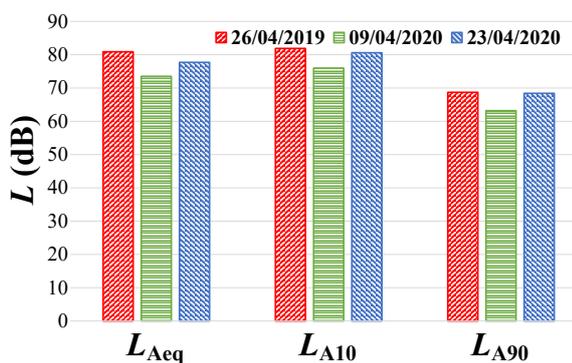
Figura 2: Rua da Consolação antes (à esquerda) e durante a pandemia (à direita).

Tabela 1: Resultados das medições nos três locais e três datas.

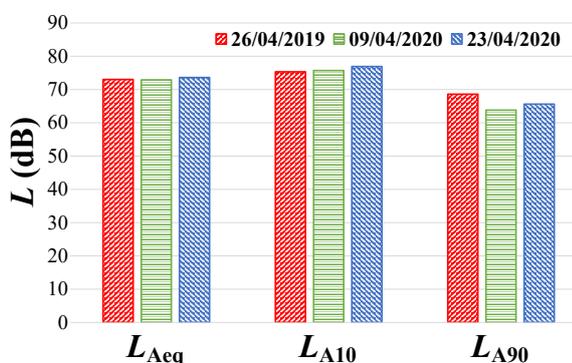
| local | Pré-pandemia (2019) | | | Pandemia (09/04/2020) | | | Pandemia (23/04/2020) | | |
|-------|---------------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|
| | L_{Aeq} [dB] | L_{A10} [dB] | L_{A90} [dB] | L_{Aeq} [dB] | L_{A10} [dB] | L_{A90} [dB] | L_{Aeq} [dB] | L_{A10} [dB] | L_{A90} [dB] |
| 1 | 76,5 | 79,6 | 71,6 | 72,6 | 75,9 | 59,8 | 73,0 | 75,9 | 63,9 |
| 2 | 80,9 | 81,9 | 68,7 | 73,5 | 76,0 | 63,2 | 77,7 | 80,6 | 68,4 |
| 3 | 73,0 | 75,3 | 68,6 | 72,9 | 75,7 | 63,8 | 73,6 | 76,9 | 65,6 |



(a) Local 1



(b) Local 2



(c) Local 3

Figura 3: Resultados das medições: em vermelho (26/04/2019), em verde (09/04/2020) e em azul (23/04/2020).

perceptível, enquanto uma redução de 10 dB é percebida como um som duas vezes menos intenso [29]. Há que se considerar ainda a incerteza de medição: aproximadamente 2 dB para o instrumento utilizado.

O cruzamento entre a Avenida Paulista e a Rua da Consolação, local de medição 2, é o ponto mais movimentado do trajeto. As medições anteriores à pandemia indicaram 81 dB para L_{Aeq} . Durante a pandemia, os resultados foram 73 dB e 78 dB nos dias 9 e 23 de abril de 2020, respectivamente.

No local de medição 3, em frente ao Cemitério da Consolação, as medições anteriores à pandemia indicaram L_{Aeq} de 73 dB, sendo praticamente o mesmo valor obtido nos dias 09 e 23 de abril de 2020 durante a pandemia, apesar das medidas de isolamento social. Por se tratar de um ponto em frente a um cemitério, foi constatada uma maior presença de pessoas e de veículos funerários.

Ao analisar os resultados do índice estatístico L_{A10} (nível de pressão sonora que foi excedido em 10% do tempo de medição), observa-se redução do nível sonoro apenas nos locais 1 e 2. Por outro lado, os resultados do índice estatístico L_{A90} (nível de pressão sonora que foi excedido em 90% do tempo de medição) indicam redução em todos os locais durante a pandemia.

Como o indicador L_{A90} é menos sensível a interferências esporádicas ele representaria de forma mais fidedigna a paisagem sonora local. As maiores reduções foram observadas nos resultados da Av. Paulista (local de medição 1), com diferenças chegando a 11,8 dB. No cruzamento entre as vias (local de medição 2), as diferenças chegaram a 5,5 dB. Por sua vez, em frente ao

Tabela 2: Comparação entre as medições realizadas antes e durante a pandemia.

| local | Diferenças entre 2019 e 09/04/2020 | | | Diferenças entre 2019 e 23/04/2020 | | |
|-------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | ΔL_{Aeq} [dB] | ΔL_{A10} [dB] | ΔL_{A90} [dB] | ΔL_{Aeq} [dB] | ΔL_{A10} [dB] | ΔL_{A90} [dB] |
| 1 | 3,9 | 3,7 | 11,8 | 3,5 | 3,7 | 7,7 |
| 2 | 7,4 | 5,9 | 5,5 | 3,2 | 1,3 | 0,3 |
| 3 | 0,1 | -0,4 | 4,8 | -0,6 | -1,6 | 3,0 |

Cemitério da Consolação (local de medição 3), as diferenças chegaram a 4,8 dB.

A Tabela 3 apresenta os valores das diferenças ($L_{A10} - L_{A90}$) para todas as medições. Ao analisar os valores antes da pandemia, a maior variação entre os níveis estatísticos foi obtida para o local de medição 2 (cruzamento entre as vias), confirmando o fato deste ser o local com maior fluxo de tráfego. Durante a pandemia constatou-se um aumento nas variações para os locais de medição 1 e 3, em comparação com as variações anteriores ao período de isolamento. Já o local 2 manteve aproximadamente a mesma variação entre os cenários.

Tabela 3: Diferenças entre L_{A10} e L_{A90} ($L_{A10} - L_{A90}$).

| local | 2019 | 09/04/2020 | 23/04/2020 |
|-------|---------|------------|------------|
| 1 | 8,0 dB | 16,1 dB | 12,0 dB |
| 2 | 13,2 dB | 12,8 dB | 12,2 dB |
| 3 | 6,7 dB | 11,9 dB | 11,3 dB |

Outro indicador acústico analisado foram os níveis de pressão sonora contínuos equivalentes em bandas proporcionais de 1/1 de oitava. Os gráficos das Figuras 4 a 6 apresentam os valores em função da frequência para os três locais de medição nos três dias: em vermelho, antes da pandemia (2019), em verde (09/04/2020) e azul (23/04/2020) durante a pandemia.

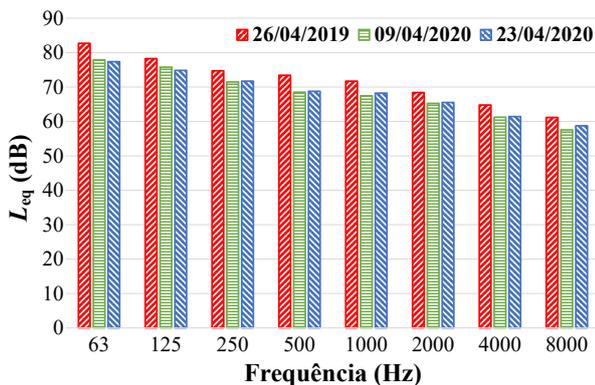


Figura 4: L_{eq} em bandas de oitava para o local 1.

As análises em bandas de oitava confirmam que a maioria das medições realizadas durante o período de isolamento social apresentaram valores inferiores às realizadas previamente em 2019. Em todas as medições, observa-se maior

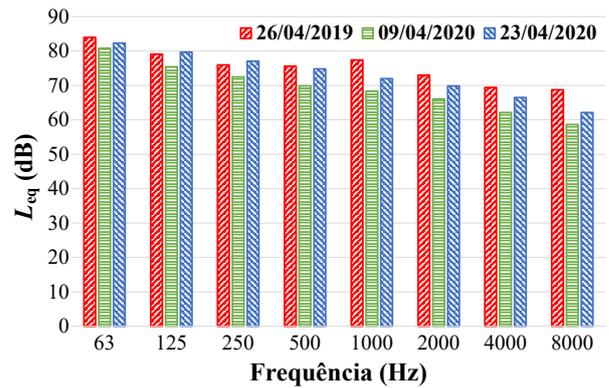


Figura 5: L_{eq} em bandas de oitava para o local 2.

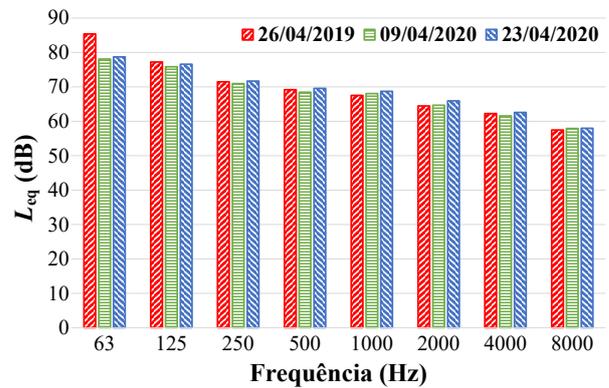


Figura 6: L_{eq} em bandas de oitava para o local 3.

contribuição sonora nas frequências mais graves, típico do tipo de fonte sonora predominante (tráfego de veículos).

A análise espectral dos níveis sonoros é importante, pois revela mais informações do que os níveis globais. Nesse caso, a informação de que os níveis sonoros sofreram reduções durante a pandemia em todos os pontos de medição.

Os resultados obtidos permitem também inferir que, apesar da taxa de isolamento registrada pelo SIMI-SP ter sido 48% na capital nos dois dias, esta não reflete o comportamento completo das vias analisadas em sua microescala, mas sim na escala da cidade. As diferenças obtidas entre os dias 9 e 23 de abril de 2020 são justificadas pelo fato do fluxo de veículos e pedestres ter sido maior no dia 23 de abril.

Aqui cabe uma observação: entre os objetivos iniciais da pesquisa estava a realização de medições sonoras em campo em diferentes datas com diferentes taxas de isolamento, desde o mês de abril de 2019 até chegar à taxa de isola-

mento ideal desejada de 70%. Entretanto, desde o início do decreto impondo as medidas de restrição, a taxa de isolamento na capital paulista não ultrapassou o valor de 60%. Os maiores valores alcançados na cidade foram 59%, registrados em dois domingos consecutivos, nos dias 29 de março e 05 de abril de 2020, ainda no início do período de isolamento social. Com o decorrer da pandemia, observou-se que, apesar de haver uma oscilação na taxa de isolamento, a mesma seguiu uma tendência de redução ao longo do tempo, como pode ser observado no gráfico da Figura 7. Por este motivo, a ideia inicial de acompanhar a redução nos níveis de pressão sonora nos locais de medição em função do aumento da taxa de isolamento não pôde ser concretizada.

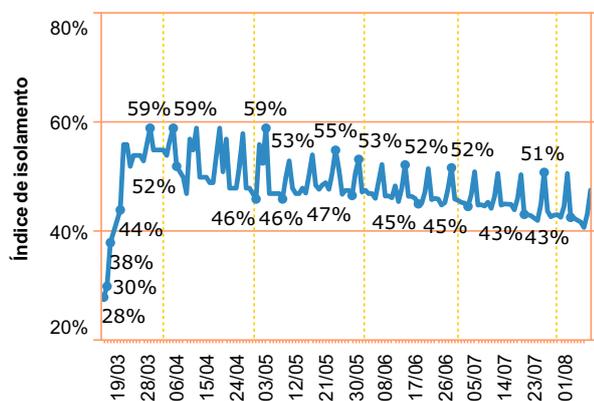


Figura 7: Índice de isolamento na cidade de São Paulo de março a julho de 2020 (elaborado a partir de [27]).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, tem sido observado um aumento das exigências de conforto e de saúde nos ambientes construídos e espaços urbanos e, conseqüentemente, da preocupação com o aumento da qualidade de vida. Entretanto, considerando-se que a poluição sonora é um agente causador de problema de saúde e que os seus efeitos na população são difíceis de serem notados, a mesma acaba sendo muitas vezes negligenciada. Por isso, é importante conhecer as condições acústicas ambientais.

O presente trabalho consistiu em comparar medições de ruído urbano no centro da cidade de São Paulo antes e durante as medidas de dis-

tanciamento social impostas pela pandemia de COVID-19, visando a investigar as mudanças nos níveis sonoros entre os dois cenários, na microescala do pedestre.

Conforme apresentado, constatou-se que na maioria dos pontos escolhidos para medições houve redução nos níveis de pressão sonora L_{Aeq} durante a pandemia, com exceção do ponto 3, localizado em frente ao Cemitério da Consolação. Tal discrepância pode estar associada justamente com o maior número de mortes que a cidade presenciou durante a pandemia, visto a presença de veículos funerários no local.

Apesar das mudanças observadas, todos os valores medidos de L_{Aeq} estão acima tanto dos valores recomendado pela OMS [10] como pela norma ABNT NBR 10151 [20]. O mesmo para a lei municipal [30], que estabelece o limite máximo de 60 dB para o período diurno para o zoneamento do local (Zona Eixo de Estruturação da Transformação Urbana, ZEU). Entretanto, vale ressaltar que na escala dos pontos de medição e com veículos circulando ao redor, seria impossível atingir este valor recomendado.

Na análise dos níveis estatísticos L_{A90} , que podem ser usados para representar o nível residual ao longo do tempo de medição, os resultados mostram uma redução nos valores em todos os locais de medição. Considerando que este indicador exclui eventos sonoros esporádicos, é possível confirmar a hipótese de que as medidas adotadas de restrição social impactam na paisagem sonora urbana. É importante destacar que as medições foram realizadas no período diurno num intervalo de tempo de cinco minutos cada, durante o qual eventos sonoros, como buzinas, frenagens ou acelerações de veículos, podem acontecer. Outro ponto percebido foi o aumento na quantidade de entregadores de motocicletas e de bicicletas nas vias públicas.

A mudança observada na paisagem sonora em decorrência das medidas de isolamento social para conter o avanço da pandemia possibilita que as pessoas compreendam que podemos ter uma qualidade de vida melhor com melhores condições acústicas e, assim, passem a reivin-

dicar mudanças. Quando as pessoas percebem os espaços urbanos, elas passam a qualificá-los em mais ou menos confortáveis e, caso seja possível, escolhem circular ou não por eles. Por exemplo, se uma pessoa considera a calçada de determinada via desagradável, ela pode decidir não caminhar por ali, mas talvez por uma rua paralela.

A conscientização da população acerca do ruído urbano, que pode ser ampliada por meio de programas informativos, junto com a adoção do planejamento sonoro urbano são duas ferramentas fundamentais para combater a poluição sonora. Para que o planejamento sonoro urbano seja eficiente, devem ser conhecidas as condições sonoras existentes no local para a definição de planos de redução sonora e melhoria na paisagem sonora. Deve-se ressaltar que o planejamento sonoro urbano é apenas uma parte do planejamento urbano, área multidisciplinar e muito abrangente.

A elaboração do mapa de ruído é importante para a auxiliar na identificação de quais são as áreas mais e menos ruidosas, para então serem atribuídos usos e tratamentos diferentes. Algumas estratégias de planejamento sonoro que podem ser adotadas para combater o ruído urbano nos centros de grandes cidades são: o tratamento acústico do asfalto (com a utilização de asfaltos de baixo ruído), a redução do tráfego ou seu redirecionamento, a diminuição da velocidade dos veículos, o uso de veículos alternativos ou não motorizados, a criação de zonas silenciosas, a construção de passagens subterrâneas para carros e de ruas apenas para pedestres.

Neste sentido, espera-se que o presente trabalho possa estimular discussões a respeito do impacto do ruído urbano na saúde, sua prevenção e gerenciamento por meio de iniciativas públicas e que também sirva como uma boa justificativa junto aos órgãos governamentais quanto às necessidades de melhor acompanhamento dos níveis de ruídos urbanos e de sistemas de monitoramento de ruído de longo prazo principalmente em grandes metrópoles brasileiras.

REFERÊNCIAS

1. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Coronavirus disease (COVID-19) pandemic. 2020. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>.
2. BRASIL. Ministério da Saúde. Coronavírus. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/coronavirus>.
3. SÃO PAULO (Estado). Decreto N° 64.881, de 22/03/2020. Decreta quarentena no Estado de São Paulo, no contexto da pandemia da COVID-19, e dá providências complementares, São Paulo. 2020. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2020/decreto-64881-22.03.2020.html>.
4. THE EARTH OBSERVATORY. Airborne nitrogen dioxide plummets over china. 2020. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/146362/airborne-nitrogen-dioxide-plummets-over-china>.
5. DUTHEIL, F.; BAKER, J. S.; NAVEL, V. COVID-19 as a factor influencing air pollution? *Environ. pollut.*, v. 263, 2020. ISSN 0269-7491. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114466.
6. ZAMBRANO-MONSERRATE, M. A.; RUANO, M. A.; L., SANCHEZ-ALCALDE. Indirect effects of COVID-19 on the environment. *Science of The Total Environment*, v. 728, 2020. ISSN 0048-9697. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138813.
7. AJUNTAMENT DE BARCELONA. Informe COVID-19 de alteración de los niveles sonoros. 2020. Disponível em: <https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/servicios/la-ciudad-funciona/mantenimiento-del-espacio-publico/gestion-energetica-de-la-ciudad/servicio-de-control-acustico/informe-covid-19>.
8. ALETTA, F.; OBERMAN, T.; MITCHELL, A.; TONG, H.; KANG, J. Assessing the changing urban sound environment during the COVID-19 lockdown period using short-term acoustic measurements. *Noise Mapping*, v. 7, n. 1, p. 123–134, 2020. ISSN 2084-879X. doi: 10.1515/noise-2020-0011.

9. CNN BRASIL. ASP: Reclamações entre vizinhos crescem 300% em condomínios durante a quarentena. 2020. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/2020/08/31/sp-reclamacoes-entre-vizinhos-crescem-300-em-condominios-durante-a-quarentena>.
10. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for community noise. 1999. Disponível em: <http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf>.
11. BASNER, M.; BABISCH, W.; DAVIS, A.; BRINK, M.; CLARK, C.; JANSSEN, S.; STANSFELD, S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, v. 383, p. 1325–1332, 2014. ISSN 0140-6736. doi: [10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X).
12. BABISCH, W. Cardiovascular effects of noise. *Noise & Health*, v. 13, n. 52, p. 201–204, 2011. doi: [10.4103/1463-1741.80148](https://doi.org/10.4103/1463-1741.80148).
13. FERNANDES, R. A.; VIDOR, D. C. G. M.; OLIVEIRA, A. A. The effect of noise on attention and performance in reading and writing tasks. *CoDAS*, v. 31, n. 4, 2019. doi: [10.1590/2317-1782/20182017241](https://doi.org/10.1590/2317-1782/20182017241).
14. NASSIRI, P.; MONAZAM, M.; DEHAGHI, B. FOULADI; ABADI, L. IBRAHIMI GHAVAM; A., ZAKERIAN S.; AZAM, K. The effect of noise on human performance: a clinical trial. *Int. J. Occup. Environ. Med.*, v. 4, n. 2, p. 87–95, 2013.
15. JENSEN, H. A. R.; RASMUSSEN, B.; EKHOLM, O. Neighbour and traffic noise annoyance: a nationwide study of associated mental health and perceived stress. *European Journal of Public Health*, v. 28, n. 6, p. 1050–1055, 2018. ISSN 1464-360X. doi: [10.1093/eurpub/cky091](https://doi.org/10.1093/eurpub/cky091).
16. BROCOLINI, L.; PARIZET, E.; CHEVRET, P. Effect of masking noise on cognitive performance and annoyance in open plan offices. *Applied Acoustics*, v. 114, p. 4–55, 2016. ISSN 0003-682X. Disponível em: [10.1016/j.apacoust.2016.07.012](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.07.012).
17. MICHALSKI, R. L. X. N.; CAPARROZ, G. M. Avaliação sonora de espaços urbanos na área central de são paulo: o caso da avenida ipiranga. *Acústica e Vibrações*, Sociedade Brasileira de Acústica, v. 35, n. 51, p. 13–32, 2019. ISSN 2764-3611, 1983-442X.
18. UNIÃO EUROPEIA. Directiva 2002/49/CE do Parlamento e do Conselho Europeu, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. *Jornal Oficial*, n. 45, I. 189, p. 12–26, 2002. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/dir/2002/49/oj>.
19. MUNOZ, P.; VINCENT, B.; DOMERGUE, C.; GISSINGER, V.; GUILLOT, S.; HALBWA-CHS, Y.; JANILLON, V. Lockdown during COVID-19 pandemic: impact on road traffic noise and on the perception of sound environment in france. *Noise Mapping*, v. 7, n. 1, p. 287–302, 2020. ISSN 2084-879X. doi: [10.1515/noise-2020-0024](https://doi.org/10.1515/noise-2020-0024).
20. 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.
21. BRASIL. CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução N° 1, de 08/03/90: Emissão de ruídos. Brasília, 1990.
22. BRASIL. CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente). Resolução N° 2, de 08/03/90: Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora - Silêncio. Brasília, 1990.
23. BISTAFA, S. R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*. São Paulo: Blucher, 2016. ISBN 978-8521212836.
24. IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Cidades e estados. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-paulo.html>.
25. IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Biblioteca. 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-ca-catalogo?view=detalhes&id=447237>.
26. ESTADÃO. Quantas pessoas moram na Av. Paulista? 2014. Disponível em: <https://sao-paulo.estadao.com.br>

o.estado.com.br/blogs/edison-veiga/quantas-pessoas-moram-na-av-paulista/.

27. SÃO PAULO (Estado). Adesão ao isolamento social em SP. *SIMI - Sistema de Monitoramento Inteligente de São Paulo*, 2020. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/coronavirus/isolamento/>.

28. EXAME. Isolamento em SP cai para 47%. Ideal seria 70%, diz governo do estado. 2020. Disponível em: <https://exame.com/brasil/isolamento-em-sp-cai-para-47-ideal-seria-70-diz-governo-do-estado/>.

29. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Occupational exposure to noise evaluation, prevention and control. 2001. Disponível em: https://www.who.int/occupational_health/publications/noise1.pdf.

30. SÃO PAULO (Município). Lei nº 16.402, de 22/03/2016. Disciplina o parcelamento, o uso e a ocupação do solo no Município de São Paulo, de acordo com a Lei nº 16.050, de 31 de julho de 2014 - Plano Diretor Estratégico (PDE). Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo de São Paulo. *Diário Oficial do Município de São Paulo*, São Paulo, SP, 2016.

Avaliação de algoritmos promotores de esparsidade para localização de fontes com arranjo esférico de microfones

Caldas, F.¹ ; Masiero, B. S.¹ 

¹ Departamento de Comunicações, Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, Universidade Estadual de Campinas, SP, masiero@unicamp.br.

Resumo

Arranjos esféricos de microfones são frequentemente utilizados para a detecção da direção de chegada (DOA) de sons vindos de todas as direções do espaço. No entanto, os algoritmos clássicos de estimação de DOA, como a decomposição em ondas planas e o *beamforming* esférico, apresentam baixa precisão para localizar fontes. Para melhorar a estimação da DOA, o algoritmo *compressive beamforming* (CB) foi proposto. O CB aplica a regularização promotora de esparsidade ao *beamforming* regular através do uso da minimização da norma ℓ_1 , assumindo, portanto, que cenas sonoras normalmente são compostas por apenas algumas fontes. Neste artigo, é comparado o desempenho de três algoritmos de regularização promotora de esparsidade em um modelo de decomposição em ondas planas: a minimização da norma ℓ_1 via *Disciplined Convex Program* (DCP), o método *Least Absolute Shrinkage and Selection Operator* (LASSO) e o *Orthogonal Matching Pursuit* (OMP). Verifica-se que os três algoritmos foram capazes de determinar acuradamente o número de fontes e suas direções para uma cena simulada. No entanto, o desempenho de todos algoritmos foi menos satisfatório quando aplicados a uma situação real com uma fonte gravada em ambiente quase anecoico. Neste caso, houve uma melhora do desempenho ao se combinar o LASSO para determinar o número de fontes com o OMP para refinar a estimativa da amplitude da onda.

Palavras-chave: localização de fonte sonora, regularização promotora de esparsidade, arranjos de microfones com geometria esférica.

PACS: 43.60.Fg, 43.60.Pt, 3.60.Vx, 43.66.Qp, 43.60.Jn.

Evaluation of sparsity-promoting algorithms for sound source localization with a spherical array of microphones

Abstract

Spherical microphone arrays are often used to detect the direction of arrival (DOA) of sounds coming from all directions in space. However, classical DOA algorithms, such as plane-wave decomposition or spherical beamforming, suffer from low localization accuracy. In an attempt to improve DOA estimation, the compressive beamforming (CB) algorithm is proposed. CB applies sparsity regularization to regular beamforming through the use of ℓ_1 -norm minimization, therefore assuming that common sound scenes are usually composed of only a handful of sound sources. This paper compares the performance of three sparsity regularization algorithms on a plane-wave decomposition model: the ℓ_1 -norm minimization via Disciplined Convex Program (DCP), the Least Absolute Shrinkage and Selection Operator (LASSO) method, and the Orthogonal Matching Pursuit (OMP). It is shown that the three algorithms were able to accurately estimate the number of sources and their directions for an artificial sound scene. However, the performance of the three algorithms presents less satisfactory results in a practical situation with a recorded sound source in an anechoic chamber with a reflective ceiling. In this case, there was an improvement with the combination of the LASSO to estimate the number of sound sources and the OMP to refine the wave amplitude.

Keywords: sound source localization, sparsity regularization, spherical geometry of microphone arrays.

1. INTRODUÇÃO

Ao se realizar o processamento do áudio espacial de cenas sonoras, costuma ser necessário primeiro detectar as fontes sonoras presentes na cena, o que é comumente feito com o auxílio de um arranjo de microfones e um algoritmo detector de direção de chegada (DOA). A determinação da quantidade e direção das fontes presentes em um campo sonoro pode ser feita, a princípio, usando-se filtros espaciais para processar os sinais adquiridos por um arranjo de microfones [1]. Caso o sistema deva analisar o som vindo de todas as direções possíveis, então deve-se utilizar um arranjo esférico de microfones. O resultado deste processamento é frequentemente apresentado na forma de imagens acústicas. Esta técnica, no entanto, costuma apresentar baixa resolução espacial devido ao número relativamente reduzido de microfones que constituem os arranjos [2].

Diversos métodos para aumentar a qualidade da estimativa da imagem acústica sem aumentar o número de sensores foram propostos. Uma classe de algoritmos que apresentou bons resultados aplica técnicas de desconvolução para eliminar o efeito da função de espalhamento do arranjo [3–7]. Uma outra alternativa é a regularização promotora de esparsidade [8,9], que usa uma regularização de norma ℓ_1 na solução do problema de determinação dos objetos sonoros. Esta segunda classe de algoritmos funciona privilegiando cenas compostas por um pequeno número de fontes sonoras (o que, na prática, costuma ser uma suposição válida), prometendo uma melhor separação dos objetos sonoros presentes na cena. Algoritmos que aplicam a regularização promotora de esparsidade também são conhecidos por *compressive beamforming* (CB).

As técnicas mencionadas previamente são frequentemente usadas com arranjos uni- ou bidimensionais — respectivamente, arranjos de microfones lineares [9] ou planos [10]. No entanto, estas geometrias de arranjo permitem a detecção de fontes em uma região restrita do espaço. Para permitir a busca por fontes em todas as direções, faz-se necessário o uso de arranjos com geometria tridimensional, sendo o

arranjo esférico a geometria mais comumente usada [11]. Apenas recentemente surgiram trabalhos aplicando CB para arranjos esféricos de microfones [12–14].

Os algoritmos promotores de esparsidade têm atraído interesse crescente em razão da sua capacidade de representar sinais com um número reduzido de medições e por conta de sua flexibilidade de uso. No entanto, não existe uma única maneira de se implementar esta restrição. Diversas formas de implementação destes algoritmos foram propostas, como a decomposição da norma atômica [15], reconstrução via FOCUSS (*FOcal Underdetermined System Solver*) [16], algoritmos evolutivos para reconstrução esparsa [17], algoritmos de regressão, algoritmos gulosos (*greedy algorithms*) e métodos de compressão iterativa (*iterative-shrinkage*) [18].

O objetivo deste artigo é comparar o desempenho da regularização promotora de esparsidade com um algoritmo de *beamforming* esférico usando três métodos distintos de promoção de esparsidade. Os métodos avaliados foram escolhidos por terem sido utilizados em artigos recentemente publicados sobre este assunto, sendo eles: *Disciplined Convex Programming* (DCP) [19], o algoritmo de regressão que usa a norma l_1 como penalização *Least Absolute Shrinkage and Selection Operator* (LASSO) [20] e o algoritmo de regressão guloso *Orthogonal Matching Pursuit* (OMP) [13].

O restante deste artigo é estruturado iniciando-se com uma descrição do problema a ser tratado. Em seguida, são apresentados os fundamentos teóricos relacionados à Transformada de Fourier Esférica, que servem como base para o modelo do sinal. Segue-se com uma revisão da teoria de *beamforming* esférico, cujas imagens acústicas resultantes são usadas como base de comparação. Então é apresentado o conceito de *compressive beamforming* com implementação por DCP, LASSO e OMP. Por fim, o desempenho destes algoritmos é avaliado por meio de resultados de simulação e medição. A simulação e o processamento da gravação foram programados em Python [21].

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Um campo sonoro é composto pela superposição de ondas geradas por diversas fontes e pode ser modelado como uma somatória de ondas planas vindas de diversas direções. Utiliza-se aqui um arranjo esférico de microfones para amostrar o campo sonoro nas posições dos microfones e, a partir de informações de amplitude e fase dos sinais captados pelos microfones determinar a direção e intensidade das ondas planas que constituem o campo sonoro, podendo-se então aplicar filtros espaciais para produzir uma saída com características desejadas—como, por exemplo, realçar sinais vindos de uma determinada direção e atenuar sinais fora da região de interesse. Um tipo de filtro com tal função é conhecido como *beamforming* esférico e uma das suas aplicações mais comuns é a geração de imagens acústicas, que permitem estimar a direção e a amplitude de fontes em um campo sonoro. No entanto, este método carece de precisão, especialmente quando há fontes muito próximas entre si [22]. Uma alternativa para aumentar a resolução espacial destes algoritmos é usar a suposição de esparsidade da cena sonora.

Se uma cena sonora for composta por poucas fontes distribuídas no espaço, ela é dita esparsa e pode, portanto, ser representada por um número pequeno de medições [23]. Matematicamente, isto significa uma representação vetorial com um grande número de entradas nulas e algumas poucas não-nulas. Um exemplo desta representação encontra-se na Figura 1, na qual os pontos vermelhos representam duas fontes sonoras “ligadas” (entradas não-nulas) entre várias outros pontos cinzas que representam fontes sonoras “desligadas” (entradas nulas). O conjunto de posições dos pontos da Figura 1 é chamado de malha de busca. Ao juntar a estrutura da malha de busca com o sinal captado pelo arranjo de microfones, um algoritmo promotor de esparsidade é capaz de informar onde estão localizadas as fontes e quais são suas amplitudes.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Nesta seção, apresentaremos a notação usada no modelo do sinal para a decomposição em

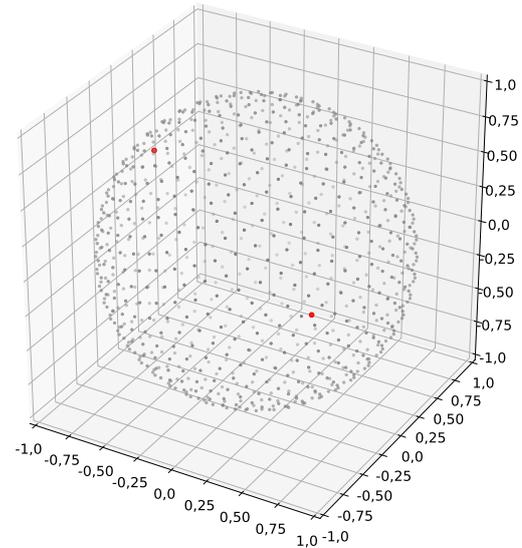


Figura 1: Exemplo de uma cena sonora esparsa: Em vermelho, as posições de duas fontes. Em cinza, os pontos de uma malha de busca densa.

ondas planas usando um arranjo esférico de microfones [24].

3.1 Funções esféricas

A partir do sistema de coordenadas Cartesianas $\mathbf{x} \equiv (x, y, z) \in \mathbb{R}^3$, é definido o sistema de coordenadas esféricas $\mathbf{r} \equiv (r, \theta, \phi)$, no qual: $r \in [0, \infty[$ é o raio medido a partir da origem, $\phi \in [0, 2\pi]$ é o ângulo azimutal medido do eixo x ao eixo y e $\theta \in [0, \pi]$ é o ângulo de elevação medido do eixo z ao plano xy como mostra a Figura 2. A relação entre as coordenadas dos dois sistemas é dada por $(x, y, z) = (r \sin \theta \cos \phi, r \sin \theta \sin \phi, r \cos \theta)$.

Em um arranjo linear uniforme de microfones, o comportamento da onda sonora pode ser processado em função da Transformada de Fourier. Já em arranjos esféricos, é possível usar os Harmônicos Esféricos como base para descrever a Transformada de Fourier Esférica (TFE). Os Harmônicos Esféricos são definidos como

$$Y_n^m(\theta, \phi) \equiv \sqrt{\frac{2n+1}{4\pi} \frac{(n-m)!}{(n+m)!}} P_n^m(\cos \theta) e^{jm\phi}, \quad (1)$$

em que $P_n^m(\cdot)$ são as funções de Legendre associadas, $m \in \mathbb{Z}$ é o grau da função, $n \in \mathbb{N}$ é sua ordem e $j = \sqrt{-1}$. Uma função $f(\theta, \phi)$

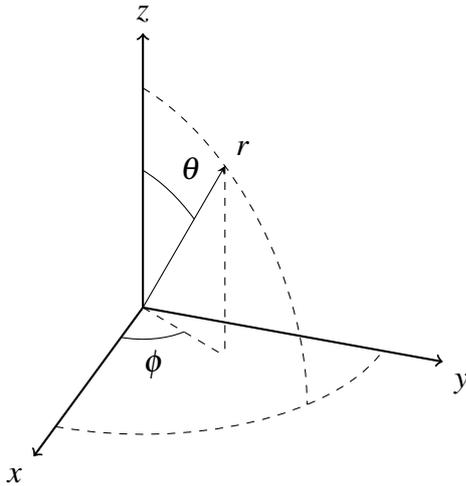


Figura 2: Relação entre o Sistema de Coordenadas Cartesiano e o Sistema de Coordenadas Esférico.

que pertença ao espaço de Hilbert (conjunto de funções quadraticamente integráveis em uma esfera unitária) pode ser representada como a soma ponderada de harmônicos esféricos

$$f(\theta, \phi) = \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=-n}^n f_{nm} Y_n^m(\theta, \phi), \quad (2)$$

em que f_{nm} são os coeficientes resultantes da TFE de $f(\theta, \phi)$, tais que

$$f_{nm} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} f(\theta, \phi) [Y_n^m(\theta, \phi)]^* \sin \theta \, d\theta \, d\phi, \quad (3)$$

ou seja, a Equação (3) é a TFE e a Equação (2) a sua inversa. Na prática, a somatória infinita é truncada em uma ordem N .

3.2 Amostragem pelo arranjo

A TFE é definida como a integral sobre uma superfície esférica. No entanto, em aplicações práticas não é possível saber o valor do campo sonoro em toda a superfície da esfera, mas somente nos pontos onde se encontram microfones. Neste caso, o campo sonoro é amostrado por um arranjo de microfones distribuídos sobre a superfície (rígida ou aberta) de uma esfera de raio r_a . Os Q microfones estão localizados em $(r_a, \theta_q, \phi_q) \equiv (r_a, \Omega_q)$, $q = 1, \dots, Q$.

Para minimizar erros de rebatimento (*aliasing*), é recomendável que a distribuição dos microfones sobre a esfera seja uniforme, o que só é

possível para alguns valores de Q até $Q = 20$, obtidos posicionando-se os microfones nos vértices dos sólidos platônicos [24]. Para outras configurações, busca-se uma distribuição quase-uniforme, que pode ser obtida, por exemplo, dividindo-se a esfera em partes com mesma área e diâmetro mínimo [25].

Uma vez escolhida a distribuição dos microfones no arranjo esférico rígido, a TFE é calculada aproximando-se a integral sobre a superfície esférica por uma somatória dos pontos de amostragem, ou seja

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} h(\theta, \phi) \sin \theta \, d\theta \, d\phi \approx \frac{4\pi}{Q} \sum_{q=1}^Q h(\theta_q, \phi_q). \quad (4)$$

Esta aproximação só é válida para distribuições uniformes ou quase-uniformes [25]. Conforme apresentado na Seção 5.1, a vantagem de se usar estas distribuições é que a “energia” dos pontos não fica concentrada em algumas regiões, como nos polos da esfera em uma distribuição angular uniforme, por exemplo.

3.3 Modelo do sinal

Assume-se uma cena sonora composta por S ondas planas e amostrada por um arranjo esférico de microfones distribuídos sobre uma esfera rígida. Neste caso, como mostra Rafaely [26], a pressão sonora em cada um dos Q microfones é dada, em coordenadas esféricas, por

$$p(k, r_a, \Omega_q) = \sum_{s=1}^S \sum_{n=0}^N \sum_{m=-n}^n d_s(k) R_n(kr_a) [Y_n^m(\Omega_s)]^* Y_n^m(\Omega_q), \quad (5)$$

em que k é o número de onda, $d_s(k)$ é a amplitude complexa e $\Omega_s = (\theta_s, \phi_s)$ a direção (vista da origem) de cada onda s e

$$R_n(kr_a) = 4\pi j^n \left[J_n(kr_a) - \frac{J_n'(kr_a)}{H_n^{(2)'}(kr_a)} H_n^{(2)}(kr_a) \right]. \quad (6)$$

O primeiro termo de $R_n(kr_a)$ caracteriza a onda plana incidente, enquanto o segundo termo caracteriza a difração causada pela esfera rígida na onda plana. $J_n(x)$ é a função esférica de Bes-

sel e $H_n^{(2)}(x)$ é a função esférica de Hankel de segundo grau.

Arranjos de microfones possuem limitações práticas que influenciam na forma que o campo sonoro é amostrado. Uma delas é a garantia de bom funcionamento apenas em uma faixa de frequência, a qual depende da geometria do arranjo. No caso de um arranjo esférico rígido de microfones, a maior frequência (f_{\max}) permitida é obtida a partir da relação [27]

$$f_{\max} = \frac{c}{2r_a \Theta}, \quad (7)$$

na qual c é a velocidade do som no ar e Θ é o menor ângulo entre dois microfones do arranjo. Segundo [24], a frequência mínima (f_{\min}) suportada pelo arranjo esférico rígido é tal que $kr_a > 3$, ou seja,

$$f_{\min} = \frac{3c}{2\pi r_a}. \quad (8)$$

3.3.1 Matriz de sensibilidade

A pressão sonora medida por cada microfone depende da direção e da frequência da onda plana e da influência do próprio arranjo no campo sonoro. Logo, para que a busca feita pelos algoritmos de recuperação seja bem sucedida, é necessário fornecer a ele a estrutura da malha de busca e como cada ponto dela influencia na forma que o sinal da fonte chega até o arranjo. Essa é a função da matriz de sensibilidade, que é fixa para uma malha de busca pré-definida.

A partir da Equação (5), é possível definir uma malha de busca com L direções e reescrevê-la como o somatório da influência de cada direção na cena sonora. Isto é feito transformando a Equação (5) em uma multiplicação matricial. Define-se $\mathbf{p}_{Q \times 1} = [p(\Omega_1), \dots, p(\Omega_Q)]^T$ como o vetor de pressão sonora no qual $p(\Omega_q)$ é a pressão medida no microfone q . Logo, tem-se

que

$$\mathbf{p} = \mathbf{A} \mathbf{b} = \begin{bmatrix} g(\Omega_1, \Omega_1) & \dots & g(\Omega_1, \Omega_L) \\ \vdots & g(\Omega_q, \Omega_l) & \vdots \\ g(\Omega_Q, \Omega_1) & \dots & g(\Omega_Q, \Omega_L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ \vdots \\ b_L \end{bmatrix}, \quad (9)$$

sendo

$$g(\Omega_q, \Omega_l) = \sum_{n=0}^N R_n(kr_a) \sum_{m=-n}^n Y_n^m(\Omega_l)^* Y_n^m(\Omega_q). \quad (10)$$

Define-se $\Omega_l = (\theta_l, \phi_l)$, $l = 0, \dots, L$ como a direção l na malha de busca — que também pode ser entendida como direção de visada/escuta do arranjo — e $g(\Omega_q, \Omega_l)$ é o elemento (q, l) da matriz de sensibilidade $\mathbf{A}_{Q \times L}$. $\mathbf{b}_{L \times 1} = [b_1, \dots, b_L]^T$ é o vetor que contém a amplitude complexa de cada direção na malha de busca e possui entradas não-nulas apenas quando as direções Ω_l e Ω_s coincidem. Nestas entradas não-nulas, $b_l = d_s(k)$. Quando $L \gg S$, a cena sonora é dita **esparsa** e possibilita a aplicação de algoritmos de regularização promotora de esparsidade.

4. BEAMFORMING ESFÉRICO

Para avaliar os algoritmos promotores de esparsidade, será usado como base de comparação o *beamforming* esférico tradicional, algoritmo frequentemente usado em aplicações de imageamento acústico [24].

Um filtro espacial esférico é definido como a integral da pressão sonora sobre uma região esférica ponderada por uma função $w(k, \theta, \phi)$ que irá maximizar o resultado da integral para uma onda plana incidente da direção (θ, ϕ) , ao passo que atenua o resultado da integral para ondas planas provenientes de outras direções. A saída do *beamforming* é escrita como

$$y = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi [w(k, \theta, \phi)]^* p(k, r, \theta, \phi) \sin \theta \, d\theta \, d\phi. \quad (11)$$

O mesmo cálculo pode ser realizado no domínio da TFE. Neste caso, a saída do *beamforming* é definida como uma soma ponderada dos coefi-

cientes da TFE da pressão sonora, ou seja,

$$y = \sum_{n=0}^N \sum_{m=-n}^n [w_{nm}]^* p_{nm}, \quad (12)$$

na qual w_{nm} são os pesos escolhidos e p_{nm} são os coeficientes da TFE da pressão sonora sobre a esfera, tais que

$$p_{nm}(k, r_a) = \frac{4\pi}{Q} \sum_{q=1}^Q p(k, r_a, \Omega_q) [Y_n^m(\Omega_q)]^*. \quad (13)$$

O valor absoluto da saída do *beamforming* para cada direção (θ, ϕ) permite gerar uma imagem acústica, como a apresentada na Figura 4.

É necessário, então, calcular os pesos w_{nm} — no domínio dos harmônicos esféricos — para que o *beamforming* tenha um comportamento desejado. A seguinte formulação é proposta em [24]

$$[w_{nm}(k)]^* = \frac{Y_n^m(\theta_l, \phi_l)}{R_n(kr)}. \quad (14)$$

A divisão por $R_n(kr)$ garante que a imagem acústica não dependa do comportamento físico do campo sonoro ao redor do arranjo, pois remove o efeito de espalhamento da esfera rígida. Rafaely [24] comenta que as direções Ω_l não se relacionam com os pontos de amostragem Ω_q e que, quando é usado o *beamforming* com objetivo de imageamento acústico, é recomendável que Ω_l seja extraído de um conjunto de pontos denso.

Apesar de cumprirem a mesma função teórica — representar o campo sonoro em um número finito de posições —, as direções Ω_l escolhidas para a malha de busca do *compressive beamforming* podem ou não ser iguais às direções Ω_l escolhidas para o *beamforming* esférico.

5. COMPRESSIVE BEAMFORMING ESFÉRICO

O objetivo do *Compressive Beamforming* é resolver o sistema linear $\mathbf{p} = \mathbf{A}\mathbf{b}$ — em que \mathbf{p} e $\mathbf{A}_{Q \times L}$ são conhecidos e \mathbf{b} é a variável que se deseja determinar — de forma que \mathbf{b} seja esparso. Como o tamanho do vetor \mathbf{b} é muito maior do

que o tamanho do vetor \mathbf{p} , as colunas da matriz \mathbf{A} são linearmente dependentes e, por isso, o sistema é subdeterminado e possui infinitas soluções. Algumas soluções, devido à sua característica esparsa, podem ser úteis e são obtidas quando determinadas condições são impostas ao problema.

É possível obter uma solução única incluindo uma restrição como, por exemplo, a minimização da norma ℓ_p do vetor \mathbf{b} ($\|\mathbf{b}\|_p = (\sum_i |b_i|^p)^{1/p}$). Diferentes normas promovem diferentes soluções para o problema. Neste trabalho, são utilizadas as normas ℓ_1 e ℓ_2 . Mas, primeiro, é necessário avaliar a “qualidade” da malha de busca.

5.1 Coerência

Para que o CB esférico tenha bom desempenho, a distribuição dos pontos na malha de busca deve gerar uma matriz de sensibilidade com colunas que possuem baixa coerência entre si. Em [13], os autores utilizam a máxima dependência linear entre duas colunas da matriz de sensibilidade para avaliar a distribuição dos pontos. Isto é conhecido como coerência mútua e é definido como o elemento com valor máximo fora da diagonal principal da matriz de Gram normalizada de \mathbf{A} , ou seja,

$$\mu(\mathbf{A}) = \max_{i \neq j} G_{ij} = \max_{i \neq j} \frac{|\mathbf{a}_i^H \mathbf{a}_j|}{\|\mathbf{a}_i\|_2 \|\mathbf{a}_j\|_2}, \quad (15)$$

no qual G_{ij} é o elemento (i, j) da matriz de Gram normalizada e \mathbf{a}_i é a i -ésima coluna de \mathbf{A} . A coerência mútua varia de 0 a 1, sendo 1 o mais coerente.

No entanto, apesar de ser uma medida comum em *compressive sensing*, a coerência mútua só analisa dois pontos com máxima dependência. Aqui, é preciso analisar como a coerência está distribuída em cada malha de busca para avaliar qual permite um melhor desempenho do CB esférico. Para isto, julga-se ser mais apropriado calcular a dependência linear média entre os pontos [28], ou seja, a média, aqui denotada por \bar{g} , de todos os elementos fora da diagonal principal da matriz normalizada de Gram.

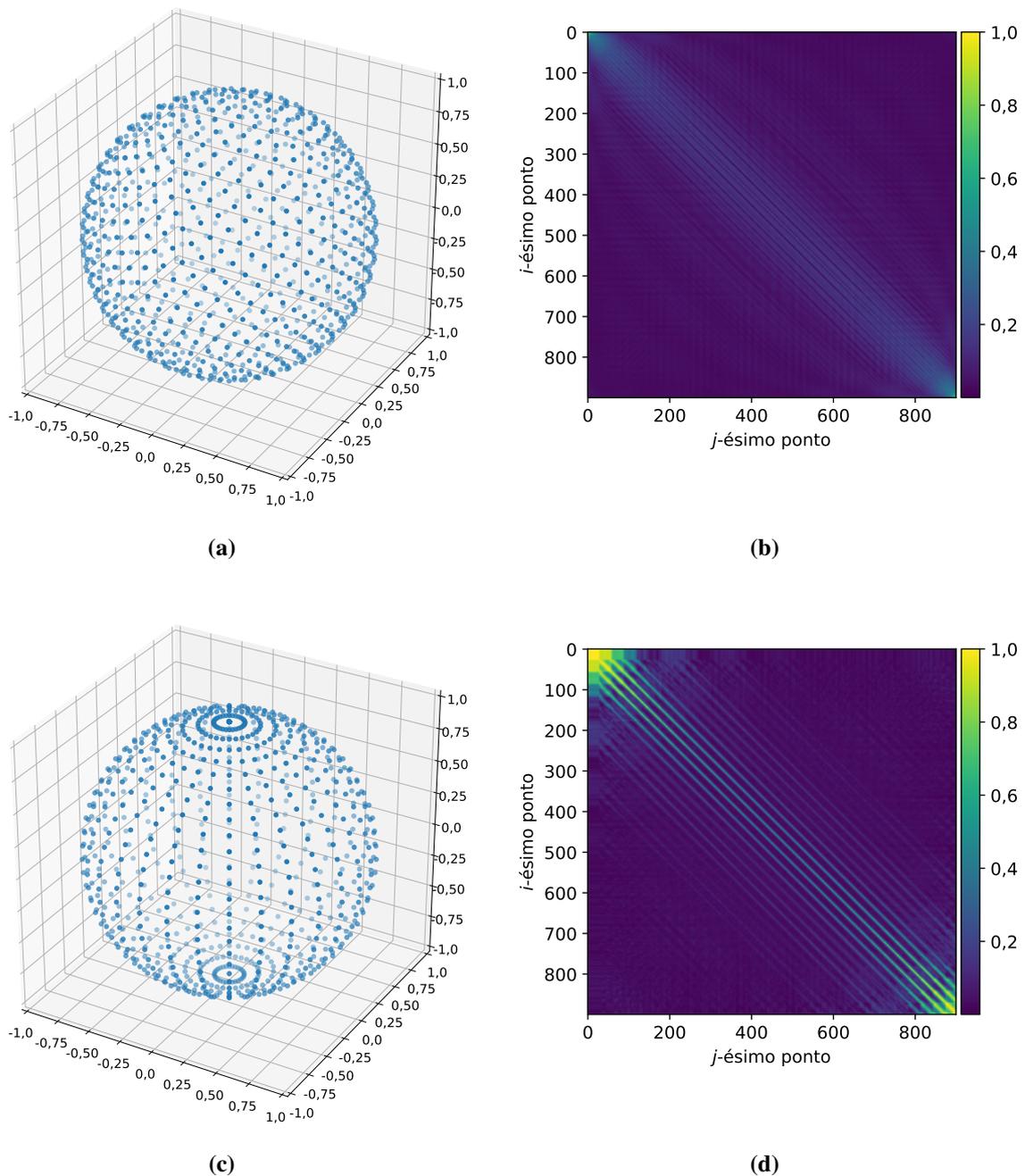


Figura 3: Comparação entre (a) Distribuição quase-uniforme sobre uma esfera de raio fixo com (b) sua matriz de Gram e (c) Distribuição angular uniforme com (d) sua matriz Gram.

Na Figura 3 são comparadas as matrizes de Gram normalizadas de duas malhas de busca com 900 pontos: uma com distribuição quase-uniforme [25] dos pontos sobre uma esfera de raio fixo (Figura 3 (a)) e outra com distribuição angular uniforme ($\phi \in [0; 360^\circ]$ com passo $\Delta\phi = 12^\circ$ e $\theta \in [0; 180^\circ]$ com passo $\Delta\theta = 6^\circ$) também sobre uma esfera de raio fixo (Figura 3 (c)).

Analisando apenas as matrizes de Gram normalizadas nas Figuras 3 (b) e 3 (d), é possível assumir que a distribuição quase-uniforme permitirá um melhor desempenho do CS esférico. Esta é uma suposição válida, mas é necessário calcular a média \bar{g} em ambos os casos para confirmarmos. Na distribuição quase-uniforme, $\mu(\mathbf{A}) = 0,93$ e $\bar{g} = 0,07$. Na distribuição angular uniforme, $\mu(\mathbf{A}) = 1,00$ e $\bar{g} = 0,08$. Logo, a dis-

tribuição quase-uniforme pode trazer melhores resultados. É notável também que a distribuição angular uniforme faz com que os pontos da região dos polos tenham maior coerência entre si quando comparada com a distribuição quase-uniforme, já que tais pontos estão próximos da diagonal principal na Figura 3 (d).

5.2 Algoritmo de recuperação não-esparso

Um método clássico de regularização de sistemas subdeterminados é a minimização da norma ℓ_2 , também conhecida como mínimos quadrados, descrita por

$$\min_{\mathbf{b}} \|\mathbf{b}\|_2 \text{ s. a. } \mathbf{p} = \mathbf{A}\mathbf{b}. \quad (16)$$

Quando se lida com sinais práticos, é necessário levar em consideração o efeito do ruído no sistema, o que pode ser modelado por

$$\tilde{\mathbf{p}} = \mathbf{A}\mathbf{b} + \mathbf{n}, \quad (17)$$

em que $\mathbf{n}_{Q \times 1} = [n_1, \dots, n_Q]^T$ é o vetor que representa o ruído aditivo. A minimização da norma ℓ_2 pode então ser relaxada por

$$\min_{\mathbf{b}} \|\mathbf{b}\|_2 \text{ s. a. } \|\tilde{\mathbf{p}} - \mathbf{A}\mathbf{b}\|_2 \leq \varepsilon, \quad (18)$$

em que ε é a energia do ruído e equivale a $\|\mathbf{n}\|_2$. Uma forma de estimar ε é por meio da razão sinal-ruído, estimada por $\text{SNR} = 10 \log_{10}(\|\mathbf{p}\|_2 / \|\mathbf{n}\|_2)$.

Apesar de fornecer uma solução única para o problema, a minimização da norma ℓ_2 não fornece a localização das direções das ondas planas com exatidão, como veremos na Seção 6. Isto pode ser explicado pelo fato de a norma ℓ_2 priorizar a minimização da energia do sinal em vez da sua esparsidade. Ao resolver através da norma ℓ_2 , a solução possui baixa resolução espacial (obtemos vários pontos em torno da direção das fontes com aproximadamente a mesma energia). Para tentar melhorá-la, podemos utilizar outras normas.

5.3 Algoritmos de recuperação esparsos

Os algoritmos promotores de esparsidade aplicados aqui buscam um vetor solução $\hat{\mathbf{b}}$ composto por um pequeno número de coeficientes não-nulos. A forma como cada algoritmo encontra a solução $\hat{\mathbf{b}}$ é detalhada a seguir.

5.3.1 Minimização da Norma ℓ_1 via DCP

Idealmente, uma restrição de minimização da norma ℓ_0 deve promover uma solução esparsa, já que a norma ℓ_0 contabiliza a quantidade de entradas não nulas em \mathbf{x} . No entanto, a minimização da norma ℓ_0 é um problema não-convexo, que se torna computacionalmente intratável [9]. Uma boa aproximação da norma ℓ_0 é feita através da norma ℓ_1 , que resulta em um problema de otimização convexo—o que promove a convergência para um mínimo global—e possui a tendência de gerar uma solução esparsa [18]. A minimização da norma ℓ_1 é definida como

$$\min_{\mathbf{b}} \|\mathbf{b}\|_1 \text{ s. a. } \|\tilde{\mathbf{p}} - \mathbf{A}\mathbf{b}\|_2 \leq \varepsilon. \quad (19)$$

Neste artigo esta minimização é implementada com ajuda da biblioteca CVXPY, que usa a programação convexa disciplinada (DCP) para garantir que os problemas de otimização especificados sejam convexos [29].

5.3.2 Minimização da Norma ℓ_1 via LASSO

A Equação (19) pode ser reescrita sem a presença de restrições através do *least absolute shrinkage and selection operator* (LASSO, em tradução livre: operador de mínima compactação e seleção absoluta) com o uso do regularizador $\lambda \geq 0$ [20],

$$\min_{\mathbf{b}} \frac{1}{2} \|\tilde{\mathbf{p}} - \mathbf{A}\mathbf{b}\|_2^2 + \lambda \|\mathbf{b}\|_1. \quad (20)$$

O problema acima é de minimização da norma ℓ_2 regularizada pela norma ℓ_1 da solução $\hat{\mathbf{b}}$. Esta formulação busca, ao mesmo tempo, uma solução que seja esparsa e que minimize a energia do erro de aproximação. λ é um fator de compromisso entre o erro de aproximação e a esparsidade do vetor solução. Quanto maior o λ , mais esparsa é a solução. À medida que λ diminui,

valores não-nulos são gradativamente “liberados” no vetor $\hat{\mathbf{b}}$ até chegar à solução do problema de mínimos quadrados (quando $\lambda = 0$).

Para cada ε , existe um λ tal que (19) e (20) sejam iguais. O máximo valor que λ assume é $\|\mathbf{A}^H \tilde{\mathbf{p}}\|_\infty$, e, acima desse valor, $\hat{\mathbf{b}} = \mathbf{0}$ permanece como a solução ótima [18]. Quando $\lambda = \|\mathbf{A}^H \tilde{\mathbf{p}}\|_\infty$, a primeira entrada não-nula de $\hat{\mathbf{b}}$ é liberada. À medida que λ diminui, novas entradas são liberadas e suas respectivas amplitudes aumentam. Então, se quisermos gerar uma solução S -esparsa ótima, encontramos o valor mínimo de λ tal que o vetor $\hat{\mathbf{b}}$ tenha S entradas não-nulas. No entanto, na prática, este pode não ser o caso. Como será visto na Seção 6, o λ é escolhido com base no aumento das amplitudes à medida que as entradas não-nulas são liberadas. É possível visualizar S amplitudes em destaque, as quais correspondem às direções das ondas planas presentes na cena sonora. Resta, então, escolher um λ que proporcione uma solução $\hat{\mathbf{b}}$ esparsa e, ao mesmo tempo, com altos valores das amplitudes das S ondas planas.

O LASSO permite encontrar o melhor valor para λ a partir de uma análise gráfica com base no valor inicial $\lambda = \|\mathbf{A}^H \tilde{\mathbf{p}}\|_\infty$ e, por isso, não será calculado previamente o valor ideal de λ para que sejam encontradas com máxima exatidão as S ondas planas. Esta é a desvantagem do caminho escolhido para o LASSO, o qual servirá como um refinamento da solução obtida através da minimização da norma ℓ_1 tal qual (19).

5.3.3 Orthogonal Matching Pursuit

O *Orthogonal Matching Pursuit* faz parte da classe dos algoritmos gulosos (*greedy algorithms*), cujo princípio básico é encontrar sequencialmente as colunas não-nulas presentes em uma medição por meio de um processo iterativo na matriz de sensibilidade. O algoritmo OMP [30] consiste em duas etapas: seleção da coluna não-nula e atualização do resíduo.

Como o vetor \mathbf{b} possui S elementos não-nulos, o vetor da pressão $\tilde{\mathbf{p}}$ é uma combinação linear de S colunas de \mathbf{A} . A cada iteração, o algoritmo

escolhe a coluna que mais se relaciona com o resíduo, o qual é inicializado com o valor de $\tilde{\mathbf{p}}$, por meio do produto interno entre cada coluna e o resíduo e guarda o índice dessa coluna. Calcula-se então um vetor $\hat{\mathbf{x}}$ que contém o peso de cada coluna de \mathbf{A} selecionada utilizando mínimos quadrados. Sua contribuição é então subtraída de $\tilde{\mathbf{p}}$ e um novo resíduo é encontrado. O número de iterações é igual ao nível de esparsidade da solução, ou seja, S . A saída é a solução $\hat{\mathbf{b}}$ cujas entradas não-nulas estão nas posições das colunas de \mathbf{A} selecionadas e possuem amplitudes definidas pelo vetor $\hat{\mathbf{x}}$ calculado na última iteração. Abaixo, o funcionamento do algoritmo OMP [30].

Entrada: Matriz de sensibilidade \mathbf{A} , pressão medida $\tilde{\mathbf{p}}$, nível de esparsidade S .

Inicialização: Resíduo $\mathbf{r}_0 = \tilde{\mathbf{p}}$, conjunto $\Upsilon_0 = \emptyset$ dos índices das entradas não-nulas, matriz $\tilde{\mathbf{A}}_0 = \emptyset$ composta pelas colunas de \mathbf{A} selecionadas, vetor $\hat{\mathbf{b}}$ contendo apenas entradas nulas, contador $t = 1$.

Enquanto $t \leq S$:

1. Encontre, por meio do produto interno ($\langle \cdot, \cdot \rangle$), o índice v_t da coluna de \mathbf{A} que possui maior dependência linear com o resíduo

$$v_t = \operatorname{argmax}_{j=1, \dots, L} |\langle \mathbf{r}_{t-1}, \mathbf{a}_j^* \rangle|; \quad (21)$$

2. Aumente o conjunto $\Upsilon_t = \Upsilon_{t-1} \cup v_t$ e a matriz $\tilde{\mathbf{A}}_t = [\tilde{\mathbf{A}}_{t-1} \ \mathbf{a}_{v_t}]$;

3. Estime uma saída $\hat{\mathbf{x}}$ resolvendo o problema de mínimos quadrados

$$\min_{\mathbf{x}} \|\tilde{\mathbf{p}} - \tilde{\mathbf{A}}_t \mathbf{x}\|_2; \quad (22)$$

4. Calcule o novo resíduo $\mathbf{r}_t = \tilde{\mathbf{p}} - \tilde{\mathbf{A}}_t \hat{\mathbf{x}}$ excluindo a influência da coluna da matriz \mathbf{A} selecionada;

5. Incremente t .

Saída: $\hat{\mathbf{b}}$ possui índices não-nulos listados em Υ_S e o vetor estimado $\hat{\mathbf{b}}_{v_t}$ é o i -ésimo elemento de $\hat{\mathbf{x}}_S$.

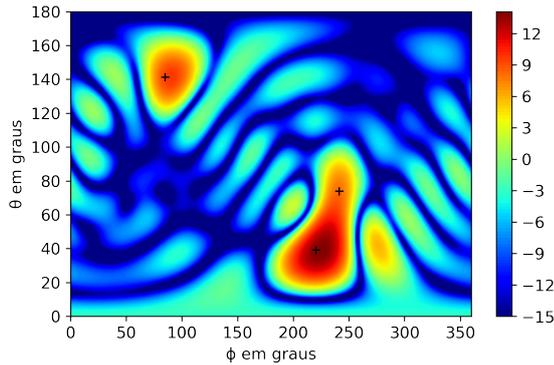


Figura 4: Imagem acústica (colorido, em dB) de uma cena sonora composta por 3 (+) ondas planas de 3500 Hz com amplitudes $[1, 0, 0; 0, 70; 0, 50]$ vindas das direções $[(\Omega_{100}, \Omega_{325}, \Omega_{800})] = [(39, 04^\circ; 220, 47^\circ), (73, 94^\circ; 241, 22^\circ), (141, 16^\circ; 85, 04^\circ)]$.

6. SIMULAÇÃO

Foi simulada uma cena sonora composta por três ondas planas de 3500 Hz e amplitudes normalizadas que valem, respectivamente, 1,00, 0,70 e 0,50, localizadas nos pontos de números 100, 325 e 800 (sendo os pontos 100 e 325 próximos entre si e o ponto 800 distante destes) de uma malha de busca que contém 900 pontos, que equivalem às direções $\Omega_{100} = (39, 04^\circ; 220, 47^\circ)$, $\Omega_{325} = (73, 94^\circ; 241, 22^\circ)$ e $\Omega_{800} = (141, 16^\circ; 85, 04^\circ)$ na distribuição quase-uniforme, como discutido na Seção 5.1. O ruído aditivo está centrado em 3500 Hz, com amplitude 20 dB menor que a amplitude da pressão sonora gerada pela fonte sonora, e fase aleatoriamente selecionada para cada microfone. A captação do campo sonoro é feita por um arranjo de microfones esférico rígido com $Q = 64$ microfones e raio $r_a = 0,10$ m. As características do arranjo na simulação (incluindo as posições dos microfones) são as mesmas do arranjo que será usado na gravação (Seção 7) e foram fornecidas pelo fabricante do arranjo (fabricante: Visisonics, modelo do arranjo: 5/64 Audio Visual Camera). A aproximação da TFE foi feita com $N = 7$. A faixa de frequência permitida para estas características está entre, aproximadamente, 2220 Hz e 3700 Hz. A imagem acústica gerada pelo *beamforming* esférico por esta cena encontra-se na Figura 4.

Como a imagem acústica é uma representação

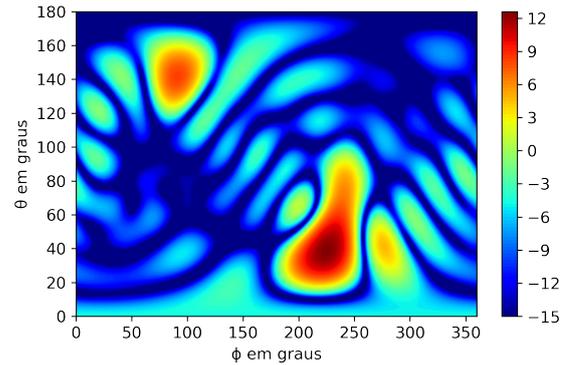


Figura 5: Minimização da norma ℓ_2 : Imagem acústica (colorida, em dB) reconstruída de uma cena sonora com ruído.

em duas dimensões da distribuição das fontes em três dimensões, o uso de uma malha de pontos equiespaçados iria resultar em distorção da imagem, principalmente nos polos. Para contornar isso, os ângulos de visada da Equação (14) não são os mesmos ângulos das posições da malha de busca utilizados para calcular a pressão sonora na Equação (10). Para o primeiro caso é usada uma distribuição angular uniforme contendo 40.000 posições com 200 valores diferentes de θ e 200 diferentes valores de ϕ , equidistantes entre si. É importante ressaltar que isto não afeta o desempenho dos algoritmos de recuperação, já que só serve para facilitar a visualização dos resultados.

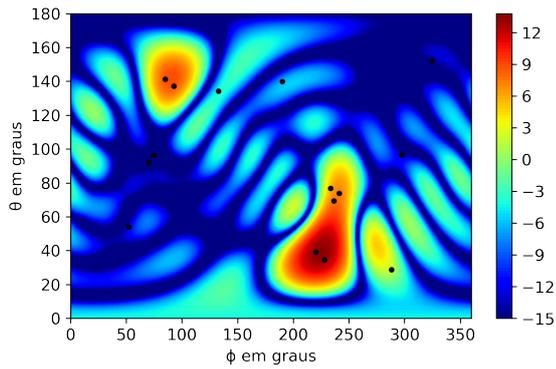
A biblioteca CVXPY [29] foi utilizada para resolver os problemas de minimização e considerou-se um valor em módulo superior a 10^{-6} como o limiar para tratar esta amplitude como não-nula.

6.1 Norma ℓ_2

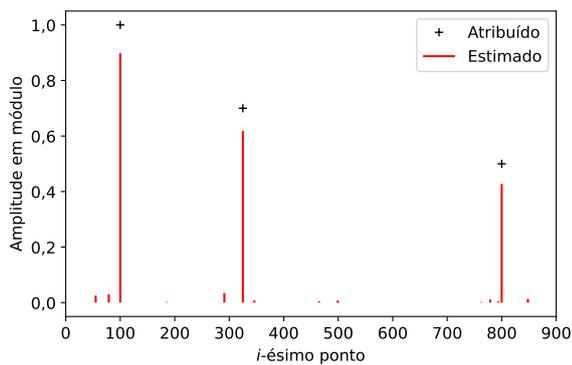
O resultado por meio da minimização da norma ℓ_2 (ver Figura 5) gerou um vetor $\hat{\mathbf{b}}$ com norma $\|\hat{\mathbf{b}}\|_0 = 900$. Na prática, esta solução corresponde ao *beamforming* esférico regular (ver Apêndice A).

6.2 Norma ℓ_1 via DCP

O resultado por meio da minimização da norma ℓ_1 gerou um vetor $\hat{\mathbf{b}}$ com norma $\|\hat{\mathbf{b}}\|_0 = 15$ — Figuras 6 (a) e 6 (b). Foi obtido um vetor es-



(a)



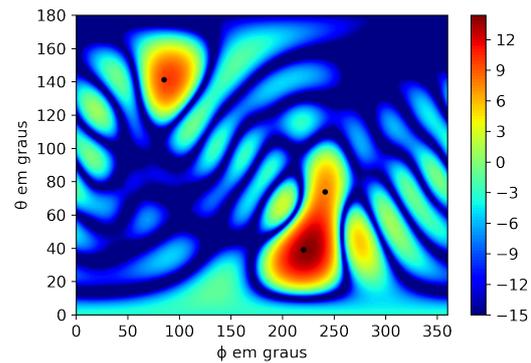
(b)

Figura 6: Minimização da norma ℓ_1 via DCP com ruído: (a) Imagem acústica reconstruída (colorido, em dB) e pontos de amplitudes não-nulas (preto, 15 pontos) (b) Amplitudes dos pontos da malha de busca atribuídas (+) na simulação e estimadas (vermelho).

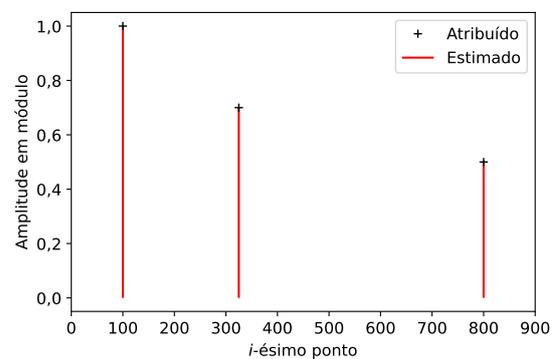
parso cujas entradas não-nulas estão nos pontos da vizinhança das 3 ondas planas. É notável também que as 3 entradas de maior valor estão exatamente nos pontos atribuídos: 100, 325, 800. Aqui, o vetor não possui exatamente 3 entradas não-nulas por causa da presença do ruído, já que o caso sem ruído (Figuras 7 (a) e 7 (b)) conseguiu localizar as fontes com exatidão. Na sequência, é avaliado o comportamento da minimização da norma ℓ_1 via LASSO.

6.3 Norma ℓ_1 via LASSO

O primeiro passo é obter o λ que gera o resultado mais esparsa ($\|\hat{\mathbf{b}}\|_0 = 1$) acima do qual $\hat{\mathbf{b}} = \mathbf{0}$: $\lambda_{max} = \lambda_0 = \|\mathbf{A}^H \tilde{\mathbf{p}}\|_\infty = 98,91$ (ver curva azul, correspondente ao ponto de maior amplitude $l = 100$, da Figura 8). À medida que o λ diminui, a amplitude desta pri-



(a)



(b)

Figura 7: Minimização da norma ℓ_1 via DCP sem ruído: (a) Imagem acústica reconstruída (colorido, em dB) e pontos de amplitudes não-nulas (preto, 3 pontos) (b) Amplitudes dos pontos da malha de busca atribuídas (+) na simulação e estimadas (vermelho).

meira entrada não-nula aumenta e mais entradas não-nulas são liberadas. Quando $\lambda_1 = 61,84$, a segunda entrada não-nula é liberada. Como será visto na Figura 8, esta entrada não corresponde a um dos pontos atribuídos, mas encontra-se na vizinhança da posição atribuída $\Omega_{325} = (73, 94^\circ; 241, 22^\circ)$, localizando-se em $\Omega_{291} = (69, 38^\circ; 236, 49^\circ)$. Diminuindo λ até $\lambda_2 = 58,25$ é liberada a terceira entrada não-nula, que corresponde ao ponto 325 (curva vermelha). A quarta entrada, correspondente a $l = 800$, é liberada quando $\lambda_3 = 54,20$ (curva verde).

Quando $\lambda_4 = 5,50$, $\|\hat{\mathbf{b}}\|_0 = 15$ e o nível de esparsidade da solução através do LASSO se iguala ao da solução via DCP, então deve-se escolher um $\lambda > 5,50$ para garantir uma solução mais esparsa. Como penalidade, não seria possível

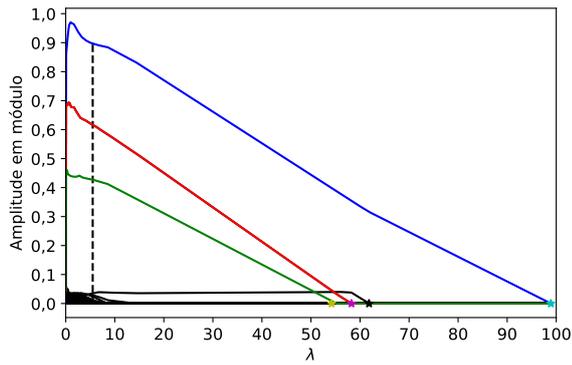


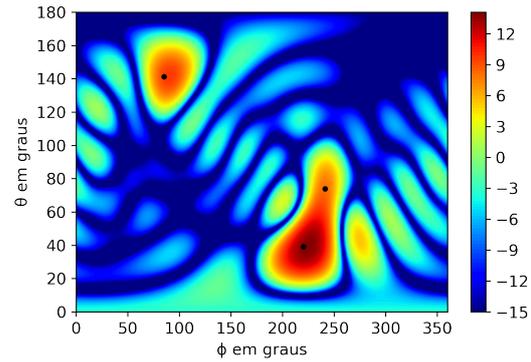
Figura 8: Caminho LASSO: Valor das entradas não-nulas em função do λ . Em azul, vermelho e verde estão, respectivamente, os pontos 100, 325 e 800. Em preto estão todos os outros 897 pontos. As linhas tracejadas indicam os possíveis valores de λ a serem escolhidos.

recuperar as amplitudes das ondas planas como vemos na Figura 8. Apesar de não ter gerado uma solução S -esparsa com as amplitudes recuperadas, o caminho LASSO forneceu a informação sobre o número de ondas planas presentes na cena sonora, já que há apenas três pontos em destaque na Figura 8 cujas amplitudes crescem quase linearmente. Em uma situação sem o conhecimento prévio sobre esta informação, o LASSO mostrou-se um método eficaz para estipular o número de ondas planas. Tal informação é utilizada no algoritmo OMP, pois este necessita do número de entradas não-nulas da solução $\hat{\mathbf{b}}$.

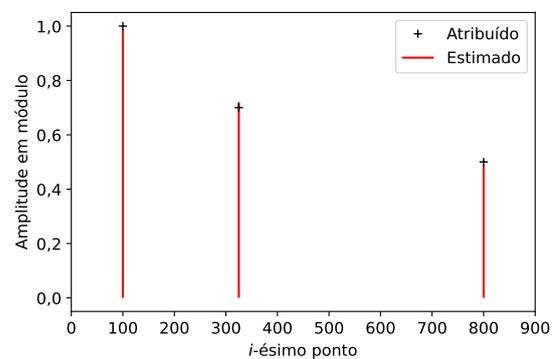
6.4 Orthogonal Matching Pursuit

É possível implementar o OMP em Python de, pelo menos, duas formas: através da função própria da biblioteca Scikit-learn [31] ou através do pseudocódigo em 5.3.3. A desvantagem da função da Scikit-learn é que ela só aceita matrizes reais como entrada, e isto distorce o resultado. Por esta razão, foi implementado o algoritmo com base no pseudocódigo da Seção 5.3.3. No OMP, o nível de esparsidade deve ser fornecido como parâmetro de entrada do algoritmo e isto permite encontrar o vetor com o número de entrada não-nulas desejado.

A partir da Figura 9 (b), nota-se que o OMP conseguiu encontrar as direções atribuídas às ondas planas e suas amplitudes reconstruídas



(a)



(b)

Figura 9: Aplicação do OMP: (a) Imagem acústica reconstruída de uma cena sonora com ruído (colorido, em dB) e pontos de amplitudes não-nulas (preto, 3 pontos) (b) Amplitudes dos pontos da malha de busca atribuídas (+) na simulação e estimadas (vermelho) pelo *Orthogonal Matching Pursuit* em uma cena sonora com ruído.

estão bem próximas das atribuídas. O sucesso do OMP pode ser explicado pelo conhecimento do nível de esparsidade de $\hat{\mathbf{b}}$, já que o algoritmo força uma saída que contenha exatamente, neste caso, 3 entradas não-nulas. No entanto, isto é uma desvantagem caso estejamos lidando com uma gravação sem nenhum conhecimento prévio sobre o número de ondas planas na cena sonora.

7. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Uma gravação foi realizada com um arranjo esférico rígido de microfones com as mesmas especificações da Seção 6 em uma câmara anecoica na qual havia uma área reflexiva no teto. Um alto-falante distante 2 m do arranjo emitiu

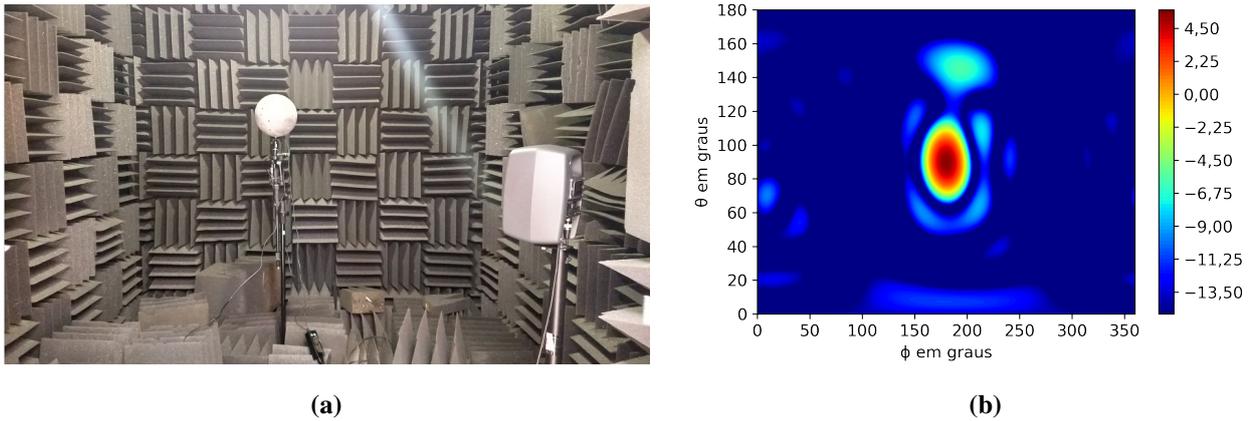


Figura 10: (a) Montagem da gravação de um sinal emitido por um alto-falante a 2 m de um arranjo esférico de microfones em uma câmara anecoica (b) Imagem acústica gerada pela gravação para uma frequência de 3500 Hz.

uma varredura senoidal de 20 Hz a 20 kHz. A Figura 10 (a) mostra a montagem feita para esta gravação. A frequência escolhida para aplicarmos os algoritmos de esparsidade foi 3500 Hz. A energia medida do ruído nos microfones é $\varepsilon = 0,12$. Para estimar a direção e a amplitude da onda plana, os resultados dos três algoritmos de esparsidade seguiram a mesma lógica da simulação. Na Figura 10 (b) está a imagem acústica desta medição gerada usando o *beam-forming* esférico.

O primeiro algoritmo aplicado foi a minimização da norma ℓ_1 via DCP (cuja solução gerou a imagem acústica da Figura 11 (a)) que gerou uma solução $\hat{\mathbf{b}}$ com norma $\|\hat{\mathbf{b}}\|_0 = 102$. As

quatro direções de maior amplitude são:

$$\begin{aligned} \Omega_{438} &= (88, 54^\circ; 182, 85^\circ), \\ \Omega_{459} &= (91, 21^\circ; 175, 18^\circ), \\ \Omega_{494} &= (95, 68^\circ; 42, 41^\circ) \text{ e} \\ \Omega_{815} &= (144, 31^\circ; 182, 42^\circ). \end{aligned}$$

Não é possível afirmar com exatidão quantas ondas planas estão presentes na cena sonora, mas já é possível notar duas regiões de onde vêm ondas com maior amplitude. A seguir, é avaliada a minimização da norma ℓ_1 via LASSO.

Na Figura 12 (b), é apresentada a variação da amplitude das entradas não-nulas em função de λ gerada pelo caminho do LASSO. Cinco

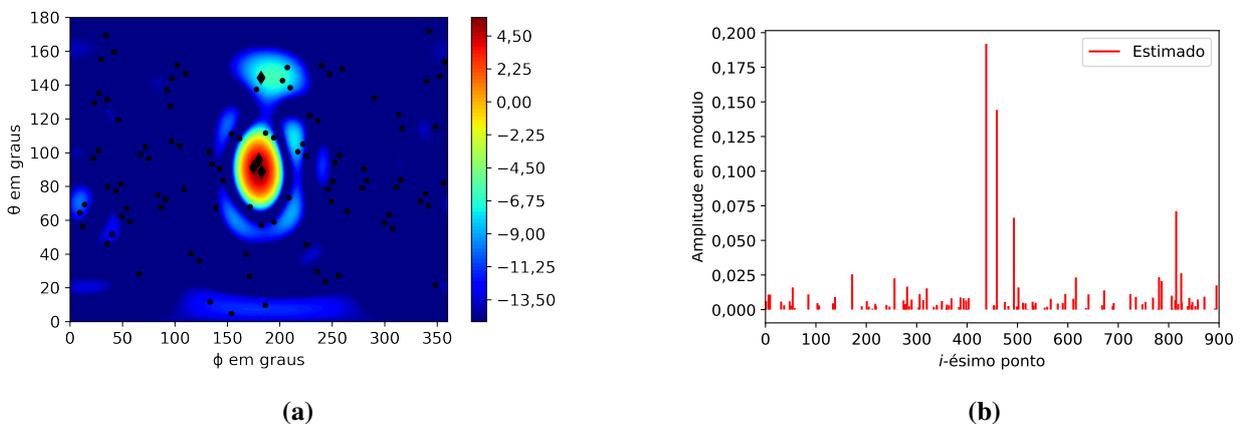


Figura 11: Minimização da norma ℓ_1 via DCP: (a) Imagem acústica reconstruída de uma cena sonora com ruído (colorido, em dB) e pontos de amplitudes não-nulas (preto, 102 pontos ao total). Os pontos representados por \blacklozenge são os quatro de maior amplitude (b) Amplitudes em módulo dos pontos da malha de busca estimadas (vermelho).

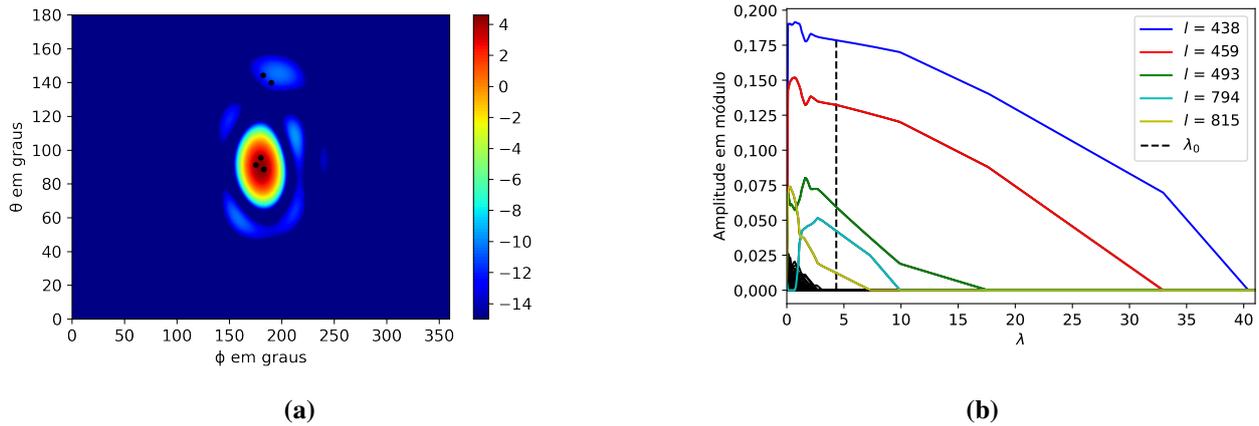


Figura 12: Minimização da norma ℓ_1 via LASSO: (a) Imagem acústica reconstruída (colorido, em dB) com $\lambda_0 = 4,33$. (b) O caminho da variação das amplitudes dos pontos em função de λ . Os gráficos em azul, vermelho, verde, ciano e amarelo correspondem, respectivamente a 438, 459, 493, 794 e 815 (pontos destacados sobre a imagem acústica). λ_0 é o menor λ tal que a saída $\hat{\mathbf{b}}$ tenha $\|\hat{\mathbf{b}}\|_0 = 5$.

direções se destacam:

$$\begin{aligned} \Omega_{438} &= (88, 54^\circ; 182, 85^\circ), \\ \Omega_{459} &= (91, 21^\circ; 175, 18^\circ), \\ \Omega_{493} &= (95, 55^\circ; 179, 92^\circ), \\ \Omega_{794} &= (139, 96^\circ; 190, 08^\circ) \text{ e} \\ \Omega_{815} &= (144, 31^\circ; 182, 42^\circ). \end{aligned}$$

A aplicação do LASSO com $\lambda_0 = 4,33$ —menor λ tal que a saída $\hat{\mathbf{b}}$ tenha $\|\hat{\mathbf{b}}\|_0 = 5$ —gerou a imagem acústica da Figura 12 (a). Devido à proximidade destas direções e ao fato de a cena sonora ser prática, ou seja, com presença de ruído, é possível separar os pontos em duas regiões: uma formada por Ω_{438} , Ω_{459} e Ω_{493} e outra for-

mada por Ω_{794} e Ω_{815} . Assim, são definidas duas ondas planas para aplicar o OMP.

Por meio do OMP (Figura 13), foram obtidas as direções $\Omega_{438} = (88, 54^\circ; 182, 85^\circ)$ e $\Omega_{794} = (139, 96^\circ; 190, 08^\circ)$, cujas amplitudes valem, respectivamente, $(-0,0035 - j0,38)$ e $(0,05 - j0,06)$. A primeira direção corresponde ao local da fonte e a segunda à reflexão presente no teto.

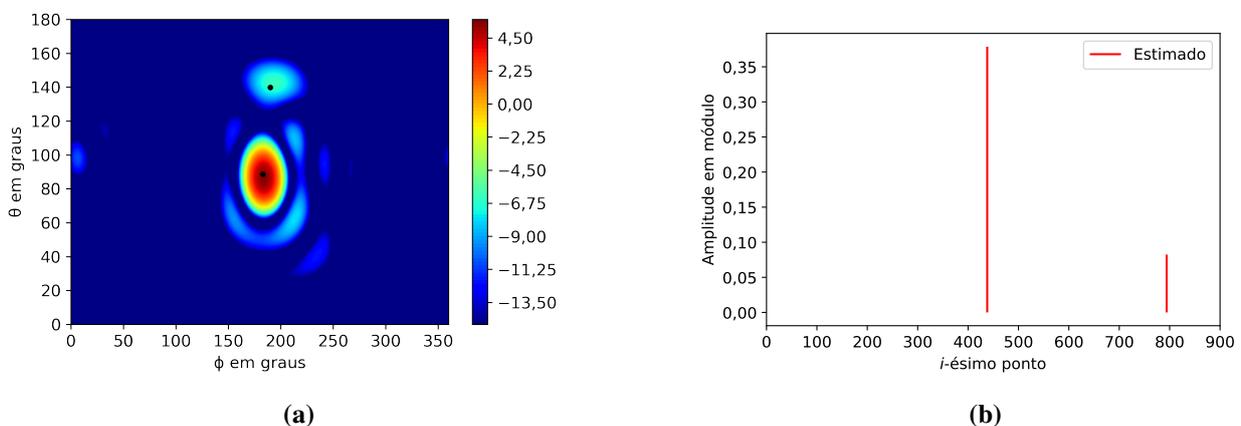


Figura 13: Aplicação do OMP: (a) Imagem acústica reconstruída (colorido, em dB) e pontos de amplitudes não-nulas (preto, 2 pontos) (b) Amplitudes em módulo dos pontos da malha de busca estimadas (vermelho).

8. CONCLUSÃO

Neste artigo, foram utilizados três algoritmos promotores de esparsidade para determinar a direção de fontes em uma cena sonora utilizando um arranjo esférico de microfones, cuja vantagem é conseguir captar o sinal em todas as direções. Verificou-se que para uma cena simulada, tanto com quanto sem ruído aditivo, todos os algoritmos foram capazes de determinar acuradamente o número de fontes e suas direções.

Tanto simulação quanto o processamento da gravação foram feitas em um computador com o sistema operacional Ubuntu 20.04 e processador Intel Core i5-5200U@2,20 GHz. Quanto à implementação dos algoritmos, a minimização da norma ℓ_1 via DCP e o LASSO são relativamente simples graças à biblioteca CVXPY, que possui uma função pronta que resolve o problema de minimização. Para a implementação do OMP também usou-se esta mesma biblioteca na etapa do algoritmo em que há a resolução do problema de mínimos quadrados. Os tempos de processamento da minimização da norma ℓ_1 via DCP e do OMP foram, respectivamente, 3,98 s e 0,46 s. O LASSO foi dividido em duas etapas: escolha de um λ por meio do caminho apresentado na Figura 8 e a minimização dada pela Equação (20) para o λ escolhido. A etapa mais demorada é primeira, a qual levou 1h20min21s. Isto faz com que o LASSO seja computacionalmente muito custoso quando comparado aos outros dois algoritmos. A segunda etapa tem um tempo de processamento comparável à minimização da norma ℓ_1 via DCP: 5,95 s. A vantagem da minimização da norma ℓ_1 via DCP frente ao LASSO está, então, no tempo de processamento.

Já para uma situação real com uma fonte gravada em ambiente quase anecoico, observou-se um resultado menos satisfatório dos algoritmos quando comparado ao resultado da simulação. Isto pode ser explicado pela complexidade da cena sonora prática, a qual apresenta condições que não estão presentes na simulação, uma vez que não há garantia de o espaço seja totalmente anecoico ou que o ruído seja aleatório, além de que a fonte não é uma fonte pontual, podendo

gerar reflexões e difrações vindas de outras direções do espaço. No entanto, a combinação do LASSO para determinar o número de fontes com o OMP para refinar a estimativa da amplitude da onda apresentou resultados animadores.

Para trabalhos futuros, recomenda-se repetir a simulação com outros tipos de fontes não pontuais e repetir a medição com mais de uma fonte, emitindo sinais correlacionados ou não, com diferentes ângulos de separação entre as fontes. Além disso, sugere-se analisar o comportamento destes algoritmos para a tarefa de separação de fontes.

9. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processos nº 2017/08120-6 e nº 2018/26531-6. Agradecemos pelo apoio recebido.

REFERÊNCIAS

1. BENESTY, J.; CHEN, J.; HUANG, Y. *Microphone Array Signal Processing*. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2008. (Springer Topics in Signal Processing). doi: [10.1007/978-3-540-78612-2](https://doi.org/10.1007/978-3-540-78612-2). ISBN 978-3540786122.
2. NASCIMENTO, Vítor H.; MASIERO, Bruno S.; RIBEIRO, Flávio P. Acoustic imaging using the Kronecker array transform. In: COELHO, Rosangela Fernandes; NASCIMENTO, Vitor Heloiz; QUEIROZ, Ricardo Lopes de; ROMANO, Joao Marcos Travassos; CAVALCANTE, Charles Casimiro (Ed.). *Signals and Images: Advances and Results in Speech, Estimation, Compression, Recognition, Filtering, and Processing*. [S.l.]: CRC Press, 2015. p. 153–178. ISBN 978-1498722360.
3. HÖGBOM, J. A. Aperture synthesis with a non-regular distribution of interferometer baselines. *Astronomy and Astrophysics Supplement*, v. 15, p. 417–426, 1974. ISSN 0365-0138. Dis-

ponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1974A%26AS...15..417H/>.

4. WANG, Yanwei; LI, Jian; STOICA, Petre; SHEPLAK, Mark; NISHIDA, Toshikazu. Wideband relax and wideband clean for aeroacoustic imaging. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 115, n. 2, p. 757–767, 2004. doi: [10.1121/1.1639906](https://doi.org/10.1121/1.1639906).

5. DOUGHERTY, Robert P. Extensions of DAMAS and benefits and limitations of deconvolution in beamforming. In: *11th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (26th AIAA Aeroacoustics Conference)*. [S.l.: s.n.], 2005. p. 1–13. ISBN 156-3477300. ISSN 0146-3705. doi: [10.2514/6.2005-2961](https://doi.org/10.2514/6.2005-2961).

6. YAN, Shefeng; MA, Yuanliang; HOU, Chaohuan. Optimal array pattern synthesis for broadband arrays. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 122, n. 5, p. 2686–2696, 2007. ISSN 00014966. doi: [10.1121/1.2785037](https://doi.org/10.1121/1.2785037).

7. EHRENFRIED, Klaus; KOOP, Lars. Comparison of iterative deconvolution algorithms for the mapping of acoustic sources. *AIAA Journal*, v. 45, n. 7, p. 1584–1595, 2007. ISSN 0001-1452. doi: [10.2514/1.26320](https://doi.org/10.2514/1.26320).

8. YARDIBI, Tarik; LI, Jian; STOICA, Petre; CATTAFESTA, Louis N. Sparsity constrained deconvolution approaches for acoustic source mapping. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 123, n. 5, p. 2631–2642, 2008. doi: [10.1121/1.2896754](https://doi.org/10.1121/1.2896754).

9. XENAKI, Angeliki; GERSTOFT, Peter; MOSEGAARD, Klaus. Compressive beamforming. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 136, n. 1, p. 260–271, 2014. ISSN 1520-8524. doi: [10.1121/1.4883360](https://doi.org/10.1121/1.4883360).

10. Shi, J.; Hu, G.; Zhang, X.; Sun, F.; Zhou, H. Sparsity-based two-dimensional DOA estimation for coprime array: From sum–difference coarray viewpoint. *IEEE Transactions on Signal Processing*, v. 65, n. 21, p. 5591–5604, 2017. doi: [10.1109/TSP.2017.2739105](https://doi.org/10.1109/TSP.2017.2739105).

11. EPAIN, Nicolas; JIN, Craig; SCHAIK, André van. The application of compressive sam-

pling to the analysis and synthesis of spatial sound fields. In: *127th AES Convention*. New York, USA: [s.n.], 2009. p. 1–12. Disponível em: <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=15052>.

12. FERNANDEZ-GRANDE, Efren; XENAKI, Angeliki. Compressive sensing with a spherical microphone array. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 139, n. 2, p. EL45–EL49, 2016. doi: [10.1121/1.4942546](https://doi.org/10.1121/1.4942546).

13. PING, Guoli; CHU, Zhigang; YANG, Yang. Compressive spherical beamforming for acoustic source identification. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 105, n. 6, p. 1000–1014, 2019. ISSN 1610-1928. doi: [doi:10.3813/AAA.919406](https://doi.org/10.3813/AAA.919406).

14. PAN, J. Spherical harmonic atomic norm and its application to DOA estimation. *IEEE Access*, v. 7, p. 156555–156568, 2019. doi: [10.1109/ACCESS.2019.2950016](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2950016).

15. CHEN, Scott Shaobing; DONOHO, David L.; SAUNDERS, Michael A. Atomic decomposition by basis pursuit. *SIAM Review*, v. 43, n. 1, p. 129–159, 2001. doi: [10.1137/S003614450037906X](https://doi.org/10.1137/S003614450037906X).

16. GORODNITSKY, I. F.; RAO, B. D. Sparse signal reconstruction from limited data using FOCUSS: a re-weighted minimum norm algorithm. *IEEE Transactions on Signal Processing*, v. 45, n. 3, p. 600–616, 1997. doi: [10.1109/78.558475](https://doi.org/10.1109/78.558475).

17. ERKOC, M. E.; KARABOGA, N. Evolutionary algorithms for sparse signal reconstruction. *Signal, Image and Video Processing*, p. 1863–1711, 2019. doi: [10.1007/s11760-019-01473-w](https://doi.org/10.1007/s11760-019-01473-w).

18. ELAD, M. *Sparse and Redundant Representations*. [S.l.]: Springer-Verlag New York, 2010. (Springer Topics in Signal Processing). doi: [10.1007/978-1-4419-7011-4](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7011-4). ISBN 978-1441970114.

19. FERNANDEZ-GRANDE, Efren; XENAKI, Angeliki. Compressive sensing with a spherical microphone array. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 139, p. EL45–EL49, 02 2016. doi: [10.1121/1.4942546](https://doi.org/10.1121/1.4942546).

20. GERSTOFT, Peter; XENAKI, Angeliki; MECKLENBRÄUKER, Christoph. Multiple and single snapshot compressive beamforming. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 138, n. 4, p. 2003–2014, 2015. doi: [10.1121/1.4929941](https://doi.org/10.1121/1.4929941).

21. ROSSUM, Guido Van; DRAKE, Fred L. *Python 3 Reference Manual*. Scotts Valley, USA: CreateSpace, 2009. ISBN 978-1441412690.

22. TREES, Harry L. Van. *Optimum Array Processing: Part IV of Detection, Estimation, and Modulation Theory*. John Wiley & Sons, 2002. ISBN 9780470542965. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=J5TZDwAAQBAJ>.

23. CANDÈS, Emmanuel J.; WAKIN, M. B. An Introduction To Compressive Sampling. *IEEE Signal Processing Magazine*, v. 25, n. 2, p. 21–30, 2008. ISSN 1053-5888. doi: [10.1109/MSP.2007.914731](https://doi.org/10.1109/MSP.2007.914731).

24. RAFAELY, B. *Fundamentals of Spherical Array Processing*. [S.l.]: Springer International Publishing, 2018. (Springer Topics in Signal Processing). doi: [10.1007/978-3-662-45664-4](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45664-4). ISBN 978-3319995618.

25. SAFF, E.B.; KUIJLAARS, A.B.J. Distributing many points on a sphere. *The Mathematical Intelligencer*, v. 19, p. 5–11, 1997. doi: [10.1007/BF03024331](https://doi.org/10.1007/BF03024331).

26. RAFAELY, Boaz. *Fundamentals of Spherical Array Processing*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015. v. 8. (Springer Topics in Signal Processing, v. 8). doi: [10.1007/978-3-662-45664-4](https://doi.org/10.1007/978-3-662-45664-4). ISSN 09250042. ISBN 978-3662456637.

27. BERTET, Stéphanie; DANIEL, Jerome; PARIZET, Etienne; WARUSFEL, Olivier. Investigation on localisation accuracy for first and higher order ambisonics reproduced sound sources. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 99, n. 4, p. 642 – 657, 2013. doi: [10.3813/AAA.918643](https://doi.org/10.3813/AAA.918643).

28. ELAD, M. Optimized projections for compressed sensing. *IEEE Transactions on Signal*

Processing, v. 55, n. 12, p. 5695–5702, 2007. doi: [10.1109/TSP.2007.900760](https://doi.org/10.1109/TSP.2007.900760).

29. DIAMOND, Steven; BOYD, Stephen. CVXPY: A Python-embedded modeling language for convex optimization. *Journal of Machine Learning Research*, v. 17, n. 1, p. 2909–2913, 2016. ISSN 1532-4435. doi: [doi/10.5555/2946645.3007036](https://doi.org/10.5555/2946645.3007036).

30. TROPP, J. A.; GILBERT, A. C. Signal recovery from random measurements via orthogonal matching pursuit. *IEEE Transactions on Information Theory*, v. 53, n. 12, p. 4655–4666, 2007. doi: [10.1109/TSP.2015.2413384](https://doi.org/10.1109/TSP.2015.2413384).

31. PEDREGOSA, Fabian; VAROQUAUX, Gaël; GRAMFORT, Alexandre; MICHEL, Vincent; THIRION, Bertrand; GRISEL, Olivier; BLONDEL, Mathieu; PRETTENHOFER, Peter; WEISS, Ron; DUBOURG, Vincent; VANDERPLAS, Jake; PASSOS, Alexandre; COURNAPEAU, David; BRUCHER, Matthieu; PERROT, Matthieu; DUCHESNAY Édouard. Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, v. 12, n. oct, p. 2825–2830, 2011. Disponível em: <http://jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html>.

A. REPRESENTAÇÃO MATRICIAL

A matriz de sensibilidade \mathbf{A} , cujo elemento (q, l) é calculado pela Equação (10), pode ser decomposta em $\mathbf{A} = \mathbf{Y}_Q \mathbf{R} \mathbf{Y}_L^H$, em que $\mathbf{R}_{(N+1)^2 \times (N+1)^2}$ é uma matriz diagonal definida por

$$\mathbf{R} = \text{diag}[R_0(kr_a), R_1(kr_a), R_1(kr_a), R_1(kr_a), \dots, R_N(kr_a)]. \quad (23)$$

Para representar os Harmônicos Esféricos das posições dos microfones e das posições dos pontos da malha de busca, tem-se, respectivamente, \mathbf{Y}_Q de dimensão $Q \times (N+1)^2$ e \mathbf{Y}_L de dimensão $L \times (N+1)^2$ tais que:

$$\mathbf{Y}_Q = \begin{bmatrix} Y_0^0(\Omega_1) & \dots & Y_N^N(\Omega_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_0^0(\Omega_Q) & \dots & Y_N^N(\Omega_Q) \end{bmatrix} \quad (24)$$

e

$$\mathbf{Y}_L = \begin{bmatrix} Y_0^0(\Omega_1) & \dots & Y_N^N(\Omega_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_0^0(\Omega_L) & \dots & Y_N^N(\Omega_L) \end{bmatrix}. \quad (25)$$

para \mathbf{Y}_Q ,

$$\mathbf{y} = \mathbf{Y}_L \mathbf{R}^{-1} \mathbf{Y}_Q^{-1} \tilde{\mathbf{p}}. \quad (33)$$

Logo, $\hat{\mathbf{b}}_{\ell_2} = \frac{4\pi}{L} \mathbf{y}$.

O mesmo pode ser feito com a TFE da pressão nos microfones do arranjo na Equação (13). Seja $\mathbf{p}_{nm} = [p_{00}, p_{1(-1)}, p_{10}, p_{11}, \dots, p_{NN}]^T$ o vetor que contém os coeficientes p_{nm} da TFE; então,

$$\mathbf{p}_{nm} = \frac{4\pi}{Q} \mathbf{Y}_Q^H \mathbf{p}. \quad (26)$$

A saída do *beamforming*, neste caso, pode ser escrita como

$$\mathbf{y} = \mathbf{Y}_L \mathbf{R}^{-1} \mathbf{p}_{nm} = \frac{4\pi}{Q} \mathbf{Y}_L \mathbf{R}^{-1} \mathbf{Y}_Q^H \mathbf{p}. \quad (27)$$

A solução da minimização da norma ℓ_2 (Equação (18)) está diretamente relacionada com a saída \mathbf{y} do *beamforming*. Esta solução é conhecida e obtida através da pseudo inversa de \mathbf{A} :

$$\hat{\mathbf{b}}_{\ell_2} = \mathbf{A}^+ \tilde{\mathbf{p}} = \mathbf{A}^H (\mathbf{A} \mathbf{A}^H)^{-1} \tilde{\mathbf{p}}. \quad (28)$$

Substituindo $\mathbf{A} = \mathbf{Y}_Q \mathbf{R} \mathbf{Y}_L^H$ na Equação (28) tem-se

$$\hat{\mathbf{b}}_{\ell_2} = \mathbf{Y}_L \mathbf{R}^H \mathbf{Y}_Q^H (\mathbf{Y}_Q \mathbf{R} \mathbf{Y}_L^H \mathbf{Y}_L \mathbf{R}^H \mathbf{Y}_Q^H)^{-1} \tilde{\mathbf{p}}. \quad (29)$$

Como \mathbf{Y}_L possui distribuição dos pontos quase-uniforme [24],

$$\frac{4\pi}{L} \mathbf{Y}_L^H \mathbf{Y}_L = \mathbf{I}. \quad (30)$$

Então,

$$\hat{\mathbf{b}}_{\ell_2} = \frac{4\pi}{L} \mathbf{Y}_L \mathbf{R}^H \mathbf{Y}_Q^H (\mathbf{Y}_Q \mathbf{R} \mathbf{R}^H \mathbf{Y}_Q^H)^{-1} \tilde{\mathbf{p}}. \quad (31)$$

Aqui, é usado $Q = (N + 1)^2$ permitindo que, além de \mathbf{R} que é uma matriz quadrada, \mathbf{Y}_Q seja também inversível. Assim,

$$\hat{\mathbf{b}}_{\ell_2} = \frac{4\pi}{L} \mathbf{Y}_L \mathbf{R}^{-1} \mathbf{Y}_Q^{-1} \tilde{\mathbf{p}}. \quad (32)$$

Solução similar é obtida a partir da Equação (27) pois, utilizando a igualdade da Equação (30)

Dose de vibração, uma abordagem diferente sobre o tema

Sousa, V. C.¹ ; Teixeira, J. A. M. S.² 

¹ Engenharia de Segurança do Trabalho, Faculdade Unyleya, Rio de Janeiro, RJ, valdineyeng2015@gmail.com

² Engenharia Mecânica, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, SC, j.alexandre@unescc.net

Resumo

O estudo de vibrações remonta à antiguidade, analisando-se à época especialmente fenômenos ligados à música. Contudo, apenas nas últimas décadas que órgãos nacionais e internacionais ligados à saúde e segurança têm se preocupado com os danos decorrentes dessas oscilações mecânicas. Nos ambientes ocupacionais, a exposição à vibração normalmente é transferida para o corpo todo. Atualmente no mundo são 58 países que estabelecem limites para vibração de corpo inteiro, e a maioria deles adota metodologias previstas na *Parte um* da norma internacional ISO 2631-1:1997, isto é, o método básico de segunda potência (r.m.s. ou *root-mean square*). Todavia, apenas 12% dos países analisados adotam de forma complementar o VDV (Valor de Dose de Vibração), que utiliza a aceleração na quarta potência, sendo assim muito mais sensível à existência de picos de amplitude, e estes tendem a ser um dos causadores de desconforto no ser humano. Quanto mais tempo uma pessoa estiver exposta à vibração, menor será a intensidade da vibração para preservar o critério limite. Para avaliação de ruído, uma dose adimensional é extraída da relação entre o tempo limite e o tempo de exposição, e essa dose é utilizada para medir o risco de exposição. Utilizado esse mesmo raciocínio, uma dose adimensional para vibração de corpo inteiro foi definida neste artigo e aplicada em exemplos conhecidos em guias técnicos. Os resultados demonstram que a nova abordagem de dose de vibração é mais simples, de fácil interpretação pelos profissionais de higiene e segurança do trabalho, assim como por trabalhadores e empregadores. Além disso, essa métrica poderia ser utilizada em medidores de vibração, assim como é feita nos dosímetros de ruído.

Palavras-chave: vibração de corpo inteiro, valor de dose de vibração, saúde ocupacional.

PACS: 43.40.Yq, 46.40.-f, 43.40.Ng.

Vibration dose, a different approach to the subject

Abstract

The study of vibrations dates back to antiquity, analyzing at that time phenomena related to music, especially. However, only in recent decades have national and international bodies linked to health and safety been concerned about the damage resulting from these mechanical oscillations. In work environments, vibration exposure is typically transferred to the whole body. There are currently 58 countries that set limits for whole body vibration, and most of them adopt measurement methodologies described in *Part one* of the international standard ISO 2631-1:1997, and of these, the basic second power method (r.m.s., or root-mean square) is preferred worldwide. However, only 12% of analyzed countries adopt, albeit complementarily, the VDV (Vibration Dose Value), which uses acceleration to the fourth power, thus being much more sensitive to amplitude peaks, which tend to be a primary cause of discomfort. The longer a person is exposed to vibration, the lower the vibration intensity must be in order to preserve threshold criterion. For noise assessment, a dimensionless dose is calculated from the relationship between cut-off time and exposure time, and this dose is used to measure the risk of exposure. Using this same reasoning, a dimensionless dose for whole-body vibration was defined in this article and applied to known examples from technical guides. The results show that the new vibration dose approach is simpler and easier to interpret by occupational health and safety professionals, as well as by workers and employers. In addition, this metric, which is already used in noise dosimeters, could also be used in vibration meters.

Keywords: whole body vibration, vibration dose value, occupational health.

1. INTRODUÇÃO

O uso dos conceitos de vibrações remontam aos primeiros instrumentos musicais, em aproximadamente 4000 a.C.. Contudo, as primeiras investigações científicas foram feitas por Pitágoras, no séc. VI a.C.. Ainda na Grécia antiga, a maioria dos estudos focavam especialmente em fenômenos relacionados à música, com Aristóteles, Aristóxenes e Euclides. A exceção foi a publicação do romano Vitruvius, em 20 a.C., tratando da acústica de teatros. Mais nenhuma contribuição relevante na área foi registrada até o séc. XVII, com o estudo de pêndulos de Galileu Galilei [1].

caracterizada por oscilações em torno de um ponto de referência, e a sua propagação ocorre através de uma estrutura mecânica, que pode ser uma máquina, ferramenta ou mesmo uma pessoa [2]. Nos ambientes ocupacionais, os estudos costumam focar nas vibrações transmitidas para o corpo inteiro [3–6], ou apenas para alguma parte específica, como o sistema mãos e braços [3].

Cada vez mais tem aumentado a preocupação dos órgãos nacionais e internacionais ligados à saúde e segurança acerca dos danos causado ao corpo humano decorrente das vibrações, reconhecendo-as como um fator de risco nos ambientes de trabalho. Atualmente, no mundo, 58 países adotam limites legais de exposição ocupacional para vibração de corpo. A *International Organization for Standardization* (ISO), por meio da sua norma 2631-1:1985, definiu importantes limites: o “limite de conforto reduzido”, o “limite de proficiência diminuído por fadiga” (PDPF) e o “limite de exposição”, sendo que este corresponde ao dobro do PDPF [5]. A *British Standard* (BS) 6841, de 1987, também se refere a um “nível de ação” para vibração de corpo inteiro [7].

O padrão ISO é adotado por quase a totalidade dos países que determinam limites para vibração. Ao longo dos anos, esse padrão passou por diversas revisões, sendo que, em uma delas, foram retirados os limites de exposição da parte normativa, passando a conter, em um anexo in-

formativo, um guia de efeitos à saúde para orientação ao usuário. Tal guia foi construído baseado em estudos que, em sua maioria, avaliaram a resposta humana à vibração na direção z (vertical) e uma experiência nas direções x (frontal) e y (lateral), ambas para pessoas sentadas [6]. A BS, por sua vez, não sofreu alterações e é válida até os dias atuais.

Segundo uma revisão literária sobre o tema, realizada pelo órgão britânico *Health and Safety Executive* (HSE) [8], os preparativos do padrão ISO começaram em 1966, tendo a primeira versão da norma internacional 2631 “*Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration*” publicada em 1974 (ISO 2631, 1974) e republicada em 1978 (ISO 2631, 1978), com alterações editoriais que incluíram erros em tabelas e figuras. Na versão de 1982, uma série de emendas foi publicada e, em 1985, foi realizada uma condensação do conteúdo das versões de 1978 e 1982 e republicada sob o título “*Assessment of human exposure to whole body vibration - Part 1: general requirements*” [9].

As Partes 1 e 3, da versão de 1985, permaneceram vigentes até meados de 1997, quando uma nova atualização foi publicada sob o título de “*Mechanical vibration and shock-Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part 1: General requirements*”, substituindo a versão de 1985. Em 2010, a Emenda 1 trouxe algumas correções no texto anterior, bem como a inserção de notas, itens gráficos e o uso da exposição à vibração, equivalente para um período de oito horas.

Mediante a diversidade de limites de exposição ocupacional adotadas mundialmente para vibração de corpo inteiro, este trabalho tem como objetivo apresentar uma abordagem diferente sobre o tema, propondo uma versão de dose de vibração aplicável a qualquer limite adotado.

2. METODOLOGIA

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica referente às normas técnicas e legislações sobre o tema, de 190 países, a fim de identificar os métodos de avaliação e limites adota-

dos, e foi realizado um estudo comparativo destes limites, com as zonas de orientação da Figura B.1 do Anexo B da ISO 2631-1:1997/Amd.1:2010(E) [10].

Para a nova abordagem (deste artigo) de dose de vibração, foram utilizadas as dependências de tempo da segunda e quarta potência, utilizadas no padrão ISO e legitimadas na maioria dos países, adotando, portanto, regras equivalentes à composição de dose utilizada para ruído. Para verificar a coerência dos resultados, o método de dose proposto foi aplicado nos exemplos contidos no “EU Good Practice Guide WBV” [11].

3. MÉTRICAS ADOTADAS PARA AVALIAÇÃO DE VIBRAÇÃO

Embora existam boas razões para quantificar a gravidade da magnitude das vibrações em termos de velocidade, os padrões e instrumentos utilizados atualmente preferem verificar a severidade da exposição humana em termos de aceleração, que no S.I. utiliza a unidade de m/s^2 [3].

A aceleração eficaz ponderada, ou *root-mean square* (r.m.s.) [12], é utilizada mundialmente para avaliar o risco da exposição à vibração de corpo inteiro, sendo essa métrica descrita pelo padrão ISO 2631-1 (1997+Adm. 2010) como um método básico [6]. Os valores de aceleração eficaz média em uma determinada direção, denotados por a_w , são obtidos para cada eixo ortogonal e calculados por:

$$a_w = \left[\int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}} \quad [m \cdot s^{-2}] , \quad (1)$$

ou seja, a_w é a raiz da média quadrática, expressa em m/s^2 , dos diversos valores da aceleração instantânea $a_w(t)$, ocorridos durante um período de medição T (em segundos) na direção escolhida, que corresponde a um dos eixos ortogonais x , y ou z [6].

Na versão do padrão de 1985, o a_w é obtido para cada frequência de 1 a 80 Hz e comparado com limites de tempo definidos por linhas retas em um gráfico log-log de aceleração *versus*

frequência [5, 13]. Além disso, a norma orienta que, caso dois ou mais eixos apresentem valores próximos, a aceleração média resultante (a_v) pode ser usada de forma adicional para estimar o risco à saúde, sendo ela a soma quadrática das acelerações a_w de cada um dos eixos similares:

$$a_v = \left((k_x a_{wx})^2 + (k_y a_{wy})^2 + (k_z a_{wz})^2 \right)^{\frac{1}{2}} , \quad (2)$$

expressa em m/s^2 , na qual os fatores ponderadores são $k_x = k_y = 1,4$ e $k_z = 1$.

Em 2010 a norma passou a recomendar o uso de um valor normalizado para uma jornada padrão de oito horas. Essa métrica, já praticada por países europeus desde 2002, foi inicialmente definida na Diretiva 2002/44/CE [14], cujo valor é obtido por:

$$A_I(8) = k_I \sqrt{\frac{1}{T_0} \sum_i a_{wi}^2 T_i} \quad [m \cdot s^{-2}] , \quad (3)$$

em m/s^2 . Nesse caso, $A_I(8)$ é a aceleração normalizada na direção I (que equivale a x , y ou z), calculada para um tempo padrão exposição de referência T_0 , que corresponde a 28800 s, ou 8 h. A soma na equação significa que podem ser somados vários períodos de tempo T_i equivalentes, sendo que em cada um deles tem-se uma aceleração média ponderada por frequência $a_w I_i$ no I -ésimo eixo. Os fatores k_x , k_y e k_z são os mesmos utilizados na Equação (2).

A métrica $A_I(8)$ permite avaliar a exposição em qualquer período de tempo e comparar o valor normalizado com um único valor limite para um dia típico de trabalho. Ainda há a opção de utilizar as acelerações por bandas de 1/3 de oitava, havendo tabelas de pesos a serem dados para cada uma das bandas baseados em estudos de percepção humana. A norma também remete ao uso de outro método, o valor máximo de vibração transiente (MTVV), para avaliar a exposição às vibrações caracterizadas pela maior impulsividade no sinal, ou seja, que contêm choques ocasionais ou intermitentes. Sinais com essas características não são bem avaliados pelo método básico devido às suas limitações, portanto a norma recomenda a aplicação de metodologias adicionais.

Outro método mencionado que é mais sensível a picos de vibrações é o valor de dose de vibração (VDV), que será melhor abordado na Seção 3.1. Independentemente da medida empregada para descrever a amplitude da vibração, a frequência é expressa em oscilações por segundo (Hz) [12]. O corpo humano, assim como qualquer objeto submetido a oscilações próximas à frequência natural, sofre ressonâncias, nas quais a amplitude da vibração é aumentada [12, 15].

A norma ISO 2631-1 (1997) [6] também fornece curvas de ponderação de frequência para uso na avaliação da vibração de corpo inteiro, e o valor de ponderação depende da aplicação (saúde, conforto, percepção ou enjoo de movimento), do eixo de vibração, da postura (sentado, em pé ou deitado) e do ponto de medição. Para a aplicação à saúde, são indicadas como W_k para a direção z e W_d para as direções x e y , as curvas estão mostradas na Figura 1.

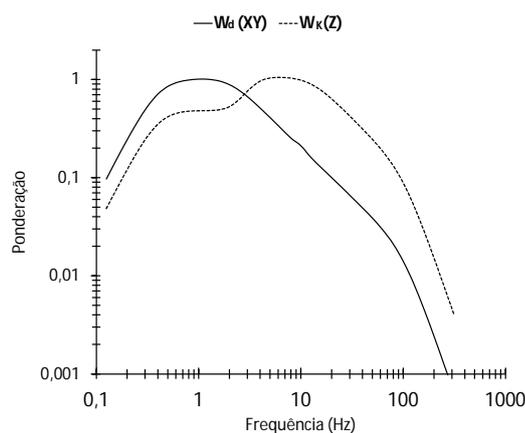


Figura 1: Ponderações de frequência aplicadas à saúde fornecidas pela ISO 2631-1 (1997) para medição de vibração de corpo inteiro em um assento [6].

3.1 Aceleração na quarta potência

O uso da quarta potência para avaliação da vibração foi proposto e discutido por Griffin e Whitham (1980), e validado por meio de quatro experimentos aplicados nas frequências de 4, 8, 16 e 32 Hz [16]. Os resultados indicaram uma maior sensibilidade aos picos, sendo que o r.m.q.¹ indica que os movimentos de mesma

¹O termo r.m.q. significa *root mean quad*, para mais detalhes os trabalhos originais devem ser consultados [16, 17].

frequência e mesmo nível r.m.s. causam maior desconforto com o aumento dos níveis de pico [16, 17]. O valor do método r.m.q., assim como o r.m.s., é um valor médio destinado à comparação de movimentos que contêm altos valores de pico com um valor limite de tempo fixo, ou seja, para cada fração de tempo, um limite de r.m.q. é definido [3]. Os valores de aceleração r.m.q. para cada eixo são calculados por:

$$\text{r.m.q.} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^4(t) dt \right]^{\frac{1}{4}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] \quad (4)$$

3.1.1 Valor de Dose de Vibração — VDV

A primeira versão da dose de vibração foi idealizada e apresentada por Griffin (1982) na reunião do “Grupo Informal do Reino Unido sobre Resposta Humana à Vibração”, realizado pela *Health and Safety Executive* (HSE) em Criclewood, Londres, em setembro de 1982. Naquela ocasião, chamava-se HDV (*Hazard Dose Value*), que é uma medida cumulativa de vibração utilizando a dependência na quarta potência, e era definida por [18]:

$$\text{HDV} = \frac{1}{60} \int_{t=0}^{t=T} a(t) dt \quad [\text{m}^4 \cdot \text{s}^{-7}] \quad (5)$$

Uma versão revisada do método de dose de vibração foi apresentada por Griffin, ao mesmo grupo, na reunião ocorrida na Universidade Heriot-Watt, em Edimburgo, em setembro de 1984, dois anos após a primeira versão ser discutida [18]. Com a atualização do método, o então HDV se tornou o VDV (valor de dose de vibração), calculado por:

$$\text{VDV} = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{\frac{1}{4}} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1,75}] \quad (6)$$

O VDV é oferecido como um método robusto de avaliar a gravidade de todos os movimentos (determinísticos ou aleatórios, estacionários ou não estacionários, transitórios ou choques) que estão acima do limiar de percepção e se enquadram na faixa de frequência do método de análise [3].

Além disso, o VDV é um valor acumulado e é alcançado matematicamente somando (ou seja, integrando) a quarta potência da aceleração ponderada em frequência [3]. Quando a exposição à vibração consiste em dois ou mais períodos i , de diferentes magnitudes, o valor da dose de vibração para a exposição total deve ser calculado a partir da quarta raiz da soma da quarta potência dos valores individuais da dose de vibração, conforme:

$$VDV_{\text{total}} = \left(\sum_i VDV_i^4 \right)^{\frac{1}{4}} \left[m \cdot s^{-1,75} \right]. \quad (7)$$

3.2 Mensuração de vibração

Os valores de aceleração utilizados para os cálculos de a_w e VDV são obtidos utilizando-se um transdutor/acelerômetro montado sobre o assento do banco do operador [2–5, 7, 14, 19]. O acelerômetro deve ser montado no centro de um disco semirrígido de borracha ou plástico, com diâmetro aproximado de $250 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$ e fixados a um disco fino de metal, com espessura de $1,5 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ e diâmetro de $75 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ [19]. Esse disco deve ser instalado no assento ou no encosto do banco do operador, conforme apresentado na Figura 2, e deve estar localizado no meio do caminho entre as tuberosidades isquiáticas do ocupante do assento [19], demonstrado na Figura 3.

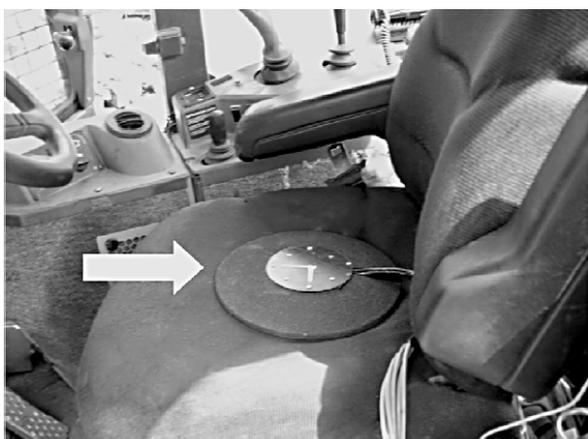


Figura 2: Acelerômetro montado sob o assento do operador (retirado de Cation [15]).

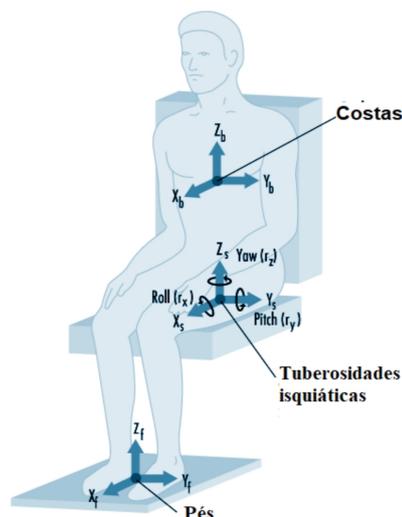


Figura 3: Localização do acelerômetro (adaptado de Griffin [20]).

3.3 Dependência de tempo

A dependência de tempo é definida como a relação entre a magnitude e duração de vibração [7]. Quanto mais tempo uma pessoa estiver exposta à vibração, menor será a intensidade da vibração para preservar o critério limite [21]. Assim, o tempo máximo permissível de exposição à um determinado nível de vibração cai pela metade ou dobra seu valor quando um aumento ou decaimento de 3 ou 1,5 dB no valor de referência ocorrer, dependendo do método utilizado [3, 21]. A taxa de 3 dB é utilizada para método r.m.s., com esse mesmo valor sendo definido para o ruído, enquanto que o método r.m.q., que é mais sensível, utiliza metade deste valor. As dependências de tempo adotadas nos dois métodos são apresentadas na Figura 4 de forma comparativa.

A diferença entre as dependências de tempo para os dois métodos é significativa. Por exemplo: para um aumento de 4 vezes do valor de referência, tem-se um tempo limite 16 vezes menor para r.m.q. em comparação ao tempo limite para r.m.s.. Essa diferença justifica a maior sensibilidade a picos para a quarta potência [3]. O tempo máximo permitido (T_1) para cada nível de vibração, tanto r.m.s. quanto r.m.q., é calculado por [22]:

$$T_1 = \left(\frac{a_{w2}}{a_{w1}} \right)^e \cdot T_2, \quad (8)$$

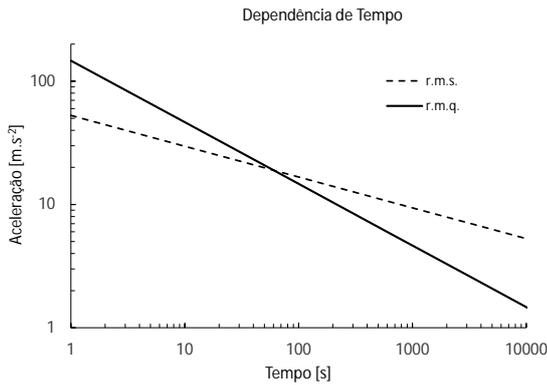


Figura 4: Comparação de dependência de tempo entre r.m.s. e r.m.q. Os valores de referência de vibração e tempo são os mesmos em 10 min (adaptado de Griffin [3]).

em que a_{w2} é o valor de vibração limite, a_{w1} é o valor de magnitude medido, e vale 2 para r.m.s. e 4 para r.m.q., e T_2 é o tempo máximo permitido para a_{w2} . Quando se utiliza o VDV, o tempo máximo permitido é calculado por:

$$T_{VDV} = T_{mens} \left(\frac{VDV_2}{VDV_1} \right)^4, \quad (9)$$

na qual T_{VDV} é o tempo máximo permitido, T_{mens} é o tempo da amostra, VDV_2 é o valor de dose limite² e VDV_1 é o valor de dose da exposição.

3.4 Limites de exposição ocupacional

O limite de exposição ocupacional (LEO) é definido como a concentração, ou intensidade permitida, de um agente perigoso no ambiente de trabalho, que se relaciona diretamente com o tempo de exposição [13]. A vibração de todo o corpo constitui um fator de risco nos ambientes laborais, mas não existe uma dose segura convencional [15, 23–30]. A partir de 1997 foi inserido o Anexo B na ISO 2631-1, que contém um guia de orientação para efeitos à saúde [6]. O guia apresentado no anexo do padrão ISO mencionado consiste em um gráfico log-log de aceleração *versus* tempo que apresenta três zonas de orientação, que são de efeitos à saúde não presumido (1), de cautela (2) e provável (3), que podem ser observadas na Figura 5. Os valores que constituem os limites superiores e inferiores

²O VDV_2 é um limite que depende do órgão legislador do país que queira adotar essa métrica [18].

da zona de cautela estão descritos na Tabela 1, que mostra também os valores de eVDV, que, segundo o Anexo C da própria norma ISO 2631-1 (1997) [6] (que trata de conforto e percepção), é a dose de vibração recebida após um dia de exposição.

Tabela 1: Valores da zona de cautela [13].

| Tempo limite | r.m.s. [$m \cdot s^{-2}$] | | eVDV [$m \cdot s^{-1,75}$] | |
|--------------|-----------------------------|--------------|------------------------------|------------|
| | Superior | Inferior | Superior | Inferior |
| 10 min | 6,000 | 3,000 | 17 | 8,5 |
| 1h | 2,449 | 1,225 | 17 | 8,5 |
| 2h | 1,732 | 0,866 | 17 | 8,5 |
| 4h | 1,225 | 0,612 | 17 | 8,5 |
| 8h | 0,866 | 0,433 | 17 | 8,5 |
| 16h | 0,612 | 0,306 | 17 | 8,5 |
| 24h | 0,500 | 0,250 | 17 | 8,5 |

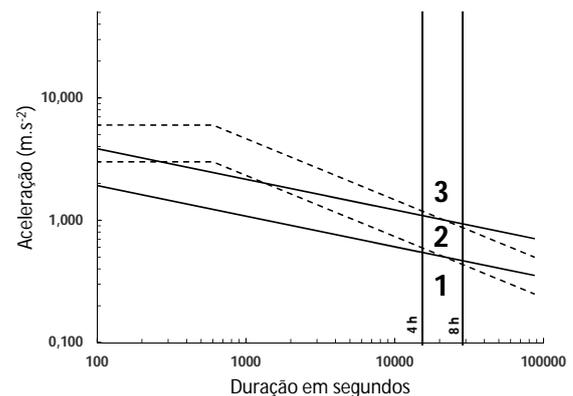


Figura 5: Zonas de precaução de orientação de saúde, efeitos à saúde não presumido (1), de cautela (2) e provável (3) (adaptado da ISO 2631 (1997) [6]).

Em relação à legislação analisada de 190 países no mundo, 58 adotam limites legais para vibração de corpo inteiro e, dentre estes, 88% (51) adotam apenas o método r.m.s. para avaliar a vibração de corpo inteiro, como pode-se ver na Tabela 2, que apresenta os valores limites e o respectivo padrão metodológico adotados em cada país [10].

Apesar do uso do VDV ser adequado e recomendado pelo padrão ISO para avaliar vibrações complexas, com sinais contendo choques e solavancos de alta amplitude de forma ocasional ou intermitentes [12, 31, 32], apenas 12% (7) dos países adotam também o valor de dose de vibra-

Tabela 2: Limites de exposição ocupacional no mundo — Parte 1/2 [10].

| País | Aceleração (a_w) | Valor de Dose de Vibração (VDV) | Padrão adotado |
|---------------|--|---------------------------------|--------------------------------------|
| Albânia | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Alemanha | 0,8 m/s ² (Z) 1,15 m/s ² (X e Y) | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Argentina | Por bandas de 1/3 de oitava | Não adota | ISO 2631-1:1985 |
| Austrália | 1,15 m/s ² | Não adota | AS2670 - 2001* |
| Áustria | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Bélgica | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Bielorrússia | Por bandas de 1/3 de oitava | Não adota | Não informado |
| Brasil | 1,1 m/s ² | 21 m/s ^{1,75} | NHO 09 |
| Bulgária | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Canadá | 0,866 m/s ² | 17 m/s ^{1,75} | ACGIH* |
| Chile | 0,63 m/s ² (Z) 0,45 m/s ² (X e Y) | Não adota | Não informado |
| China | Por bandas de 1/3 de oitava | Não adota | Não informado |
| Chipre | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Croácia | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Dinamarca | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| El Salvador | 0,63 m/s ² (Z) 0,45 m/s ² (X e Y) | Não adota | Não informado |
| Eslováquia | 1,15 m/s ² | Não adota | STN ISO 2631-1: 1999* |
| Eslovênia | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Espanha | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Estônia | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:2002 EVS-EN 14253:2004 |
| Finlândia | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| França | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Grécia | 1,15 m/s ² | 21 m/s ^{1,75} | ISO 2631-1:1997 |
| Hungria | 1,15 m/s ² | Não adota | MSZ ISO 2631-1:2002* |
| Índia | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Indonésia | 0,8661 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Irlanda | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Islândia | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Itália | 1 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Japão | 0,35 m/s ² | Não adota | JIS B 7760-2:2004* |
| Kosovo | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Letônia | 1,15 m/s ² | 21 m/s ^{1,75} | LVS ISO 2631-1: 2003* |
| Liechtenstein | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Lituânia | Por bandas de 1/3 de oitava | Não adota | LST ISO 2631-1: 2004* |
| Luxemburgo | 1,15 m/s ² | 21 m/s ^{1,75} | ISO 2631-1:1997 |
| Macedônia | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Malásia | Por bandas de 1/3 de oitava | Não adota | ISO 2631-1:1985 |
| Malta | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| México | Por bandas de 1/3 de oitava | Não adota | ISO 2631-1:1985 |
| Moldávia | 1,15 m/s ² | 21 m/s ^{1,75} | ISO 2631-1:1997 |
| Noruega | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Nova Zelândia | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Países Baixos | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Panamá | Por bandas de 1/3 de oitava | Não adota | ISO 2631-1:1985 |
| Peru | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Polônia | 0,5 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |

Tabela 2: Limites de exposição ocupacional no mundo — Parte 2/2 [10].

| País | Aceleração (a_w) | Valor de Dose de Vibração (VDV) | Padrão adotado |
|------------------|--|---------------------------------|---------------------|
| Portugal | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Reino Unido | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| República Tcheca | 0,1 m/s ² (Z) 0,5 m/s ² (X e Y) | Não adota | Não informado |
| Romênia | 1,15 m/s ² | 21 m/s ^{1,75} | SR ISO 2631-1:2000* |
| Rússia | Por bandas de 1/3 de oitava | Não adota | Não informado |
| Sérvia | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Suécia | 1,1 m/s ² | Não adota | SS-ISO 2631-1:1998 |
| Suíça | 0,8 m/s ² (Z) | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Turquia | 1,15 m/s ² | Não adota | ISO 2631-1:1997 |
| Ucrânia | Por bandas de 1/3 de oitava | Não adota | Não informado |
| Venezuela | Por bandas de 1/3 de oitava | Não adota | ISO 2631-1:1974 |
| Vietnã | Por bandas de 1/3 de oitava | Não adota | Não informado |

* Padrão idêntico à ISO 2631-1997

ção (VDV), de forma complementar ao método básico, conforme preconiza o padrão ISO. Com relação ao valor adotado, pode-se verificar que 67,2% dos limites adotados nos países superam a zona de cautela do guia contido no Anexo B do padrão ISO de 1997, para os que adotam essa versão.

3.5 Dose de exposição diária

A dose de exposição diária adimensional a um dado risco, seja ele químico, físico ou biológico, é utilizada amplamente por órgãos técnicos de higiene ocupacional e está inserida praticamente em todas as legislações que adotam limites de exposição ocupacional. Esse tipo de método é uma forma simples e rápida de comparar o risco de exposição em um dia de trabalho e, além disso, é de fácil entendimento por empregadores e trabalhadores.

3.5.1 Dose de químicos

São considerados agentes químicos os gases, vapores, névoas, neblinas, fumos e poeiras, presentes no ar em ambientes laborais. Atualmente, são determinados limites de exposição ocupacional para mais de 700 substâncias e, quando uma ou mais delas causarem efeitos toxicológicos similares sobre um mesmo sistema ou órgão, um valor de dose é aplicado [13, 33, 34]. Considerando-se a presença de n substâncias,

essa dose química (DQ) é calculada por:

$$DQ = \frac{C_1}{T_2} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \quad , \quad (10)$$

em que C é a concentração presente e T o limite de cada substância.

3.5.2 Dose de ruído

Uma dose de ruído é utilizada por todos os países que adotam limites legais para esse distúrbio. Essa dose é prevista na norma IEC 61672-1, que define que o nível de exposição ao ruído (NR), sendo calculado pela equação [35]:

$$NR = L_{Aeq} + 10 \cdot \log \left(\frac{C}{T} \right) \quad [\text{dB}] \quad , \quad (11)$$

na qual L_{Aeq} é o nível de referência ruído para um tempo máximo permitido T , e C é o tempo de exposição medido ou estimado. A razão entre os tempos de exposição e máximo permitido constitui uma dose adimensional, nesse caso chamada dose de ruído (DR). Então, se um ou mais períodos de exposição são observados, é conveniente aplicar [13, 36]:

$$DR = \left(\frac{C_1}{T_2} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n} \right) [\%] \quad , \quad (12)$$

na qual considera-se C o tempo de exposição e T o tempo limite estabelecido a um dado nível de ruído.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando todo o contexto já mencionado relativo à avaliação de vibrações, verificou-se que as métricas existentes são de difícil aplicação, sendo assim pouco adotadas para fins de regulamentações, e não refletem com exatidão os efeitos provocados pelas vibrações de corpo inteiro, ao contrário do que ocorre com químicos e ruído.

Assim, neste artigo tem-se a proposta de utilizar um cálculo equivalente ao que é feito com os outros tipos de exposição, chegando-se então à **Dose de vibração**, que será apresentada nesta seção e, em seguida, será aplicada em alguns exemplos.

4.1 Dose de vibração

Atualmente, para a exposição humana a vibrações complexas, em termos de dose é utilizado o VDV, que tem uma função equivalente às doses de ruído e químico. A dose de vibração demonstra o risco comparando o valor acumulado com um único valor de referência e, quando o valor for ultrapassado para qualquer que seja o tempo de exposição, o risco é caracterizado. A dose de vibração não é adimensional, já que sua unidade é dada em $m \cdot s^{-1,75}$ quando calculada na quarta potência, ou em $m \cdot s^{-1,5}$ quando calculada na segunda potência, podendo também a unidade temporal ser denotada por hora ou até anos [6, 7, 37].

Apesar disso, a vibração tem características análogas ao ruído, inclusive podendo ser determinada em decibéis. A vibração na segunda potência (r.m.s.) tem mesma dependência de tempo de 3 dB que o ruído, como definido na Seção 3.3 deste artigo. Apesar da similaridade, a dose adimensional do ruído representa melhor o nível de risco. Por exemplo, um valor de 88 dB(A) em termos de dose equivale a 200%, ou seja, uma exposição dessa magnitude está o dobro do recomendado. Contudo, para a vibração já não se consegue essa percepção. Por exemplo, uma exposição a $25 m \cdot s^{-1,75}$ equivale ao dobro do recomendado, no entanto a métrica adotada não aparenta esse nível de risco. Além disso, a

métrica utilizada atualmente não permite também uma boa percepção de similaridade entre os eixos, visto que o padrão recomenda um valor total de vibração complementar quando os eixos forem compatíveis.

Por exemplo um valor de aceleração de $0,75 m/s^2$ de um dado eixo representa linearmente mais de 60% de outro com valor de $1,15 m/s^2$, e esses dois eixos são considerados similares pela legislação do Chile, por exemplo, que adota essa lógica. No entanto, o valor representa menos de 45% quando considera-se a dependência de tempo.

Com base nas características da vibração e na dependência de tempo definida na Seção 3.3, este trabalho propõe-se a idealizar uma dose de vibração (DV) equivalente à de ruído, sendo esta calculada, para cada i -ésima direção, por:

$$DV_i(\%) = \left[\frac{(C_1)_i}{(T_1)_i} + \frac{(C_2)_i}{(T_2)_i} + \dots + \frac{(C_n)_i}{(T_n)_i} \right], \quad (13)$$

em que $(C_n)_i$ é o tempo total de exposição ao nível de vibração e $(T_n)_i$ é o tempo máximo diário permitido ao nível de vibração, com ambos sendo definidos para a direção i , que pode ser a direção axial x , y ou z . Quando os eixos forem similares entre si, uma soma simples entre o valor de cada eixo, pode ser aplicada:

$$DV_{total}(\%) = [DV_x + DV_y + DV_z]. \quad (14)$$

O valor total de dose obtido equivale à soma quadrática dos valores r.m.s. previstos no padrão ISO. Para conversão do valor de dose em aceleração normalizada r.m.s., conforme definido no padrão ISO, idealiza-se o seguinte cálculo:

$$A_I(8)_{rms} = LEO \cdot K_j \sqrt{\frac{DV_i(\%)}{T_0}} [m \cdot s^{-2}], \quad (15)$$

no qual $A_I(8)_{rms}$ é a exposição diária à vibração na direção $I = x, y$ ou z , T_0 é a jornada padrão em horas, minutos ou segundos, K_j é o fator de conversão de tempo: $K_1 = 0,283$ (horas), $K_2 = 2,19$ (minutos) e $K_3 = 16,97$ (segundos), e LEO é o limite de exposição ocupacional. Para converter o valor de dose para métrica VDV, que é

utilizada para avaliar vibrações complexas com incidências de picos no sinal, propõe-se um cálculo de conversão de dose com dependência de tempo r.m.q. para:

$$VDV_I = LEO \cdot K_j \left(\frac{DV_i(\%)}{T_0} \right)^{\frac{1}{4}} \left[m \cdot s^{-1,75} \right], \quad (16)$$

em que VDV_I é a exposição diária à vibração na direção $I = x, y$ ou z , e K_j é o fator de conversão de tempo: $K_1 = 0,532$ (horas), $K_2 = 1,48$ (minutos) e $K_3 = 4,12$ (segundos).

Os valores de K_1 , K_2 e K_3 nas Equações (15) e (16) foram calculadas fazendo-se substituições com as Equações (1), (3) e (8).

4.2 Aplicação

Com intuito de auxiliar empregadores na implementação da Diretiva 2002/44 / CE [14], o ISVR (*Institute of Sound and Vibration Research*) da Universidade de Southampton, juntamente com o HSL (*Health and Safety Laboratory*) e o HSE (*Health and Safety Executive*), todos do Reino Unido, e o INRS (*Institut National de Recherche et de Sécurité*), da França, produziram um guia, definido como “*EU Good Practice Guide WBV*”. O guia foi produzido para facilitar a avaliação dos riscos da exposição à vibração de todo o corpo, a identificação de controles para eliminar ou reduzir a exposição e a introdução de sistemas para prevenir o desenvolvimento e progressão de lesões [11]. No Anexo E do guia são apresentados 5 exemplos de exposição à vibração, sendo que os Exemplos 1 e 2 são destinados à aplicação do método $A(8)$ apresentado na Seção 3 deste artigo e os Exemplos 3 e 4 apresentam a aplicação do método VDV. Os quatro exemplos são apresentados aqui utilizando-se a dose sugerida na Seção 4.1, para demonstrar a coerência na aplicabilidade da proposta sugerida. Os resultados serão comparados com valores de dose mostrados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores limites segundo Griffin et al. [11].

| $A(8)$ [m/s^2] | DV_i (%) | VDV [$m/s^{1,75}$] | DV_i (%) |
|--------------------|------------|----------------------|------------|
| 1,15 | 100 | 21 | 100 |
| 0,5 | 19 | 9,1 | 3,5 |

Exemplo 1: Um operador de uma cortadora de árvores expõe-se por 6,5 horas aos seguintes níveis de vibração em cada eixo ortogonal:

$$x = 0,28 \text{ m/s}^2; \quad y = 0,56 \text{ m/s}^2; \quad e \quad z = 0,25 \text{ m/s}^2.$$

Assim, utilizando-se a Equação (13) para cada eixo, tem-se que:

$$DV_x = 100 \cdot \frac{6,5}{134,95} = 4,8\% ,$$

$$DV_y = 100 \cdot \frac{6,5}{33,74} = 19,3\%$$

$$DV_z = 100 \cdot \frac{6,5}{169,28} = 3,8\% .$$

Como a exposição diária à vibração é relativa ao maior valor de dose encontrado entre os três eixos, no caso desta situação o eixo y corresponde à exposição. Para converter o valor de dose em aceleração ponderada em m/s^2 e comparar com o nível de ação de $0,5 \text{ m/s}^2$ da diretiva europeia conforme exemplo original do guia, aplica-se a Equação (15):

$$A_{y(8)_{rms}} = 1,15 \cdot 0,283 \sqrt{\frac{19,3}{8}} = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} .$$

Exemplo 2: Um motorista de caminhão opera uma pequena empilhadeira por cerca de 1h e depois dirige um caminhão por 6h, estando submetido à seguinte exposição à vibração:

| Caminhão de entrega | Empilhadeira |
|-------------------------------|-------------------------------|
| eixo $x = 0,70 \text{ m/s}^2$ | eixo $x = 0,28 \text{ m/s}^2$ |
| eixo $y = 0,42 \text{ m/s}^2$ | eixo $y = 0,42 \text{ m/s}^2$ |
| eixo $z = 0,90 \text{ m/s}^2$ | eixo $z = 0,30 \text{ m/s}^2$ |

A exposição diária à vibração em termos da dose proposta é calculada pela Equação (13),

assim:

$$DV_x = 100 \cdot \left[\frac{6}{134,95} + \frac{1}{21,59} \right] = 9,08\% ,$$

$$DV_y = 100 \cdot \left[\frac{6}{59,98} + \frac{1}{59,98} \right] = 11,67\% ,$$

$$DV_z = 100 \cdot \left[\frac{6}{117,56} + \frac{1}{13,1} \right] = 12,74\% \text{ e}$$

$$DV_{\text{total}} = [9,08\% + 11,67\% + 12,74\%] = 33,45\% .$$

Nesta situação, os eixos são similares, logo é recomendado que se aplique a Equação (14) para encontrar o valor de dose da exposição. Convertendo-se o valor de dose total em termos de r.m.s., tem-se, pela Equação (15), que:

$$A(8)_{\text{total}} = 1,15 \cdot 0,283 \sqrt{\frac{33,41}{8}} \\ = 0,665 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} .$$

Exemplo 3: Um operador de uma cortadora de árvores expõe-se por 6,5 horas, com tempo de mensuração de 2 horas, aos seguintes níveis de VDV em cada eixo ortogonal:

$$x = 4,2 \text{ m/s}^{1,75}; y = 7 \text{ m/s}^{1,75} \text{ e } z = 4 \text{ m/s}^{1,75} .$$

A partir de Equação (13), tem-se que:

$$DV_x = 100 \cdot \left[\frac{6,5}{1250} \right] = 0,52\% ,$$

$$DV_y = 100 \cdot \left[\frac{6,5}{162} \right] = 4,01\% \text{ e}$$

$$DV_z = 100 \cdot \left[\frac{6,5}{1519,4} \right] = 0,43\% .$$

Nesse caso, o maior valor de dose foi calculado para o eixo y. Para converter o valor de dose em valores de VDV e comparar com o nível de ação 9,5 m/s^{1,75} da diretiva europeia, conforme exemplo original do guia, aplica-se a Equação (16),

logo:

$$VDV_y = 21 \cdot 0,532 \left(\frac{4}{8} \right)^{\frac{1}{4}} = 9,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1,75} .$$

Exemplo 4: Um motorista de caminhão opera uma pequena empilhadeira por cerca de 1h e depois dirige um caminhão por 6h, estando exposto aos seguintes níveis de VDV:

| Caminhão de entrega | Empilhadeira |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| eixo x = 5,6 m/s ^{1,75} | eixo x = 8,4 m/s ^{1,75} |
| eixo y = 7,0 m/s ^{1,75} | eixo y = 5,6 m/s ^{1,75} |
| eixo z = 6,0 m/s ^{1,75} | eixo z = 12,0 m/s ^{1,75} |

O tempo de mensuração da empilhadeira foi de 1 hora e do caminhão de 4 horas. Assim, aplica-se a Equação (13) para cada eixo e então a Equação (16) para o eixo de maior valor (no caso, z), assim:

$$DV_x = 100 \cdot \left[\frac{6}{791} + \frac{1}{39,1} \right] = 3,32\% ,$$

$$DV_y = 100 \cdot \left[\frac{6}{324} + \frac{1}{197,75} \right] = 2,36\% ,$$

$$DV_z = 100 \cdot \left[\frac{6}{600,25} + \frac{1}{9,38} \right] = 11,66\% \text{ e}$$

$$VDV_z = 21 \cdot 0,532 \left(\frac{11,66}{8} \right)^{\frac{1}{4}} \\ = 12,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1,75} .$$

Os resultados de DV_i (%) apresentados nos exemplos, podem ser comparados diretamente com os valores limites da Tabela 3. Portanto para o Exemplo 1 os valores limites inferiores de dose de vibração que são definidos como “nível de ação” que é o nível mínimo de exposição para aplicação de controles não são superados. Nos Exemplos 2, 3 e 4 os resultados excedem os níveis de ação nas situações exemplificadas, logo devem-se aplicar ações de monitoramento médico dos expostos [11].

5. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados sugerem que uma dose adimensional, analogamente utilizada tanto para ruído quanto para químicos, poderia ser adotada para vibração de corpo inteiro e, possivelmente, para vibração transmitida para mãos e braços. A dose em valores de percentuais apresenta forma de cálculo mais simples e de fácil interpretação pelos profissionais de higiene e segurança do trabalho, assim como por trabalhadores e empregadores. Os medidores pessoais de vibração estão sendo desenvolvidos com base na ISO 8041-2 (2021): *Personal vibration exposure meters*, e podem utilizar os canais para calcular a dose de vibração na quarta e segunda potência para estimar o risco de exposição no trabalho e emitir alerta de sobre carga de exposição. Com relação aos limites de exposição ocupacional para vibração de corpo inteiro, pode-se verificar que a maioria dos países estudados, cerca de 96,6%, utilizam o eixo dominante, conforme definido no padrão ISO 2631-1 (1997). Cerca de 98,0%, adotam apenas o método básico e apenas sete deles adotam de forma complementar o método da quarta potência, o que constitui um problema, pois os métodos complementares são indicados no padrão ISO para melhor avaliar sinais complexos e assim ter uma melhor previsão de risco ao trabalhador.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha esposa e ao meu filho por compreenderem a minha ausência em alguns momentos para dedicar-me a esse trabalho (Sousa, V. C.). Agradeço ao Valdiney pelo convite e pela confiança e ao professor William Fonseca pelo apoio (Teixeira, J. A. M. S.).

REFERÊNCIAS

1. RAO, Singiresu S. *Vibrações mecânicas*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. ISBN 978-8576052005.
2. MANSFIELD, Neil J. *Human response to vibration*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005. OCLC: 62208357. ISBN 978-0203487228. Dis-

ponível em: <http://site.ebrary.com/id/10162776>.

3. GRIFFIN, Michael J. *Handbook of human vibration*. 1. print. paperback ed. ed. London: Acad. Press, 1996. OCLC: 39151533. ISBN 978-0123030405, 978-0123030412.

4. COMITÉ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO. *EN 14253 - Mechanical vibration – Measurement and calculation of occupational exposure to whole-body vibration with reference to health – Practical guidance*. Comité Europeu de Normalização, 2008. Disponível em: <https://webstore.ansi.org/standards/din/din142532008>.

5. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 2631-1 – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements*. 1985. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/7611.html>.

6. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 2631-1:1997/AMD 1:2010 – Mechanical vibration and shock – Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 1: General requirements – Amendment 1*. 2010. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/45604.html>.

7. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. *BS 6841 – Guide to Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration and repeated shock*. [S.l.]: British Standards Institution, 1987.

8. STAYNER, R M. *Whole-body vibration and shock: A literature review: Extension of a study of overtravel of seat suspensions*. Sudbury, Reino Unido: HSE Books, 2001. ISBN 0717620042.

9. GRIFFIN, Michael J. Measurement and evaluation of whole-body vibration at work. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 6, n. 1, p. 45–54, jul. 1990. ISSN 01698141. doi: [10.1016/0169-8141\(90\)90049-8](https://doi.org/10.1016/0169-8141(90)90049-8). Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0169814190900498>.

10. SOUSA, Valdiney Camargos de. Limites de vibração de corpo inteiro no mundo. *Interna-*

tional Archives of Occupational and Environmental Health, IV, n. 7, p. 94–116, 2021. ISSN 2595-847. doi: [0.33637/2595-847x.2021-90](https://doi.org/10.33637/2595-847x.2021-90).

11. GRIFFIN, M. J.; HOWARTH, H. V. C.; PITTS, P. M.; FISCHER, S.; KAULBARS, U.; DONATI, P. M.; BERETON, P. F. *Guide to good practice on Whole-Body Vibration*. Institute of Sound and Vibration Research University of Southampton, U.K., 2008. Disponível em: http://resource.isvr.soton.ac.uk/HRV/VIBGUIDE/2008_11_08%20WBV_Good_practice_Guide%20v6.7h%20English.pdf.

12. BURGESS-LIMERICK, Robin. Measuring and Managing Workplace Whole-Body Vibration Exposures. *Acoustics Australia*, v. 44, n. 1, p. 129–135, abr. 2016. ISSN 0814-6039, 1839-2571. doi: [10.1007/s40857-015-0032-5](https://doi.org/10.1007/s40857-015-0032-5).

13. AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. *TLVs e BEIs*: baseados na documentação dos limites de exposição ocupacional (TLVs) para substâncias químicas e agentes físicos & índices biológicos de exposição (BEIs). Cincinnati, EUA: ACGIH Signature Publications, 2020. ISBN 978-1607261124.

14. EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration). *Official Journal of the European Communities*, n. L177, p. 13–19, 2002. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A32002L0044>.

15. CATION, Sarah; JACK, Robert; OLIVER, Michele; DICKEY, James P.; LEE-SHEE, Natasha K. Six degree of freedom whole-body vibration during forestry skidder operations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 38, n. 9-10, p. 739–757, set. 2008. ISSN 01698141. doi: [10.1016/j.ergon.2007.10.003](https://doi.org/10.1016/j.ergon.2007.10.003).

16. GRIFFIN, Michael J.; WHITHAM, Eleri M. Discomfort produced by impulsive whole-body vibration. *The Journal of the Acoustical Society*

of America, v. 68, n. 5, p. 1277–1284, nov. 1980. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/1.385121](https://doi.org/10.1121/1.385121).

17. GRIFFIN, Michael J.; WHITHAM, Eleri M. Time dependency of whole-body vibration discomfort. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 68, n. 5, p. 1522–1523, nov. 1980. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/1.385078](https://doi.org/10.1121/1.385078).

18. GRIFFIN, Michael J. Vibration dose values for whole-body vibration: some examples. *United Kingdom Informal Group Meeting on Human Response to Vibration held at Heriot-Watt University*, Edimburgo, Escócia, p. 244 – 263, 21/22 de setembro de 1984. Disponível em: https://eprints.soton.ac.uk/430080/1/3080U_MJG_1984.pdf.

19. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 10326-1 – Mechanical vibration – Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration – Part 1: Basic requirements*. 2016. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/67659.html>.

20. GRIFFIN, Michael J. *Chapter 50 - Vibration*. Disponível em: <http://www.ilocis.org/documents/chpt50e.htm>.

21. BONGERS, Paulien; BOSHUIZEN, Hendrike Cornelie. *Back disorders and whole-body vibration at work*. Alblasterdam: Kanter, 1990. OCLC: 46209272. ISBN 978-9090036687.

22. BÖRJE, Rehn; TOHR, Nilsson; OLOFSSON, Bodil; LUNDSTRÖM, Ronnie. Whole-body vibration exposure and non-neutral neck postures during occupational use of all-terrain vehicles. *The Annals of occupational hygiene*, 2005. ISSN 1475-3162. doi: [10.1093/annhyg/meh077](https://doi.org/10.1093/annhyg/meh077).

23. BOVENZI, Massimo. A Longitudinal Study of Low Back Pain and Daily Vibration Exposure in Professional Drivers. *INDUSTRIAL HEALTH*, v. 48, n. 5, p. 584–595, 2010. ISSN 0019-8366, 1880-8026. doi: [10.2486/indhealth.MSWBVI-02](https://doi.org/10.2486/indhealth.MSWBVI-02).

24. BOVENZI, Massimo; ZADINI, Antonella. Self-Reported Low Back Symptoms in Urban Bus Drivers Exposed to Whole-Body Vibration. *Spine*, v. 17, n. 9, p. 1048–1059, set.

1992. ISSN 0362-2436. doi: [10.1097/00007632-199209000-00007](https://doi.org/10.1097/00007632-199209000-00007).

25. LUKMAN, Khamisah Awang; JEFFREE, Mohammad Saffree; RAMPAL, Krishna Gopal. Lower back pain and its association with whole-body vibration and manual materials handling among commercial drivers in Sabah. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, v. 25, n. 1, p. 8–16, jan. 2019. ISSN 1080-3548, 2376-9130. doi: [10.1080/10803548.2017.1388571](https://doi.org/10.1080/10803548.2017.1388571).

26. CHARACTERIZATION of the Frequency and Muscle Responses of the Lumbar and Thoracic Spines of Seated Volunteers During Sinusoidal Whole Body Vibration. v. 136, p. 101002, out. 2014. ISSN 0148-0731, 1528-8951. doi: [10.1115/1.4027998](https://doi.org/10.1115/1.4027998).

27. ZHANG, Chaofei; MENG, Xiangjie; ANDERSON, Dennis E.; WANG, Wenjun; TAO, Xin; CHENG, Bo. Effects of stretch reflex on back muscle response during sinusoidal whole body vibration in sitting posture: A model study. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 71, p. 103–110, maio 2019. ISSN 01698141. doi: [10.1016/j.ergon.2019.02.005](https://doi.org/10.1016/j.ergon.2019.02.005).

28. LINGS, S.; LEBOEUF-YDE, C. Whole-body vibration and low back pain: a systematic, critical review of the epidemiological literature 1992-1999. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 73, n. 5, p. 290–297, jun. 2000. ISSN 0340-0131, 1432-1246. doi: [10.1007/s004200000118](https://doi.org/10.1007/s004200000118).

29. BURSTRÖM, Lage; NILSSON, Tohr; WAHLSTRÖM, Jens. Whole-body vibration and the risk of low back pain and sciatica: a systematic review and meta-analysis. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, v. 88, n. 4, p. 403–418, maio 2015. ISSN 0340-0131, 1432-1246. doi: [10.1007/s00420-014-0971-4](https://doi.org/10.1007/s00420-014-0971-4).

30. WIKSTRÖM, Bengt-Olov; KJELLBERG, Anders; LANDSTRÖM, Ulf. Health effects of long-term occupational exposure to whole-body vibration: A review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, v. 14, n. 4, p. 273–292,

dez. 1994. ISSN 0169-8141. doi: [10.1016/0169-8141\(94\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0169-8141(94)90017-5).

31. BARRERO, Lope H; CIFUENTES, Manuel; RODRÍGUEZ, Andrés C; REY-BECERRA, Estefany; JOHNSON, Peter W; MARIN, Luz S; PIEDRAHITA, Hugo; DENNERLEIN, Jack T. Whole-body vibration and back pain-related work absence among heavy equipment vehicle mining operators. *Occupational and Environmental Medicine*, v. 76, n. 8, p. 554–559, ago. 2019. ISSN 1351-0711, 1470-7926. doi: [10.1136/oemed-2019-105914](https://doi.org/10.1136/oemed-2019-105914).

32. LYNAS, Danellie; BURGESS-LIMERICK, Robin. Whole-Body Vibration Associated with Dozer Operation at an Australian Surface Coal Mine. *Annals of Work Exposures and Health*, v. 63, n. 8, p. 881–889, out. 2019. ISSN 2398-7308, 2398-7316. doi: [10.1093/annweh/wxz054](https://doi.org/10.1093/annweh/wxz054).

33. Health and Safety at the Center of Our World. *Combined Toxic Effects of Chemicals*. Acesso em 31/01/2021. Disponível em: <http://ohshub.com/combined-toxic-effects-of-chemicals/>.

34. MUMTAZ, Moiz (Ed.). *Principles and practice of mixtures toxicology*. Weinheim, Alemanha: Wiley-VCH, 2010. OCLC: ocn489001693. ISBN 978-3527319923.

35. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. *IEC 61672-1 – Electroacoustics - Sound level meters - Part 1: Specifications*. 2013. Disponível em: <https://webstore.iec.ch/publication/5708>.

36. UNITED STATES DEPARTMENT OF LABOR. Occupational Safety and Health Administration, *Noise exposure computation*. Acesso em 31/01/2021. Disponível em: <https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1910/1910.95AppA>.

37. SILVA, Luiz Felipe; MENDES, René. Exposição combinada entre ruído e vibração e seus efeitos sobre a audição de trabalhadores. *Revista de Saúde Pública*, v. 39, n. 1, p. 9–17, jan. 2005. ISSN 0034-8910. doi: [10.1590/S0034-89102005000100002](https://doi.org/10.1590/S0034-89102005000100002).

Atenuadores para controle de ruído em sistemas de ar-condicionado: estudos com a utilização de materiais reaproveitados

Felipetto, T. J.¹; Oliveira, M. F.²; Rossatto, F. C.²; Kerber, L. A.²; Heissler, R. F.²

¹ Metalurgica Sevik, São Leopoldo, RS, tais.felipetto@gmail.com

² itt Performance, Unisinos, São Leopoldo, RS, {mariaon, frossatto, lorenzoak, rheissler} @unisinos.br

Resumo

As máquinas que condicionam o ar provocam sons durante seu funcionamento, devido aos itens que as compõem e a movimentação de fluido ao longo dos ramais que distribuem o ar. Esses ruídos, quando intensos, ocasionam desgaste físico e mental nas pessoas, dependendo do nível sonoro emitido pelos aparelhos. Como estão presentes no cotidiano de inúmeros trabalhadores e estudantes, torna-se necessário um controle acústico rigoroso a fim de reduzir prejuízos causados por sua intensidade. O objetivo deste trabalho foi identificar alterações em atenuadores acústicos empregados em sistemas de HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*) para a incorporação de materiais fono-absorventes reaproveitados. Para isso, foram identificadas variáveis que indicam a eficiência de atenuadores acústicos para sistemas de ar-condicionado, além de caracterizar as principais formas de emissão e propagação do som em termos de níveis de pressão sonora e composição espectral de um sistema típico de HVAC. Também foram analisados os materiais fono-absorventes utilizados em sistemas HVAC conforme seu coeficiente de absorção. A partir das análises, pode-se concluir que com o uso de materiais fono-absorventes reaproveitados é possível ter coeficientes de absorção muito próximos aos resultados de materiais primários, além de conseguir maiores níveis de atenuação em diferentes bandas de frequência.

Palavras-chave: atenuador acústico, sistemas HVAC, material fono-absorvente.

PACS: 43.55.Rg, 43.50.Jh, 43.28.Py, 43.55.Dt.

Attenuators for noise control in air conditioning systems: case study with the use of re-used sound-absorbing materials.

Abstract

The HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) machines cause noise during their operation, due to the items that compose them and the movement of the fluid along the branches that distribute the air. These noises, when intense, cause physical and mental strain on people, depending on the sound level emitted by the devices. As they are present in the daily lives of count-less workers and students, strict sound control is necessary in order to reduce damage caused by sound intensity. This work aims to identify changes in acoustic attenuators used in HVAC systems for the incorporation of reused sound-absorbing materials. For this, variables that indicate the efficiency of acoustic attenuators for air conditioning systems were identified, in addition to characterizing the main forms of emission and propagation of sound in terms of sound pressure levels and spectral composition of a typical HVAC system. The sound-absorbing materials used in HVAC systems were also analyzed according to their absorption coefficient. From the analyses, it can be concluded that with the use of reused sound-absorbing materials it is possible to have absorption coefficients very close to the results of primary materials, in addition to achieving higher levels of attenuation in different frequency bands.

Keywords: acoustic attenuator, HVAC systems, sound absorbing material.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas centrais de ar-condicionado, ventilação e exaustão projetados para empreendimentos multifuncionais, são importantes para contribuir com o conforto térmico dos usuários. Entretanto, esses sistemas emitem e propagam ruídos significativos durante seu funcionamento. Desse modo, faz-se necessária a implantação de atenuadores acústicos posicionados estrategicamente ao longo dos ramais de distribuição do ar, com o intuito de atenuar as ondas sonoras propagadas.

O incômodo causado pelo excesso de ruído percebido é verificado em diferentes situações, sendo também relacionado com problemas de saúde [1]. Entretanto, existem parâmetros e tolerâncias a serem atendidas, o que pode minimizar a insatisfação dos usuários em relação ao ambiente sonoro. Sendo assim, as preocupações emergentes relacionadas ao ruído passaram a ser assunto de interesse comum e diretamente ligado à preservação da qualidade de vida cotidiana [2].

Os potenciais problemas de ruído dos sistemas *Heating, Ventilation and Air Conditioning* – HVAC – são evidenciados por profissionais da área, que buscam soluções a cada novo projeto. No cenário atual, os equipamentos de atenuação acústica seguem as dimensões dos dutos que direcionam o fluido para ambientes a serem condicionados e possuem células internas de um formato padrão. Contudo, entendendo que a relação espacial, volumétrica e de formas impactam sobre a capacidade de atenuação das células fono-absorventes [3], faz-se necessário um estudo aprofundado sobre o tema.

Nesse contexto, este trabalho tem como tema o controle de ruído em sistemas de ar-condicionado central, sendo sua delimitação o uso de atenuadores acústicos para redução de ruídos no sistema. O objetivo consiste em identificar alterações em atenuadores acústicos empregados em sistemas de HVAC para a

incorporação de materiais fono-absorventes reaproveitados.

2. FUNDAMENTAÇÃO

Para que os níveis de ruído não sejam prejudiciais ao ouvido humano, é indispensável cumprir os parâmetros exigidos nas normas brasileiras, além de implantar dispositivos nos equipamentos, a fim de atenuar o ruído excessivo. Atualmente, a aplicação mais usual em sistemas fechados, é a de dispositivos que reduzem o ruído em ambientes e em máquinas.

A demanda de atenuadores acústicos é atendida por projetistas especializados, que dimensionam os equipamentos conforme seu propósito.

Os atenuadores de ruído, da mesma forma que os dutos, são fabricados com chapa de aço galvanizada, podendo ser em formato retangular ou circular, [4, 5], conforme Figura 1, sendo a espessura da chapa a ser utilizada definida pela ABNT NBR 16401-1:2008 [6] que



apresenta tabelas que relacionam pressão de ar interna com as dimensões de fabricação do duto.

Figura 1: Atenuador retangular e atenuador circular. (retirado de Berlinerluft [5]).

A conexão dos atenuadores com o ramal dos dutos é feita por meio de flanges nas suas extremidades, conforme detalhes indicados na ABNT NBR 16401-1:2008 [6]. Suas dimensões são de acordo com a frequência de som que se deseja atenuar, e a forma mais simples

de projeto é de um duto revestido internamente com material fono-absorvente incombustível [7], sendo a espessura deste material maior se a frequência do som a ser atenuado for menor [8]. A estrutura de um atenuador sonoro é autoportante, com células atenuadoras fixas ou removíveis do tipo gaveta. Dessa forma, a redução sonora ocorre durante a passagem do ar entre os vãos das células preenchidas com o material fono-absorvente [3,4].

Os sistemas de ar-condicionado são compostos por diferentes materiais que podem ter seu dimensionamento diversificado em função de algumas variáveis de projeto. O invólucro aplicado dentro do duto é comumente composto por material leve, como espumas e fibras, e tem o propósito de atenuar a transmissão do ruído [9]. O uso de atenuadores de ruído é considerado a segunda opção de maior eficiência no controle sonoro, já que esses equipamentos são empregados na trajetória do som. A primeira opção é a atuação na fonte, e a última, no receptor [10].

Somado a isso, há ainda o aumento na quantidade de consumo de materiais fono-absorventes e na geração de resíduos classificados como refugo no sistema produtivo. Essa situação, além dos impactos no meio ambiente, evidencia necessidade de espaços maiores da produção e a geração de custos com logística reversa. Nos atenuadores de ruído, os materiais fono-absorventes representam uma considerável parcela do custo de construção do sistema.

Embora efetivos, a grande escala de produção desses atenuadores trouxe questionamentos e aumentou a necessidade de variações que não são contempladas nos projetos de instalações, trazendo dificuldades em adaptar os projetos a situações mais específicas.

Relativamente novos no mercado nacional, devido a exigências normativas recentes, os atenuadores acústicos são muito indicados em projetos de ar-condicionado central. Entretanto, ainda não há abertura para especificações mais diversificadas do material, visto que no país os fabricantes são regionalizados e pouco

acessíveis. A utilização de métodos que possibilitem maior agilidade no trabalho com as possíveis variações que esses atenuadores podem sofrer, garantem a resposta de uma demanda solicitada pelo mercado atual, contribuindo positivamente para o desenvolvimento deste setor.

Entendendo que os critérios usados em projeto de atenuadores acústicos nacionais são pouco flexíveis e restritos, pretende-se estudar diferentes arranjos de construção deste mecanismo, para a busca de alternativas de produção com melhor aproveitamento dos materiais aplicados.

3. DESENVOLVIMENTO

Na Figura 2 são apresentadas as etapas deste estudo, interligando-as em um fluxograma. A primeira etapa do planejamento da pesquisa experimental traz a problemática trabalhada: “Como atender os parâmetros exigidos na fabricação de atenuadores acústicos para sistemas de ar-condicionado central, alterando seu dimensionamento e reaproveitando materiais fono-absorventes?”.

Após a formulação do problema do estudo, adotou-se a premissa de se manter a espessura das células dos atenuadores e as células construídas com material fono-absorvente reaproveitado com melhor aproveitamento de matéria prima. Sendo assim, foram testadas diferentes amostras, bem como a aplicação de materiais reaproveitados, a partir de ensaios para determinação do coeficiente de absorção sonora.

Na etapa seguinte, o desenvolvimento de protótipo ocorreu em dois momentos. Inicialmente, foram feitos testes em amostras com diferentes composições de materiais que poderiam compor o preenchimento das células do atenuador e, posteriormente, executadas algumas possibilidades de atenuadores, com variações no posicionamento do material. Por fim, foi proposto um atenuador acústico que também foi testado, assim como o atenuador padrão. A coleta de dados ocorreu durante

todo o processo de execução do protótipo e ensaios, com a posterior análise comparativa.

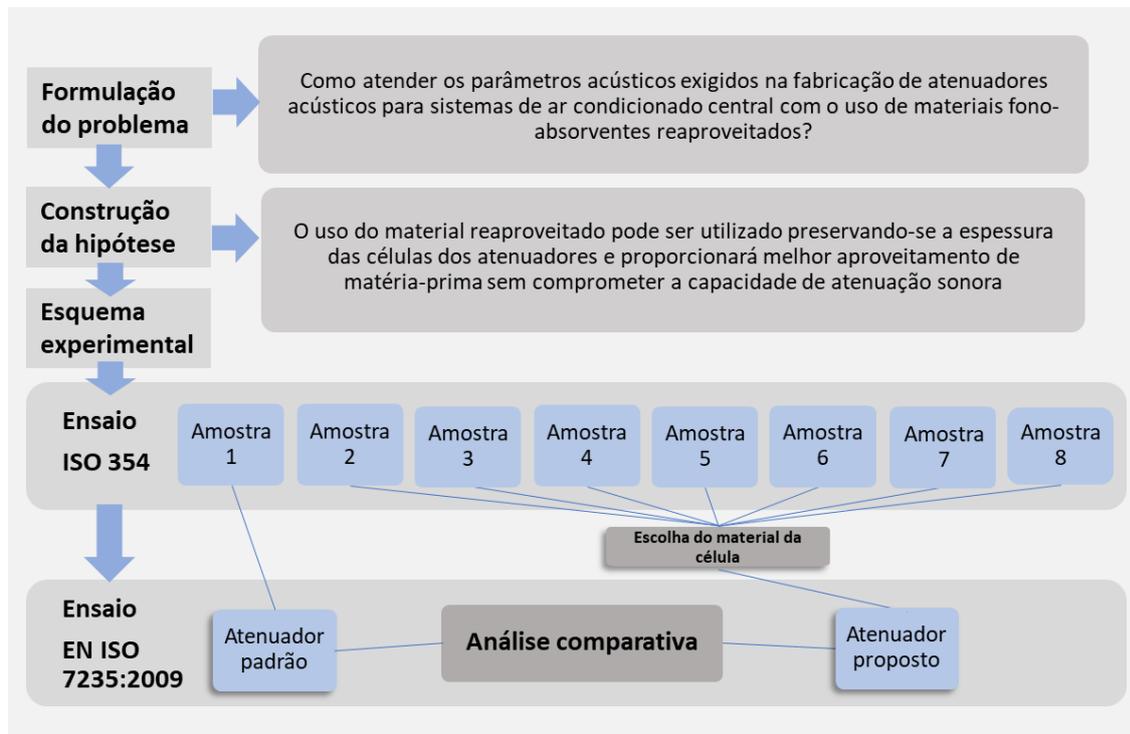


Figura 2: Fluxograma de planejamento das etapas da pesquisa experimental

3.1 Ensaio de absorção sonora

A presença de materiais de absorção aplicados no interior de cavidades de estruturas atua como meio de passagem de fluxo de ar, garantindo uma transmissão menor das ondas sonoras [11]. A espessura do material, sua densidade, bem como a presença de cavidade entre o material e a superfície aplicada são as propriedades que expressarão o desempenho de absorção de cada material, conforme cita Oiticica [12]. Sabendo o coeficiente de absorção desses materiais, é possível determinar a absorção da superfície proposta em virtude de sua área [13].

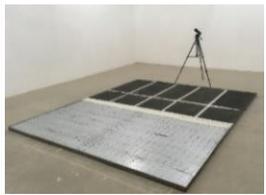
Foram ensaiadas oito possíveis composições de amostras para as células dos atenuadores acústicos. Os ensaios foram realizados no laboratório de acústica do itt Performance da Unisinos, em câmara reverberante, seguindo os procedimentos prescritos na norma ISO 354:2003 e os cálculos orientados pelas normas ISO 354:2003 e ISO 11654:1997.

A componente espectral de um sistema HVAC é variável, sendo o som emitido pelo ventilador nas bandas entre 125 Hz e 250 Hz. Ao longo dos ramais são verificados sons nas bandas de médias frequências e, na saída dos ramais, entre 1.000 Hz e 2.000 Hz. Dessa forma, a avaliação foi definida para essa gama de frequências. Sendo assim, para análise dos dados foram selecionadas as faixas de frequência por banda de oitavas (63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1.000 Hz e 2.000 Hz), que foram utilizadas para expressar os resultados.

As propostas para as amostras tiveram como base os materiais utilizados atualmente na fabricação desses equipamentos, bem como a aplicação de materiais que são descartados no processo.

Todas as amostras foram estruturadas por perfis metálicos aplicados ao longo do perímetro, de modo que a superfície lateral de cada amostra de material não ficasse exposta durante o ensaio. Foram oito composições de amostras, descritas na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição da composição das amostras.

| Amostra | Materiais de composição | Imagem do ensaio |
|---------|--|---|
| 01 | Painel de lã de vidro com véu de vidro em uma das faces, com espessura de 50 mm e densidade de 40 kg/m ³ . Comercialmente é conhecido como “Isosound” [18]. |  |
| 02 | Painel de lã de vidro com véu de vidro em uma das faces, espessura de 50 mm e densidade de 40 kg/m ³ (Isosound). Possui chapa zincada com 0,65 mm de espessura (chapa 24) em 50% da sua superfície. |  |
| 03 | Material fono-absorvente reaproveitado de retalhos de lã de vidro com véu de vidro em uma das faces, espessura de 50 mm e densidade de 40 kg/m ³ (Isosound) e TNT em sua superfície. |  |
| 04 | Painel de lã de vidro com véu de vidro em uma das faces, espessura de 50 mm e densidade de 40 kg/m ³ (Isosound). Possui painel perfurado em chapa galvanizada em 50% de sua superfície. |  |
| 05 | Idem a amostra 4, painel perfurado em chapa galvanizada em 100% de sua superfície. |  |
| 06 | Material reaproveitado de retalhos de lã de vidro, com uma camada de alumínio em uma das faces e TNT em sua superfície, com espessura de 38 mm e densidade de 30 kg/m ³ . |  |
| 07 | Material reaproveitado de retalhos de painéis rígidos de lã de vidro e comercialmente é conhecido como “Climaver” [19], com espessura de 25 mm e a densidade de 80 kg/m ³ . |  |
| 08 | Material reaproveitado de retalhos de espuma elastomérica, com espessura de 25 mm. |  |

A Amostra 01 é a composição padrão utilizada atualmente pelos fabricantes de atenuadores acústicos em todo Brasil. A Amostra 02 é produzida por alguns fabricantes quando o atenuador apresenta grandes dimensões, acima de 1 metro de comprimento, com o material fono-absorvente parcialmente exposto e parcialmente coberto pela chapa zincada.

A Amostra 03 foi testada como forma de aplicar os materiais fono-absorventes de menor dimensão, que atualmente são descartados, com revestimento de tecido TNT, para evitar o desprendimento de partículas de material. A Amostra 04 tem como base a composição padrão, com o uso de um painel perfurado na superfície do material fono-absorvente, com a finalidade de produzir o efeito de ressonador de Helmholtz para a atenuação dos sons em bandas de baixa frequência. Conforme cálculos teóricos [14], utilizou-se uma punção oblonga de 05×10 mm com distância de 7 cm entre os furos, tanto horizontalmente como verticalmente.

$$f_r = \left(\frac{10c}{2\pi}\right) \sqrt{\frac{P}{d(e + 1,6r)}} \quad (1)$$

em que c é a velocidade de propagação do som no ar (m/s); P é porcentagem de área perfurada (%); e é a espessura da placa perfurada (cm); r é o raio dos furos (cm); d é a espessura da câmara de ar (cm).

Ainda sobre a Amostra 04, também foi disposto o painel perfurado em toda a superfície da lã de vidro, a fim de verificar se haverá influência do material. A Amostra 05 teve a mesma composição da amostra 04, com 100% da superfície coberta pelo painel perfurado.

Por fim, as Amostras 06, 07 e 08 foram testadas com o intuito de utilizar os retalhos de lã de vidro aluminizado, o modelo Climaver e a espuma elastomérica, aplicadas em isolamento externo dos dutos de ar-condicionado central e que também sofrem descarte.

Para realização dos ensaios, as amostras foram montadas diretamente sobre o chão da câmara, que possui $59,80$ m² de área, sem considerar as irregularidades no piso. Aten-

tu-se para que nenhuma borda da amostra de teste ficasse a menos de 1 m de distância de qualquer superfície adjacente e que ficasse de forma não paralela às paredes da câmara. Os equipamentos empregados para realização dos ensaios de absorção sonora foram:

- fonte sonora dodecaédrica B&K modelo 4292 L;
- amplificador sonoro B&K, modelo 2734-A;
- analisador sonoro ACOEM 01 dB, Fusion;
- microfone Gras modelo 40 AO; e
- calibrador do microfone B&K, modelo 4231.

Foram realizados testes com 12 posições de microfone, em três posições diferentes de disposição de fonte sonora, ou seja, quatro disposições distintas de microfone para cada ponto estabelecido para a fonte sonora dentro da câmara reverberante. Todos os posicionamentos da fonte sonora e do microfone atenderam as distâncias especificadas pela norma ISO 354:2003 [15]. Na Figura 3 é possível verificar as posições utilizadas.

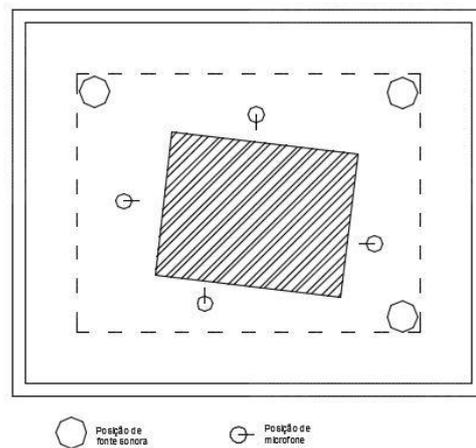


Figura 3: Posições dos equipamentos no ensaio de absorção sonora.

Os resultados serviram como dados para definição da composição do preenchimento das células do atenuador a ser testado no ensaio de nível de atenuação.

3.2 Ensaio dos níveis de atenuação

Os primeiros ensaios em laboratório foram realizados nas células que compõem os atenuadores acústicos, com o intuito de determinar o coeficiente de absorção sonora dos materiais utilizados atualmente para fabricação destes equipamentos. Além disso, desse modo, é possível analisar e propor a utilização de novos materiais.

Foram realizados outros ensaios em laboratório, em um segundo momento, para caracterização dos níveis de atenuação sonora do silenciador padrão. Para este ensaio foi disponibilizado um atenuador com seção retangular de 60 cm por 25 cm e 131 cm de comprimento, em chapa galvanizada, conforme a ABNT NBR 16401-1:2009 [6], representado na Figura 4, em vista superior e cortes.

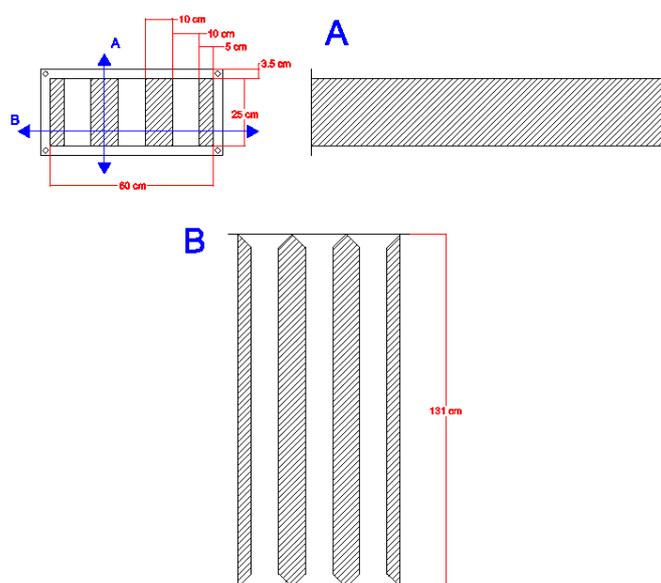


Figura 4: Vista superior e cortes do atenuador padrão 60 × 25 × 131 cm.

Na sequência, foi instalado um duto com 30 cm de comprimento entre as câmaras, junto a laje de concreto, com as dimensões do sistema (60 × 25 cm) e, assim, servindo como ligação entre o emissor de ruído, disposto na laje inferior, e o objeto de estudo, disposto na laje superior. Para fixação desse duto empregou-se um adesivo epóxi de média fluidez e alto desempenho, à base de dois componentes que, misturados, garantiram a aderência entre o elemento metálico (duto) e o elemento estrutural (laje). O vão entre o duto e a laje foi preenchido com lã de pet, para compor o isolamento do tipo “massa/mola/massa”.

O atenuador, composto por quatro células de lã de vidro, foi acoplado no sistema na sequência, e por fim, acrescentou-se um duto de mesma seção com 111 cm de comprimento

para que se pudesse mensurar também a quantidade de som interno ao ramal de dutos. Todos os dutos utilizados possuem acabamento TDC (*Transversal Duct Connection*), uma solução para união transversal dos dutos de ar, com 32 mm de largura e, para fixação entre estes, aplicou-se uma fita elastomérica com 19 mm de espessura ao redor do perímetro de contato entre os dutos, com intuito de minorar as vibrações dos materiais rígidos atrelados. Além disso, em cada canto TDC colocou-se um parafuso francês 5/16” × 1” zincado branco e rosca total, e uma porca 5/16”, ou seja, quatro parafusos entre dois dutos. Esses acessórios de ligação entre os dutos são utilizados usualmente em instalações de dutos HVAC. A Figura 5 mostra imagens das câmaras e do duto de ligação durante o ensaio.



Figura 5: Câmara 1, duto de ligação e câmara 2.

O ensaio do atenuador seguiu os requisitos da norma EN ISO 7235:2009 [16], que indica os seguintes itens como equipamentos necessários para teste acústico de silenciadores: (a) fonte sonora; (b) objeto de teste; e (c) sonômetro para medições em bandas de terço de oitava.

Conforme a norma, é recomendável usar transições retas para realização do ensaio, tentando evitar ressonâncias no duto em frente ao objeto de teste. O ensaio deve ser realizado inicialmente com um duto oco, com mesmas dimensões do objeto de teste, para verificação dos níveis sonoros do sistema. Dessa forma, o equipamento de fonte sonora é usado para excitar um campo sonoro em frente ao objeto de teste. A perda por inserção do atenuador é definida a partir da subtração da média dos níveis de pressão sonora, por bandas de terço de oitava, medidos no interior do sistema, sem o atenuador e com o atenuador instalado.

Os ensaios foram realizados em câmaras adjacentes sobrepostas separadas por uma laje de concreto maciço com 13 cm de espessura. As condições durante os ensaios possibilitaram o ruído residual sempre, no mínimo, 10 dB menor que os valores medidos durante os ensaios, conforme indica a norma ISO 7235:2009. Para que a transmissão do ruído ocorresse exclusivamente pela passagem de ar do sistema de dutos e não houvesse desvio de som aéreo pelos flancos, foi feita aplicação do adesivo epóxi entre o primeiro duto do sistema e

a laje, para evitar o vazamento acústico por este meio.

Para os ensaios, a primeira posição do microfone foi definida na posição central ao duto subsequente ao objeto de teste, sendo a posição interior do duto, e a segunda posição foi definida logo após a saída do duto subsequente, sendo a posição exterior ao duto, com a intenção de mensurar o ruído aéreo do meio.

Os ensaios dos níveis de atenuação sonora ocorreram em três etapas distintas, sendo que a fonte emissora permaneceu no mesmo local em todas as etapas. O primeiro ensaio foi realizado com um duto simples, sem material fono-absorvente no seu interior, acoplado entre o duto de ligação e o duto subsequente. Posteriormente o duto oco foi substituído pelo atenuador padrão para repetição do teste. Por fim, foi executado o ensaio com o atenuador proposto posicionado no local onde antes havia sido colocado o duto oco e o atenuador padrão. Sendo assim, os três itens (duto oco, atenuador padrão e atenuador proposto) ocuparam o mesmo posicionamento, cada um em uma das 3 etapas dos ensaios. A Tabela 4 apresenta síntese das etapas deste ensaio.

O duto oco é um duto de livre passagem de fluido internamente, sem interferência por não ter algum material acoplado. O atenuador padrão possui quatro células internas preenchidas com lã de vidro com véu de vidro Iso-sound fabricadas com painel primário, e o atenuador proposto possui as quatro células

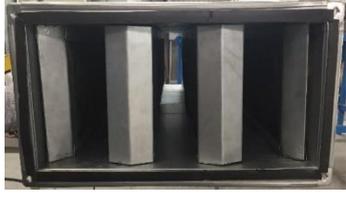
dispostas como o atenuador padrão, fabricadas com retalhos de lã de vidro com véu de vidro Isosound e entre cada uma destas células foi fixado um painel perfurado. A Figura 6 indica como foi realizado o preenchimento das células com retalhos de Isosound.

Os três itens são fabricados com chapa zincada de 0,65 mm de espessura, flanges em ambas as pontas de TDC 32 mm, isolados externamente com manta térmica, dimensões de 60 × 25 cm e comprimento de 131 cm. A Tabela 3 indica a composição dos itens ensaiados para verificação de nível de atenuação, com a imagem da condição do duto em cada etapa.



Figura 6: Vista lateral da célula atenuadora com retalhos de Isosound.

Tabela 4 – Composição das 08 amostras ensaiadas.

| Etapa | 1 | 2 | 3 |
|------------------|---|--|---|
| Saída do duto | Sem atenuador | Atenuador padrão | Atenuador proposto |
| Composição | Sem material interno | 4 células Isosound | 4 células retalho Isosound + 3 painéis perfurados |
| Condição do duto |  |  |  |

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Concluídas as duas fases de testes em laboratório, compilaram-se os dados para que uma análise global dos parâmetros levantados fosse realizada, expondo os dados de absorção sonora das amostras propostas, bem como os níveis de atenuação proporcionados pelo atenuador padrão e pelo atenuador proposto.

4.1 Absorção sonora dos materiais fono-absorventes

Os primeiros ensaios em laboratório foram idealizados com os materiais aplicados atualmente para fabricação de atenuadores acústicos de sistemas de ar-condicionado central. Na Tabela 4 consta a descrição simplificada das amostras ensaiadas em laboratório.

Tabela 4 – Composição das 08 amostras ensaiadas.

| Amostra | Composição |
|---------|--|
| 01 | Lã de vidro padrão Isosound |
| 02 | Lã de vidro padrão Isosound + chapa zincada em 50% da área |
| 03 | Retalhos de lã de vidro padrão Isosound + TNT |
| 04 | Lã de vidro padrão Isosound + painel perfurado em 50% da área |
| 05 | Lã de vidro padrão Isosound + painel perfurado em 100% da área |
| 06 | Retalhos de lã de vidro fina |
| 07 | Lã de vidro Climaver |
| 08 | Espuma elastomérica |

Conforme exposto no gráfico da Figura 7, as Amostras 01 e 07, com a exposição da face com a lã de vidro, apresentam um comportamento típico de material fibroso, com maior absorção sonora nas médias e altas frequências e pouca absorção nas baixas frequências, caracterizadas nas bandas de 125 Hz e 250 Hz. Pode-se afirmar que a adição de TNT não alterou significativamente as características de absorção do material, sendo verificado o mesmo perfil gráfico para as Amostras 01 e 03. Por outro lado, a adição da chapa zincada em 50% da área da amostra ensaiada reduziu os coeficientes de absorção, representando um bloqueio para a incidência das ondas sonoras no material fibroso. Também foi verificada a redução dos coeficientes com o uso da espu-

ma elastomérica na Amostra 08, com valores que caracterizam o material como de reflexão acústica.

A maior eficiência na absorção dos sons graves foi verificada com o uso de chapas perfuradas nas Amostras 04 e 05, sendo notado um comportamento típico de um ressonador de Helmholtz, conforme comentado por Patrício [2]. Em relação ao uso dos retalhos de lã de vidro na Amostra 06, pode-se afirmar que as características típicas de um material fibroso foram preservadas, mas ocorreu a redução nos coeficientes de absorção para todas as bandas de frequência analisadas, devido a menor espessura e densidade da lã. A comparação das características de absorção sonora por bandas de oitava dos materiais testados pode ser analisada a partir dos resultados da Figura 7.

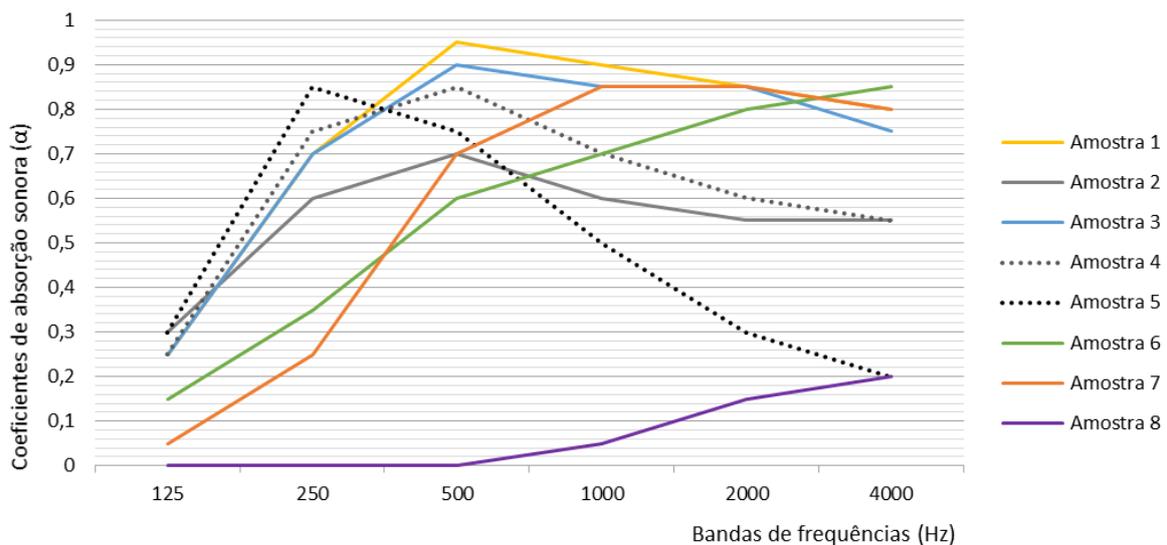


Figura 7: Resultados comparativos dos coeficientes de absorção por bandas de oitava.

Reunindo os dados dos ensaios realizados, apresenta-se a Figura 8, com os coeficientes de absorção sonora ponderados de cada uma das amostras testadas.

Observando-se a Figura 8, fica claro que o material com maior coeficiente de absorção sonora é a lã de vidro com véu de vidro Isosound (Amostra 01), já utilizada atualmente para produção dos silenciadores para sistemas HVAC.

A utilização de retalhos do mesmo material com aplicação de TNT (Amostra 03) é o segundo maior coeficiente, com diferença de 0,05 em relação a Amostra 01.

Já a Amostra 02, que também é utilizada em projetos atuais de atenuadores, apresentou resultados de absorção sonora menores comparados aos outros fibrosos. A concepção da Amostra 04 é inovadora e teve valores mais eficientes

nas baixas frequências, que não são atendidas de forma satisfatória pelo Isosound.

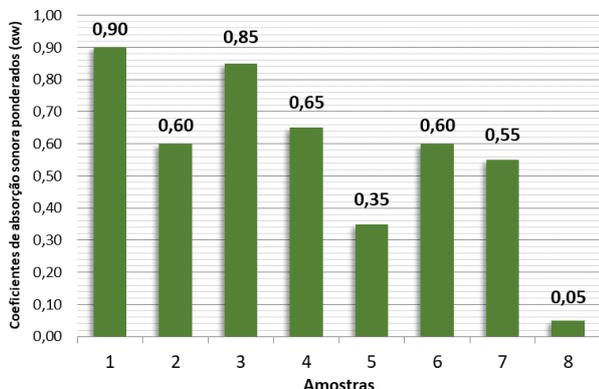


Figura 8: Coeficientes de absorção sonora ponderado das amostras

Explorando-se as informações obtidas com os ensaios, nota-se que a Amostra 01, com lã de vidro padrão Isosound, é o material com maior coeficiente de absorção sonora ponderado. Entretanto a Amostra 03, composta por retalhos de Isosound e adição de TNT, também apresenta um índice de absorção elevado e próximo aos parâmetros do material primário, tornando seu uso um projeto viável e promissor.

Além disso, os coeficientes de absorção apresentados pela Amostra 05 nas baixas frequências são relevantes, uma vez que essas são as frequências não atendidas de forma aceitável atualmente. Sendo assim, entende-se que as composições da Amostra 03 e da Amostra 05 sejam uma alternativa interessante para uso, principalmente no que se refere ao objetivo de reaproveitar os retalhos gerados, além de otimizar os índices de absorção para atendimento nas baixas frequências.

Embora os níveis de pressão sonora em altas frequências sejam mais sentidos pelo ouvido humano, os sons em baixas frequências também podem causar prejuízos e incômodo aos usuários, sendo necessária uma solução para essas frequências. Como citado por meio da revisão bibliográfica, para baixas frequências é indicada a aplicação de ressonadores de Helmholtz no projeto. Dessa forma, foi utilizada a composição da Amostra 5 do ensaio de absorção sonora para o preenchimen-

to das células do atenuador proposto. Sendo assim, as células do atenuador proposto foram construídas com painel perfurado e retalhos de lã de vidro com véu de vidro Isosound.

4.2 Resultados com os atenuadores

Após a definição da composição usada no preenchimento das células do atenuador proposto, os ensaios nos atenuadores acústicos foram idealizados com o intuito de quantificar a perda por inserção por bandas de terço de oitava. Dessa forma, foram executadas as medições das 3 diferentes etapas, conforme indicado na Tabela 4.

As medições realizadas com o duto padrão, podem ser verificadas na Figura 9, sendo os valores referentes ao interior e ao exterior do duto. O maior nível de pressão sonora (NPS) medido no interior do duto, com o atenuador padrão, foi de 102 dB na banda de 125 Hz, e o menor valor foi de 50 dB na banda de frequência de 2.000 Hz. No exterior do duto com o atenuador padrão, foram verificados, comparativamente, valores menores nas baixas frequências, sendo medido 92 dB na banda de 125 Hz, e 50 dB em 1.600 Hz. Pode-se perceber que não ocorreram alterações significativas na componente espectral do som medido dentro e fora do duto, sendo mantidos os maiores valores nas baixas frequências com o decaimento dos níveis sonoros até a banda de 1.600 Hz. A partir desse ponto, ocorre o aumento gradual até a banda de 3.150 Hz.

Os níveis de pressão sonora medidos com o atenuador proposto, com preenchimento de retalhos de Isosound nas células, podem ser verificados na Figura 10. Assim como registrado nas medições com o atenuador padrão, a composição espectral dos sons no exterior e no interior do duto expressaram um som grave, com maiores níveis de pressão sonora nas baixas frequências, decaimento até o início da região das altas frequências, e posterior aumento até a banda de 4.000 Hz. O maior nível de pressão sonora medido no exterior do duto, com o atenuador proposto, foi de 90 dB na banda de 125 Hz, e o menor valor foi de 47 dB na banda de frequência de 2.000 Hz. No interior do duto com o atenuador proposto, foram verificados 101 dB na banda de 125 Hz, e 49 dB em 2.000 Hz.

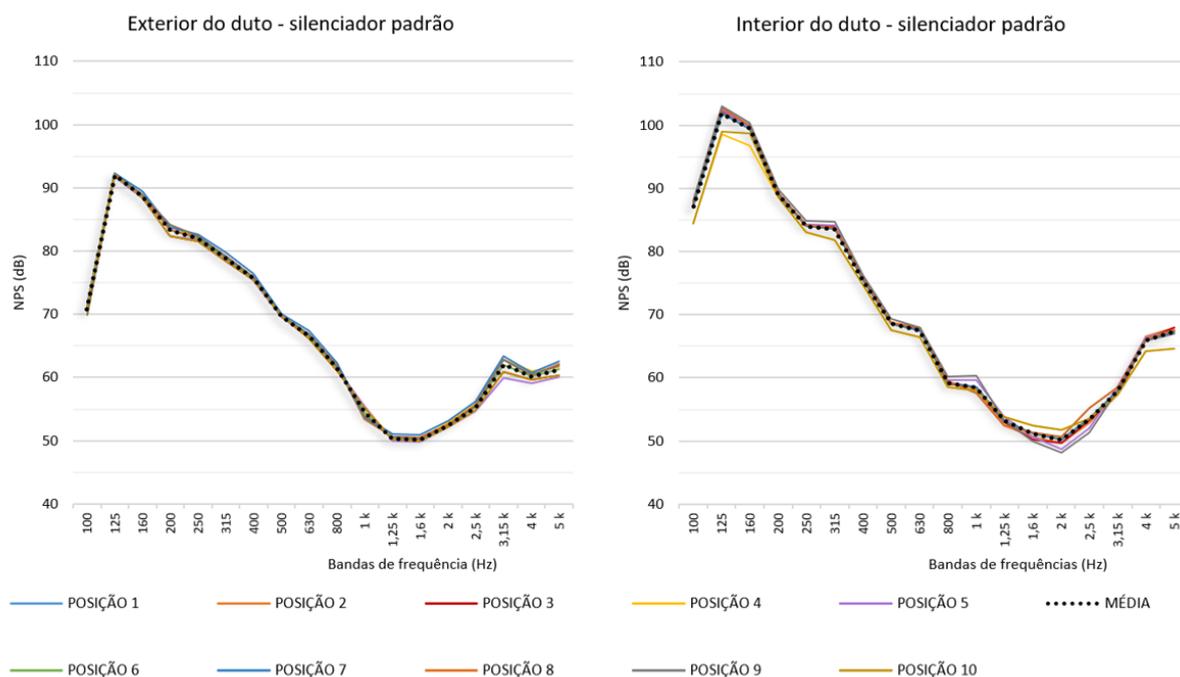


Figura 9: Resultados das medições com o silenciador padrão.

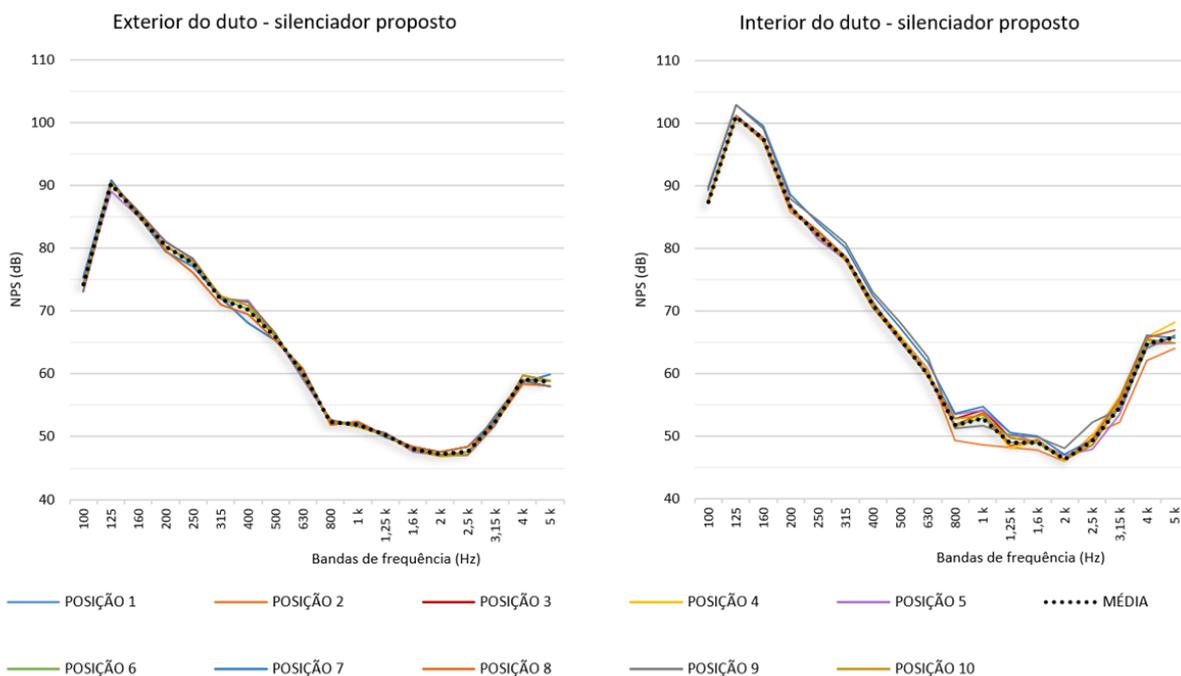


Figura 10: Resultados das medições com o silenciador proposto.

Comparando-se os resultados das Etapas 1, 2 e 3 do ensaio de atenuação sonora, pode-se notar que os níveis de atenuação alcançados com a inserção dos atenuadores é significativa, conforme o gráfico da Figura 11. Os níveis de pressão sonora medidos com o sistema sem atenuador, tanto no exterior quanto no interior do duto, apresentam pouca variação em sua composição espectral, sem decaimento significativo em alguma sequência das bandas de terço de oitava do ensaio.

Com a implantação dos atenuadores acústicos os níveis de pressão sonora foram reduzidos gradualmente a partir da banda de 250 Hz.

Na Figura 11, com as três etapas (1, 2 e 3) e as medições no interior e no exterior do duto, verifica-se a diferença entre cada momento mensurado. Conforme já analisado, os resultados das medições no interior do duto, são maiores em relação aos níveis de pressão sonora registrados no exterior do

duto. Mesmo o ensaio tendo sido realizado em câmara reverberante, os resultados das medições no exterior do duto indicam a elevada eficiência da inserção de um atenuador acústico em sistemas HVAC.

Com a instalação do atenuador proposto, pode-se perceber que a componente espectral do som medido não é alterada significativamente, em relação ao ruído medido com o atenuador padrão. Assim, destaca-se que mesmo com a alteração na estrutura da caixa do atenuador, o conjunto continuou rígido e sem vazamentos de ruído. No entanto, esperavam-se resultados com maior atenuação nas bandas de baixas frequências, já que o atenuador proposto foi projetado com painéis perfurados em sua composição. Entretanto, os resultados com ambos os atenuadores foram semelhantes. O benefício identificado, portanto, é que para a construção do atenuador proposto, foram utilizados materiais fono-absorventes reaproveitados, com garantia de uma atenuação eficiente com este novo atenuador.

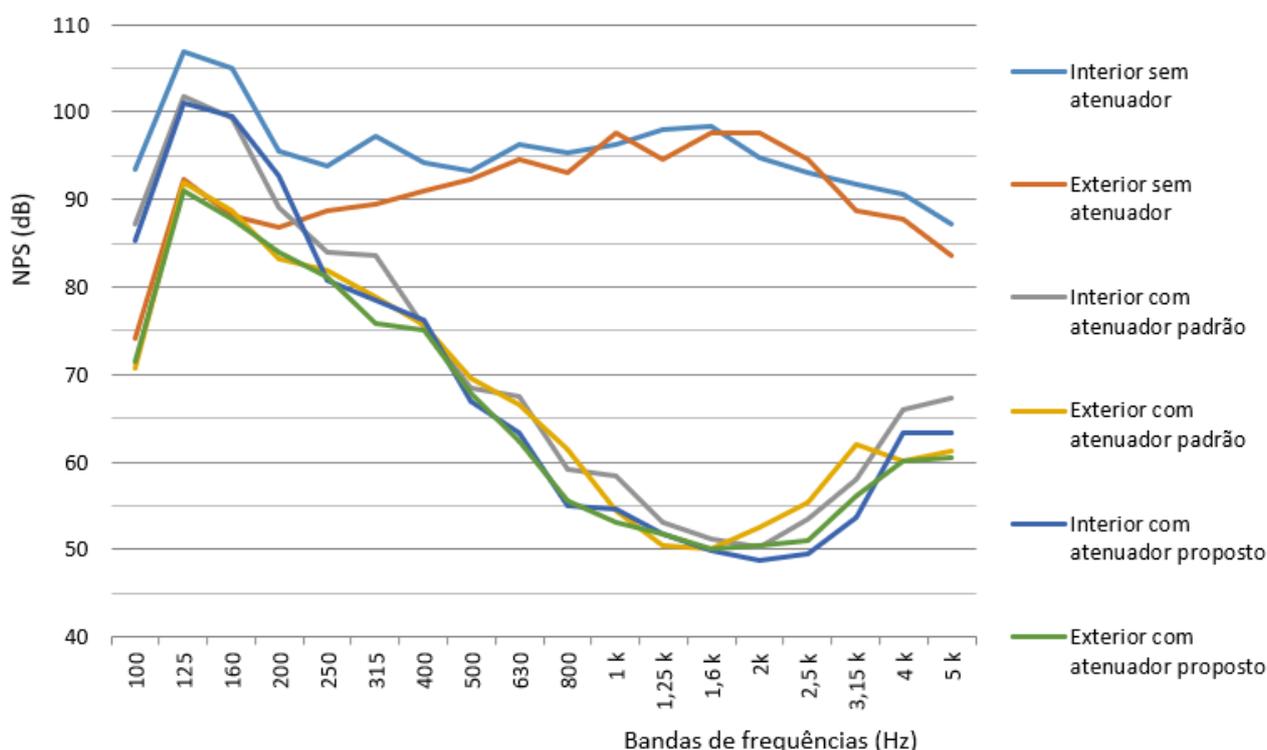


Figura 11: Comparativo entre as etapas 1, 2 e 3 nas duas posições de microfone.

As perdas por inserção do atenuador padrão e do atenuador proposto foram determinadas com a diferença entre os níveis de pressão sonora, por bandas de terço de oitava, medidos no interior do sistema, sem o atenuador e com o atenuador instalado.

Na Tabela 5 são apresentados os resultados das médias das medições no interior do duto para as três situações deste estudo e da perda por inserção dos dois atenuadores.

Tanto no atenuador padrão, quanto no atenuador proposto, as maiores perdas por inserção foram verificadas nas bandas de frequências entre 1.250 Hz e 2.000 Hz (Figura 12), com valores superiores a 44 dB. De modo geral, a atenuação proporcionada pela instalação de um silenciador é variável, sendo indicados valores de até 30 dB em níveis de pressão sonora [8,17]. O comportamento típico dessa atenuação, por bandas de frequências, apresenta maiores valores nas altas frequências,

sendo, essa atenuação maior, quanto menor for a influência de barreira internas para a passagem do ar [20].

Comparando-se as perdas por inserção dos dois atenuadores, podem ser verificadas diferenças positivas, no atenuador proposto, maiores que 3 dB nas bandas entre de 630 Hz, 800 Hz, 1.000 Hz, 2.500 Hz, 3.150 Hz e 5.000 Hz (Tabela 5).

A solução pensada para as bandas de baixa frequência não foi confirmada, mesmo tendo um pequeno ganho de atenuação nestas bandas de frequência, não houve alteração na componente espectral da perda por inserção. Os materiais fono-absorventes reaproveitados apresentaram bons resultados e podem ser classificados como eficientes, assim como o material de primeira produção, sendo viável a reutilização dos retalhos resultantes da produção de atenuadores acústicos.

Tabela 5 – Resultados das medições e da perda por inserção dos atenuadores padrão e proposto.

| Bandas de frequência (Hz) | Níveis de pressão sonora (dB) | | | | |
|---------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|
| | Interior do duto sem o atenuador | Interior do duto com o atenuador padrão | Interior do duto com o atenuador proposto | Perda por inserção com o atenuador padrão | Perda por inserção com o atenuador proposto |
| 100 | 93,5 | 87,1 | 85,3 | 6,4 | 8,2 |
| 125 | 106,9 | 101,9 | 101,0 | 5,0 | 5,9 |
| 160 | 105,0 | 99,4 | 99,5 | 5,6 | 5,5 |
| 200 | 95,6 | 89,1 | 92,7 | 6,5 | 2,9 |
| 250 | 93,9 | 84,0 | 80,9 | 9,9 | 13,1 |
| 315 | 97,2 | 83,6 | 78,5 | 13,7 | 18,8 |
| 400 | 94,2 | 75,4 | 76,3 | 18,8 | 17,9 |
| 500 | 93,2 | 68,5 | 67,0 | 24,7 | 26,2 |
| 630 | 96,3 | 67,5 | 63,4 | 28,7 | 32,9 |
| 800 | 95,4 | 59,2 | 55,0 | 36,2 | 40,4 |
| 1 k | 96,3 | 58,5 | 54,7 | 37,8 | 41,7 |
| 1,25 k | 97,9 | 53,2 | 51,8 | 44,7 | 46,1 |
| 1,6 k | 98,4 | 51,2 | 50,0 | 47,6 | 48,4 |
| 2 k | 94,8 | 50,2 | 48,8 | 44,6 | 46,0 |
| 2,5 k | 93,0 | 53,5 | 49,6 | 39,5 | 43,4 |
| 3,15 k | 91,8 | 57,9 | 53,8 | 33,9 | 38,1 |
| 4 k | 90,6 | 66,0 | 63,3 | 24,6 | 27,3 |
| 5 k | 87,2 | 67,3 | 63,3 | 19,9 | 23,9 |

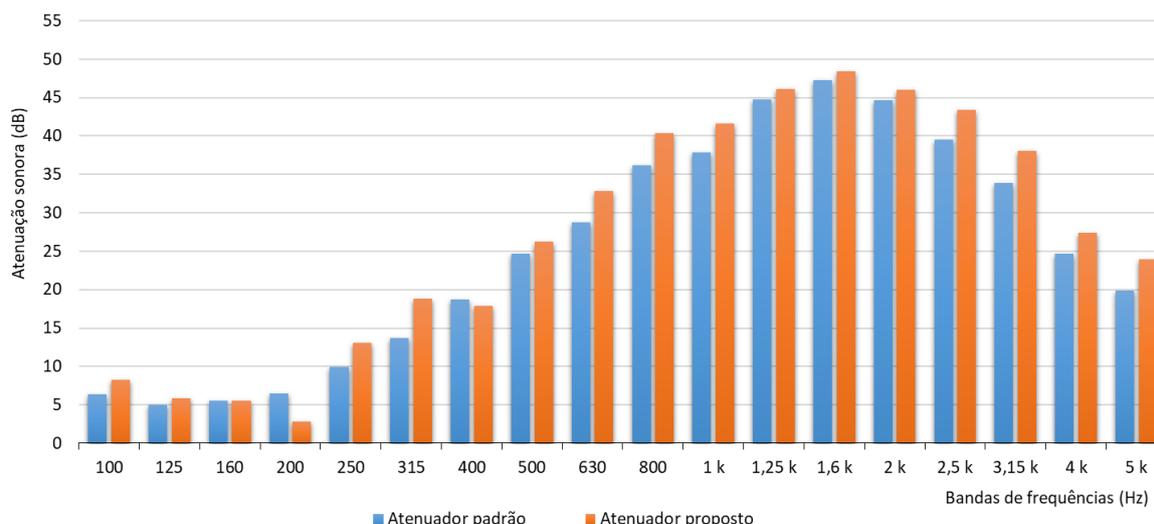


Figura 12: Atenuação sonora por bandas de frequências do atenuador padrão e do atenuador proposto.

Os resultados obtidos nos ensaios com os atenuadores durante este trabalho, indicam que o material fono-absorvente Isosound, utilizado atualmente na produção dos atenuadores acústicos para sistemas HVAC, é o material com maior nível de absorção sonora. Sobretudo, o Isosound pode ser modelado junto a outros materiais de forma a atingir um número maior de faixas sonoras, contemplando não somente as médias e altas frequências, conforme as características deste material, mas também atingindo as faixas de baixa frequência.

O equilíbrio entre materiais que atinjam diferentes bandas de frequência, com a inclusão de materiais tidos como resíduo, traz benefícios para toda a cadeia produtiva de atenuadores acústicos.

5. CONCLUSÕES

O conhecimento adequado é um dos fatores que influenciam no aumento da eficiência na aplicação e especificação de produtos. Entretanto, informações parciais muitas vezes são insuficientes para o gerenciamento diário de uma produção. O objetivo geral deste trabalho foi entender quais as alterações que podem ser aplicadas na fabricação de atenuadores acústicos para sistemas de ar-condicionado central,

com o intuito de incorporar materiais fono-absorventes reaproveitados, já que a logística reversa presente atualmente é dispendiosa.

Através da revisão bibliográfica pode-se concluir que a composição do material fono-absorvente, bem como sua espessura, distância e forma de instalação, influenciam diretamente no coeficiente de absorção sonora. Estes quesitos foram trazidos para a idealização do primeiro ensaio em laboratório realizado, que conferiu o coeficiente de absorção de oito amostras distintas.

As formas de emissão e propagação do som em termos de níveis de pressão sonora e composição espectral de um sistema típico HVAC auxiliaram na elaboração dos ensaios de nível de atenuação sonora pelos silenciadores. Verificou-se que o desempenho de atenuadores acústicos implantados em sistemas de ar-condicionado central é influenciado pela componente espectral do som emitido nas diferentes partes do sistema, bem como pelas formas de instalação e posicionamento desses equipamentos.

Os resultados dos ensaios de absorção sonora indicaram que o material usado nos projetos atuais apresenta o maior coeficiente de absor-

ção, mas não atende as baixas frequências que também estão presentes nos sistemas HVAC, devido ao ruído gerado pelos equipamentos que compõem o conjunto formado por ventiladores. A utilização de retalhos da lã de vidro com véu de vidro Isosound apresentou resultados de absorção muito próximos ao material primário, o que indicou que seu uso é eficiente e pode ser aplicado junto com a camada de TNT sem perder as características acústicas. Assim, o material considerado refugio torna-se matéria prima novamente e o material fono-absorvente é reaproveitado.

Destacaram-se os resultados obtidos com os painéis perfurados, dispostos sobre a lã de vidro com véu de vidro Isosound, que apresentaram um desempenho satisfatório nas bandas de baixas frequências.

Os resultados dos ensaios de perda por inserção indicaram que o atenuador padrão, utilizado atualmente, apresenta resultados que atingem até 48 dB de atenuação, quando implantado no sistema de dutos de ar-condicionado central utilizado neste estudo. Porém, esses níveis de atenuação, assim como os coeficientes de absorção sonora, são maiores nas médias e altas frequências. A instalação do atenuador proposto, composto por materiais fono-absorventes em baixas, médias e altas frequências, com retalhos de lã de vidro com véu de vidro, TNT e painel perfurado, teve resultados semelhantes ao atenuador padrão, alcançando reduções de até 48 dB. Mesmo com a incorporação da solução indicada, para bandas de baixas frequências não se conseguiu resultados expressivos nesta faixa.

Assim, conclui-se que com o uso de materiais fono-absorventes reaproveitados é possível ter coeficientes de absorção muito próximos aos resultados de materiais primários, além de conseguir maiores níveis de atenuação com a agregação de materiais fono-absorventes que atendem diferentes bandas de frequência.

REFERÊNCIAS

1. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Burden of disease from environmental noise*. 2011.
2. PATRÍCIO, JORGE. *Acústica nos edifícios*. 7ª Edição. Engebook. Lisboa, 2018. ISBN: 9789897232626.
3. EGAN, M. David. *Architectural acoustics*. Four Lauderdale, Florida: J Ross Publishing, 2014. ISBN: 9780070191112.
4. BALLOU, G. R. *Handbook for Sound Engineers*. 5ª Edição. Florianópolis: Routledge, 2015. ISBN: 9780415842938.
5. BERLINERLUFT. *Catálogo do site de fabricante de atenuadores acústicos*, 2017. Disponível em: http://www.berlinerluft.com.br/files/file_592739b8b34c0.pdf
6. NBR 16401-1: *Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários – Parte1: Projetos das instalações*. Rio de Janeiro, 2008.
7. INSTITUTE OF NOISE CONTROL ENGINEERING (INCE). *Noise & Vibration Control – Principles and Applications*. Revista da INCE Foundation – Virgínia, EUA, Gráfica Ingemansson, 2000.
8. SÃO LUIZ. *Catálogo do site de fabricantes de atenuadores acústicos*, 2014. Disponível em: <http://www.acusticasaoluiz.com.br/produto/atenuadores-de-ruído/>
9. CAVALHEIRO, Thiago. *Avaliação de atenuadores acústicos dissipativo de dutos de sistemas de ar-condicionado de aeronaves*, 2015. 229f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/169414>

10. BISTAFA, Sylvio R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*. 3ª Edição. São Paulo: Blucher, 2018. ISBN: 9788521212836.
11. BERTOLI, S. R.; OITICICA, M. L. G. da R. Contribuição acústica de materiais absorvedores aplicados na parede da edificação de peitoris ventilados fabricados com materiais refletores. In: *XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC 2011*. Búzios, Brasil.
12. OITICICA, Maria L. G. da R. *Desempenho acústico de diferentes tipologias de peitoris ventilados*, 2010. 240f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), São Paulo, 2010.
13. BRANDÃO, E. *Acústica de salas: projeto e modelagem*. São Paulo: Blucher, 2016. ISBN: 9788521210078
14. BALLOU, Glen M. *Handbook for sound engineers*. 4ª Edição. Burlington, MA: Elsevier Inc, 2009.
15. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 354: *Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room*. 2003.
16. BRITISH STANDARD INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7235: *Acoustics – Laboratory measurement procedures for ducted silencers and air-terminal units – Insertion loss, flow noise and total pressure loss*. 2009.
17. BERLINERLUFT. *Catálogo do site de fabricante de atenuadores acústicos*, 2017. Disponível em: http://www.berlinerluft.com.br/files/file_592739b8b34c0.pdf
18. ISOSOUND – *Painel acústico para paredes* <https://www.isover.com.br/isosound-painel-acustico-para-paredes>
19. CLIMAVER – *Lã de vidro para dutos de ar condicionado* - <https://www.isover.com.br/climaver-la-de-vidro-para-dutos-de-ar-condicionado>
20. POHLMANN, Ken C., EVEREST, F. Alton. *Master Handbook of Acoustics*. 7ª Edição. Reino Unido: McGraw-Hill Education, 2021. ISBN: 9781260473599.

(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)

Estado da arte das legislações sobre ruído ambiental na América do Sul

Brasileiro-Meneses, T. C.¹; Araújo, V. M. D.²; Araújo, B. C. D.³

^{1, 2, 3} Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, tamarisbrasileiro@gmail.com, virginiamdaraújo@gmail.com, dantasbianca@gmail.com

Resumo

Como forma de melhorar o planejamento urbano e combater o ruído nas cidades, destacam-se as normas e legislações que abordam os parâmetros para avaliação do incômodo do ruído em ambientes externos. Devido à importância dos parâmetros para a avaliação do ruído ambiental, essa pesquisa teve como objetivo geral compilar os parâmetros acústicos constantes nas normas e leis ambientais dos países da América do Sul. Para alcançar o objetivo principal da pesquisa, foram coletadas informações em normativas oficiais e em artigos científicos. Como resultado, constatou-se que, em geral, os países classificam os níveis sonoros pelo zoneamento urbano, instituindo valores para os períodos diurno e noturno. Paraguai foi o único país que apresentou um valor específico para os horários de pico. Observou-se que para as áreas mais sensíveis, os valores L_{Aeq} estabelecidos variam entre 45 e 65 dB para o período diurno e entre 35 e 55 dB durante o período noturno, tendo como predominância os valores de 65 e 45 dB para o dia e noite, respectivamente. O nível de pressão sonora permitido no período noturno é inferior ao diurno, com variações entre 5 e 20 dB.

Palavras-chave: ruído ambiental, legislação ambiental, ruído de tráfego, mapa de ruído.

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

State of the art of environmental noise legislation in South American countries

Abstract

As a way of improving urban planning and combating noise in cities, this article highlights the norms and legislation that address the parameters for assessing noise discomfort in external environments. Due to the importance of the parameters for the assessment of environmental noise, this research aimed to compile the acoustic parameters contained in the environmental standards and laws among South American countries. To achieve the main objective of the research, information was collected from regulations in official publications and from scientific articles. As a result, it was found that countries generally classify sound levels by urban zoning, instituting values for the daytime and night periods. Paraguay was the only country that presented a specific value for peak hours. It was observed that for the most sensitive areas, the established L_{Aeq} values vary between 45 and 65 dB during the day and between 35 and 55 dB at night, with the values of 65 and 45 dB for the day and night predominating, respectively. The noise level allowed at night is always lower than the daytime, with variations between 5 and 20 dB.

Keywords: environmental noise, environmental legislation, traffic noise, noise map.

1. INTRODUÇÃO

Existem, no espaço urbano, diversas fontes sonoras responsáveis pela emissão do som. A combinação dessas fontes, a exemplo do ruído proveniente de fábricas e veículos automotivos, resulta no chamado ruído ambiental. O excesso dessas fontes sonoras, por sua vez, contribui para o aparecimento da poluição sonora.

Segundo Brito [1] a poluição sonora é uma ameaça invisível que projeta uma nuvem negra sobre nosso ambiente cotidiano. Com a revolução industrial e o advento do capitalismo, houve um crescimento desordenado das cidades, o que resultou no agravamento desse tipo de poluição [2].

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a poluição sonora está em segundo lugar no ranking das poluições que causam maior impacto à população, perdendo apenas para a poluição do ar [3]. Entretanto, em virtude da sua dificuldade de percepção e aceitação imediata de seus efeitos, ela é a que apresenta o maior perigo, podendo interferir diretamente na saúde da população [4, 5].

A OMS classifica como nocivos à população os ruídos constantes acima de 55 dB, durante o período diurno, e 40 dB, durante o período noturno. Além disso, afirma que níveis sonoros acima de 65 dB podem causar efeitos negativos à população e, caso esse valor ultrapasse 85 dB, as consequências podem ser irreparáveis [3].

O excesso de ruído urbano é um problema enfrentado pela maioria das cidades. Nesse sentido, torna-se necessária a implantação de instrumentos e medidas que visem à identificação e redução/controle dos níveis sonoros em excesso no espaço urbano, resultando, assim, na melhoria da qualidade sonora das cidades.

Neste sentido, há normas e legislações referentes ao tema da poluição sonora, abordando os parâmetros para avaliação do incômodo do ruído em ambientes externos em diversos países.

Existem duas principais organizações para normatização internacional: a International Organization for Standardization (ISO), que trata especialmente da metodologia e procedimentos de comparação dos resultados, e a International Electrotechnical Commission (IEC), que aborda os aspectos relacionados às instrumentações necessárias para avaliação do ruído ambiental [6].

Para facilitar a adoção de medidas de combate à poluição sonora, a União Europeia, por exemplo, determinou, no final do século XX, que os países e cidades deveriam se responsabilizar pelo controle do ruído ambiental de suas respectivas áreas. Dessa forma, cabe a cada Estado-membro estabelecer níveis de emissão sonora para os diversos tipos de fonte [7].

Em meio a esse contexto foi instituída, em 25 de junho de 2002, pelo Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia, a Diretiva 2002/49/CE, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiental. O objetivo principal dessa diretiva é definir uma abordagem comum para evitar, prevenir ou reduzir, numa base prioritária, os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiente, incluindo o incômodo dela decorrente [8].

Tal diretiva fornece uma base para o desenvolvimento de medidas comunitárias de redução do ruído propagado pelas principais fontes sonoras. Destaca-se que as indicações expostas na Diretiva se aplicam ao ruído ambiental a 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 [8].

Devido à importância dos parâmetros para a avaliação do ruído ambiental, essa pesquisa teve como objetivo geral compilar, por meio de pesquisa bibliográfica, os parâmetros acústicos contidos nas normativas e legislações ambientais dos países sul-americanos: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Equador, Paraguai, Peru, Uruguai, Venezuela e Suriname.

2. METODOLOGIA

Para determinar os parâmetros de ruído ambiental, especialmente o ruído de tráfego veicular, estabelecidos pelas normas internacionais e nacionais, foram coletadas informações em normativas oficiais e em artigos científicos. Os artigos foram encontrados nas bases de pesquisas e nos anais dos quatro principais eventos sobre acústica, no período entre 2010 e 2020, em especial o *International Congress on Acoustics (ICA)*, o *International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Inter-Noise)*, o Congresso Iberoamericano de Acústica (FIA) e o Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac).

Análises comparativas foram realizadas entre as normas e leis de vários países, pontuando os aspectos mais relevantes e destacando a importância dos mapas de ruído para a determinação dos parâmetros contidos nas normas.

Foi inserido um quadro resumo contendo os parâmetros de níveis de pressão sonora contínuo equivalente ponderada em A, expressos em decibel (L_{Aeq}), estabelecidos pelos países sul-americanos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

São descritos neste tópico os níveis de ruído estabelecidos pelas leis ambientais dos países do continente sul-americano referentes ao ruído de tráfego veicular e áreas com uso residencial.

Além das instâncias internacionais de normativa e leis, existem as iniciativas continentais, como a Diretiva Europeia. O continente Europeu é grande referência nos trabalhos sobre acústica ambiental, decorrente, especialmente, da aprovação da Diretiva Europeia nº 2002/49/CE [8]. Esse tipo de iniciativa ainda não há no continente americano. Sendo assim, muitos países sul-americanos têm como referência os parâmetros estabelecidos pelas normas europeias.

3.1. Legislações dos países sul-americanos

Segundo Miyara [9], existem diversas leis e normas relacionadas ao ruído ambiental na **Argentina**. Porém, cabe às cidades a determinação dos limites de ruído de acordo com a característica de cada área. Sendo assim, Miyara [9] analisou as leis vigentes em sete cidades argentinas: Buenos Aires, Córdoba, Rosário, Paraná, Mendoza, Mar del Plata e Santa Fé. Após analisar os parâmetros estabelecidos em cada cidade, concluiu que há bastante semelhança entre elas. Em geral, dividem-se em quatro categorias, de acordo com o período da manhã e da noite: áreas sensíveis voltadas à instalação de hospitais (50 e 35 dB); área residencial (55 e 45 dB); uso misto (60 e 50 dB); uso industrial (70 e 55 dB) (Quadro 1).

Quadro 1: Níveis de pressão sonora (L_{Aeq}) estabelecidos na Argentina em dB.

| Categoria | Diurno | Noturno |
|------------------|--------|---------|
| Áreas sensíveis | 50 | 35 |
| Área residencial | 55 | 45 |
| Uso misto | 60 | 50 |
| Uso industrial | 70 | 55 |

A Lei nº 056 de 2007 define que os municípios da **Bolívia** determinem os níveis de ruído de acordo com suas características [10]. Como exemplo, temos os parâmetros estabelecidos para Santa Cruz de la Sierra, a maior cidade boliviana. Essa norma classifica os níveis de ruído de acordo com o uso e horário (8h às 20h e 20h às 24h): área residencial (65 e 55 dB); áreas de hospitais, asilos e centros de saúde (55 e 55 dB); áreas de centros educativos e igrejas (65 e 55 dB); parques verdes (65 e 55 dB); áreas de preservação (60 e 55 dB); locais de descanso (60 e 55 dB) (Quadro 2).

No **Brasil**, a Constituição Federal de 1988 revela essa preocupação ao trazer em seu texto uma norma sobre o meio ambiente ecologicamente equilibrado, destacando a sua importância para a saúde da população [11].

O art. 1º, inciso III da Constituição Federal, afirma que a saúde é um direito fundamental do

ser humano. A ideia de sobrevivência foi superada pela preocupação em ofertar uma vida digna à população, permitindo que as pessoas de fato tenham qualidade de vida. A saúde é elevada a direito social, conforme art. 6º da mesma Constituição, passando a ser uma preocupação não só privada, mas pública, em que os poderes não apenas podem, mas devem interferir no sentido de propiciá-la à população [11].

Quadro 2: Níveis de pressão sonora (L_{Aeq}) estabelecidos na Bolívia em dB.

| Categoria | Diurno | Noturno |
|-------------------------------------|--------|---------|
| Área residencial | 65 | 55 |
| Área hospitalar | 55 | 55 |
| Área de centro educativos e igrejas | 65 | 55 |
| Parques verdes | 65 | 55 |
| Áreas de preservação | 60 | 55 |
| Locais de descanso | 60 | 55 |

A Constituição Federal reforça a importância da proteção ao meio ambiente ao trazer no §3º do art. 225 um princípio de criminalização. Diante disto, foi criada a Lei 9.605/98, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas relativas a atos lesivos ao meio ambiente, dentre eles a poluição, conforme art. 54 da Lei [12]. Além dessa Lei, destaca-se o Decreto-Lei de 3 de outubro de 1941, que, em seu art. 42, trata da perturbação da tranquilidade alheia pela emissão sonora [13].

Além das infrações criminais, também existem medidas administrativas que visam a impedir a emissão sonora indevida. Nesse contexto, destaca-se o Código de Trânsito Brasileiro (Lei 9.503/97), que traz diversas normas no sentido de evitar o tráfego de carros em desacordo com os valores padrões de ruídos permitidos. Destaca-se que esses valores são estabelecidos para garantir a segurança dos transeuntes e dos próprios condutores dos veículos [14].

A Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981 [15], estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, além de tratar do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), de onde se destaca

o órgão consultivo e deliberativo denominado Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). Consultivo no sentido de assessorar o Conselho de governo, que é o órgão superior do SISNAMA, e deliberativo no sentido de ser responsável por elaborar resoluções, conforme descrito no art. 6º, inciso II da Lei [15]. Dentre as resoluções do Conama, destacam-se três referentes à poluição sonora, especificamente, o ruído urbano.

Resolução nº 001/90, de 08 de março de 1990, dispõe sobre os padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propagandas políticas [16]. Segundo essa resolução, são prejudiciais à saúde e ao sossego público os ruídos que apresentarem níveis sonoros superiores aos considerados aceitáveis pela ABNT NBR 10.151 [17]; a emissão de ruídos produzidos por veículos automotores obedecerá às normas expedidas pelo Conselho Nacional de Trânsito – Contran; e as medições deverão ser efetuadas de acordo com a NBR 10.151.

A **Resolução nº 002**, de 08 de março de 1990, institui o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora, conhecido como Programa Silêncio [18]. Dentre seus objetivos destacam-se: promover cursos técnicos para capacitar pessoal e controlar os problemas de poluição sonora nos órgãos de meio ambiente estaduais e municipais em todo o país; divulgar junto à população, através dos meios de comunicação disponíveis, matéria educativa e conscientizadora dos efeitos prejudiciais causados pelo excesso de ruído; incentivar a fabricação e uso de máquinas, motores, equipamentos e dispositivos com menor intensidade de ruído quando de sua utilização na indústria, veículos em geral, construção civil, utilidades domésticas, entre outros [18].

A **Resolução nº 252**, de 01 de fevereiro de 1999, considera que o ruído excessivo, principalmente o proveniente dos veículos rodoviários automotores, causa prejuízo à saúde física e mental. Neste sentido, essa Resolução estabelece limites máximos de ruídos nos equipa-

mentos dos veículos medidos próximos ao escapamento, para inspeção e fiscalização de veículos em uso [19].

Além dessas resoluções, que tratam sobre o ruído urbano de forma geral, existem outras que aprofundam o tema ao tratar do ruído de tráfego [20, 21]. Os parâmetros de referência utilizados pelas resoluções descritas são extraídos da norma da ABNT, a NBR 10151, atualizada em 2019 [17].

A norma brasileira ABNT NBR 10.151 [17] estabelece os procedimentos técnicos a serem adotados na execução de medições de níveis de pressão sonora em ambientes internos e externos às edificações, bem como procedimentos e limites para avaliação dos resultados em função da finalidade de uso e ocupação do solo.

As áreas estabelecidas e os níveis de pressão sonora ponderada em A exigidos pela norma, de acordo com o período (7h às 22h e 22h às 7h) são: áreas de residências rurais (40 e 35 dB); área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas (50 e 45 dB); área mista predominantemente residencial (55 e 50 dB); área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa (60 e 55 dB); área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo (65 e 55 dB); área predominantemente industrial (70 e 60 dB) (Quadro 3).

A lei que estabelece os limites de ruído ambiental no **Chile** é a nº 1878 de 2006 [22]. Essa lei foi atualizada no ano de 2006 e estabelece, de acordo com os períodos entre 7h e 22h e entre 22h e 7h, os seguintes parâmetros: zona 1 (55 e 45 dB); zona 2 (60 e 45 dB); zona 3 (65 e 45 dB); zona 4 (70 e 70 dB). Para áreas urbanas com um Plano Regulatório Comum, a autoridade de saúde estabelecerá a zona disposta nessa lei, de acordo com as disposições do respectivo Plano. Para áreas urbanas sem um Plano Regulatório Comum, serão aplicados os níveis estabelecidos para a zona 3. Para áreas não urbanas, será aplicado o nível de pressão sonora corrigido (NPC) mais baixo permitido, o menor valor entre: a) Nível residual + 10 dB; b) NPC para a Zona III (Quadro 4 – As zonas

são, possivelmente, caracterizadas em função de um mapa ao qual as autoras não tiveram acesso).

Quadro 3: Níveis de pressão sonora (L_{Aeq}) estabelecidos no Brasil em dB.

| Categoria | Diurno | Noturno |
|--|--------|---------|
| Área de residências rurais | 40 | 35 |
| Área residencial urbana, hospitais ou escolas | 50 | 45 |
| Área mista predominantemente residencial | 55 | 50 |
| Área mista predominantemente comercial e/ou administrativa | 60 | 55 |
| Área mista predominantemente de atividades cultural, turismo e lazer | 65 | 55 |
| Área predominantemente industrial | 70 | 60 |

Quadro 4: Níveis de pressão sonora (L_{Aeq}) estabelecidos no Chile em dB.

| Categoria | Diurno | Noturno |
|-----------|--------|---------|
| Zona 1 | 55 | 45 |
| Zona 2 | 60 | 45 |
| Zona 3 | 65 | 45 |
| Zona 4 | 70 | 70 |

A Resolução 0627 [23] do Ministério de Ambiente, Habitação e Desenvolvimento Territorial estabelece os limites de ruído ambiental na **Colômbia**. Essa resolução institui, de acordo com o uso e os períodos entre 7h e 21h e entre 21h e 7h, os seguintes parâmetros: áreas residenciais (65 e 45 dB); área comercial (70 e 60 dB); área industrial (75 e 75 dB); área de tranquilidade (45 e 45 dB) (Quadro 5).

O Livro VI da Presidência da República do **Equador** [24] estabelece os limites permitidos de níveis de ruído ambiente para fontes fixas, móveis e para vibrações. Essa norma institui, de acordo com o uso e os períodos entre 6h e 20h e entre 20h e 6h, os seguintes parâmetros: áreas de hospitais e educativa (45 e 35 dB);

área residencial (50 e 40 dB); área residencial mista (55 e 45 dB); área comercial (60 e 50 dB); área comercial mista (65 e 55 dB); área industrial (70 e 65 dB) (Quadro 6).

Quadro 5: Níveis de pressão sonora (L_{Aeq}) estabelecidos na Colômbia em dB.

| Categoria | Diurno | Noturno |
|-----------------------|--------|---------|
| Área residencial | 65 | 45 |
| Área comercial | 70 | 60 |
| Área industrial | 75 | 75 |
| Área de tranquilidade | 45 | 45 |

Quadro 6: Níveis de pressão sonora (L_{Aeq}) estabelecidos no Equador em dB.

| Categoria | Diurno | Noturno |
|------------------------------|--------|---------|
| Área de hospital e educativa | 45 | 35 |
| Área residencial | 50 | 40 |
| Área residencial mista | 55 | 45 |
| Área comercial | 60 | 50 |
| Área comercial mista | 65 | 55 |
| Área industrial | 70 | 65 |

A lei que estabelece os limites de ruído ambiental no **Paraguai** é a nº 1.100 [25]. Essa lei estabelece, de acordo com o uso e os períodos (entre 7h e 20h, entre 20h e 7h e os horários de pico), os seguintes parâmetros: áreas residenciais e espaços públicos (60, 45 e 80 dB); áreas mistas, zonas de transição, centros urbanos, serviço (70, 55 e 85 dB); área industrial (75, 60 e 90 dB) (Quadro 7).

Quadro 7: Níveis de pressão sonora (L_{Aeq}) estabelecidos no Paraguai em dB.

| Categoria | Diurno | Noturno | Pico |
|-------------------------------------|--------|---------|------|
| Área residencial e espaços públicos | 60 | 45 | 80 |
| Uso misto | 70 | 55 | 85 |
| Área industrial | 75 | 60 | 90 |

O Decreto Supremo nº 085 de 2003 sobre a qualidade ambiental do ruído, estabelece os limites de ruído ambiental no **Peru** [26]. Essa

norma estabelece, de acordo com o uso e os períodos entre 7h e 22h e entre 22h e 7h, os seguintes parâmetros: área de proteção especial (50 e 40 dB); área residencial (60 e 50 dB); área comercial (70 e 60 dB); área industrial (80 e 70 dB) (Quadro 8).

Quadro 8: Níveis de pressão sonora (L_{Aeq}) estabelecidos no Peru em dB.

| Categoria | Diurno | Noturno |
|---------------------------|--------|---------|
| Área de proteção especial | 50 | 40 |
| Área residencial | 60 | 50 |
| Área comercial | 70 | 60 |
| Área industrial | 80 | 70 |

Em **Suriname**, os parâmetros são estabelecidos de acordo com o uso e os períodos (7h às 19h; 19h às 23h; 23h às 7h). Os parâmetros são: na fachada dos edifícios das áreas residenciais tranquilas na cidade (50, 45 e 40 dB); na fachada dos edifícios das áreas residenciais mistas, combinações de habitação e atividades leves de negócios (55, 45 e 40 dB); na fachada de edifícios sensíveis em área residenciais próximas de áreas industriais zoneadas (55, 50 e 45 dB); na fachada de edifícios sensíveis (70, 65, 60) [27] (Quadro 9).

Quadro 9: Níveis de pressão sonora (L_{Aeq}) estabelecidos no Suriname em dB.

| Categoria | 7h às 19h | 19h às 23h | 23h às 7h |
|---|-----------|------------|-----------|
| Na fachada dos edifícios das áreas residenciais tranquilas no interior da cidade | 50 | 45 | 40 |
| Na fachada dos edifícios das áreas residenciais mistas, combinações de habitação e atividades leves de negócios | 55 | 45 | 40 |
| Na fachada dos edifícios das áreas residenciais próximas de áreas industriais zoneadas | 55 | 50 | 45 |
| Na fachada de edifícios sensíveis | 70 | 65 | 60 |

Em dezembro de 2004 foi aprovada, no **Uruguai**, uma lei que trata sobre a poluição sonora no território nacional [28]. Porém, essa lei não estabelece os limites de ruído, cabendo a cada departamento estabelecer os seus. Sendo assim, Gonzáles [28] elaborou uma lista contendo os parâmetros estabelecidos nas normas/decretos de cada município. Em geral, as cidades estabeleceram parâmetros de acordo com o uso e o período diurno (entre 6h e 22h) e noturno (entre 22h e 6h). Para áreas residenciais, os valores variam entre 45 e 65 dB para o período diurno e 35 e 55 dB para o período noturno. Para áreas industriais, os valores variam entre 65 dB e 80 dB (diurno) e 50 dB e 70 dB (noturno) (Quadro 10).

Quadro 10: Níveis de pressão sonora (L_{Aeq}) estabelecidos no Uruguai em dB.

| Categoria | Diurno | Noturno |
|------------------|---------|---------|
| Área residencial | 45 a 65 | 35 a 55 |
| Área industrial | 65 a 80 | 50 a 70 |

O Regulamento nº 5 da Lei Orgânica do Ambiente Relativo a Ruídos Molestos e Nocivos estabelece os limites permitidos de ruído ambiente para a **Venezuela** [29]. Essa norma institui, de acordo com o uso e os períodos entre 7h e 22h e entre 22h e 7h, os seguintes parâmetros: áreas de hospitais e educativa (50 e 40 dB); área residencial (55 e 45 dB); áreas mistas de residências e comércios (65 e 55 dB); área recreativa (65 e 55 dB); área mista de comércio e indústrias (70 e 50 dB); área industrial (70 e 50 dB) (Quadro 11).

Quadro 11: L_{Aeq} estabelecidos na Venezuela em dB.

| Categoria | Diurno | Noturno |
|------------------------------------|--------|---------|
| Área de hospital e educativa | 50 | 40 |
| Área residencial | 55 | 45 |
| Área mista residencial e comercial | 65 | 55 |
| Área recreativa | 65 | 55 |
| Área mista comercial e industrial | 70 | 50 |
| Área industrial | 70 | 50 |

Ao analisar as diretrizes contidas nas normas dos países da América do Sul, observou-se que as áreas funcionais apresentam diferentes requisitos para a qualidade do som. As áreas industriais, por exemplo, apresentam menos requisitos quando comparadas às áreas de usos sensíveis. Em geral, as zonas destinadas a escolas, hospitais e espaços de lazer e uso habitacional se enquadram nos usos sensíveis e mistos, apresentando parâmetros mais rígidos (menor nível de pressão sonora).

Visto que os usos sensíveis precisam de maior controle, optou-se por avaliar os parâmetros acústicos voltados aos usos que se enquadram nessas classificações, em especial o uso habitacional.

Constatou-se que, em geral, os países classificam os níveis sonoros pelo tipo de uso, instituindo valores diurno e noturno. Dentre os países analisados, observou-se que as normativas vigentes no Paraguai determinam não apenas os níveis máximos de ruído permitidos para o período diurno e noturno, mas inclui, também, parâmetros para os horários de pico, compreendidos entre 7h e 12h e entre 14h e 19h (Quadro 12 e Figura 1).

Quadro 12: Níveis de pressão sonora (L_{Aeq}), expressos em decibel (dB), estabelecidos nos países sul-americanos para uso residencial urbano.

| Categoria | Diurno | Noturno | Pico |
|-----------|---------|---------|------|
| Argentina | 55 | 45 | - |
| Bolívia | 65 | 55 | - |
| Brasil | 50 | 45 | - |
| Chile | 55 | 45 | - |
| Colômbia | 65 | 45 | - |
| Equador | 50 | 40 | - |
| Paraguai | 60 | 45 | 80 |
| Peru | 60 | 50 | - |
| Suriname | 55 | 45 | - |
| Uruguai | 45 a 65 | 35 a 55 | - |
| Venezuela | 55 | 45 | - |

Ao analisar o Quadro 12 e a Figura 1 constatou-se que os valores estabelecidos variam entre 45 (Uruguai) e 65 dB (Bolívia, Colômbia e Uruguai) durante o período diurno e entre 35 (Uruguai) e 55 dB (Bolívia e Uruguai) durante o período noturno, tendo como predominantes os valores de 55 e 45 para o dia e noite, respectivamente.

O nível de ruído permitido no período noturno é sempre inferior ao diurno, com variações entre 5 e 20 dB. Ao comparar esses valores com os níveis instituídos pela Organização Mundial da Saúde, percebeu-se que a OMS apresenta critérios mais rígidos.

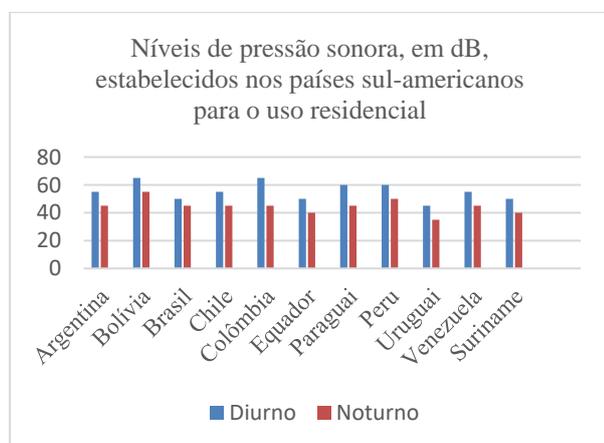


Figura 1: Gráfico da classificação dos parâmetros de ruído estabelecidos nos países sul-americanos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diferente do que acontece no cenário europeu, no qual os países são responsáveis pela prevenção e redução do ruído ambiental, nos países sul-americanos não existem leis que estabeleçam essa obrigatoriedade aos países.

As normas no âmbito sul-americano estabelecem parâmetros para controle do ruído, e os classificam de acordo com o tipo de uso, instituindo valores diurnos e noturnos.

Observou-se que as normas federais são de cunho genérico, cabendo aos municípios analisar e estabelecer índices e instrumentos regulatórios específicos em seus limites geográficos.

5. 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

- BRITO, Aurélio. Tolerância Zero em Fortaleza. Fortaleza: Premium, 2013. ISBN 978-85-7924-221-2.
- GUEDES, I. Influência da Forma Urbana em Ambiente Sonoro: Um estudo no bairro de Jardins em Aracajú (SE). 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/CAMP_24730384e5101783167b4a080af37961.
- BERGLUND, Birgitta, LINDVALL, Thomas, SCHWELA, Dietrich H & WORLD HEALTH ORGANIZATION. Occupational and Environmental Health Team. (1999). Guidelines for community noise. World Health Organization. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66217>.
- SILVA, Pérides. Acústica Arquitetônica & Condicionamento de Ar. 6ª ed. Belo Horizonte: Empresa Termo Acústica Ltda, 2011.
- KAMP, I. V.; SIMON, S.; NOTLEY, H.; BALIATSAS, C.; KEMPEN, E. Evidence Relating to Environmental Noise Exposure and Annoyance, Sleep Disturbance, Cardio-Vascular and Metabolic Health Outcomes in the Context of IGCN (N): A Scoping Review of Evidence regarding sources other than transport noise. In: The 49th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering (Internoise), 2020, Korea. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/ince/incep/2020/00000261/00000004/art00069>.

6. BRÜEL & KJÆR. Environmental noise. Denmark: Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/bruel-amp-kjaer-environmental-noise-measurementpdf-pdf-free.html>.
7. SOUZA, Danilo Fortuna Mendes de. Mapeamento acústico do ruído de tráfego rodoviário do bairro Imbuí, Salvador, BA. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/13071>.
8. 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. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=PT>.
9. MIYARA, Frederico. Análisis de la legislación sobre ruido y vibraciones. 1999. Disponível em: <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/legis.pdf>.
10. BOLÍVIA. Lei nº 056 de 2007. CONCEJO MUNICIPAL: La competencia municipal para la preservación, conservación del medio ambiente y el control de la contaminación, asimismo sancionar los daños a la salud pública y al medio ambiente establecida en la Ley de municipalidades y. 2007.
11. BRASIL. CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL DE 1998. Brasília, DF: 5 de outubro de 1998. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm#:~:text=I%20%2D%20construir%20uma%20sociedade%20livre,quais%20outras%20formas%20de%20discrimina%C3%A7%C3%A3o.
12. BRASIL. Lei 9.605 de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas relativas a atos lesivos ao meio ambiente. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm.
13. BRASIL. Decreto-Lei 3.688 de 3 de outubro de 1941. Decreta lei das contravenções penais. 1941. Disponível em: <https://legislacao.presidencia.gov.br/atos/?tipo=DEL&numero=3688&ano=1941&ato=8a50zYE5kMnRkTadb>.
14. BRASIL. Lei 9.503 de 23 de setembro de 1997. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19503compilado.htm.
15. BRASIL. Lei 6.938 de 31 de agosto de 1981. Estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e institui o Cadastro de Defesa Ambiental. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm.
16. BRASIL. Resolução CONAMA nº. 001, de 08 de março de 1990, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, dispõe sobre critérios e padrões de emissão de ruídos. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/>.
17. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.151: Acústica — Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas — Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro, 2019.
18. BRASIL. Resolução Conama nº. 002, de 08 de março de 1990, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, institui em caráter nacional o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/>.
19. BRASIL. Resolução CONAMA nº. 252, de 01 de fevereiro de 1999, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, estabelece, para os veículos rodoviários automotores, inclusive veículos encarroçados, complementados e modificados, nacionais ou importados, limites máximos de ruído nas proximidades do escapamento, para fins de inspeção obrigatória e fiscalização de veículos em uso. 1999. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/>.

20. BRASILEIRO, Tamáris da Costa. Mapeamento sonoro: Estudo do ruído urbano no bairro Castelo Branco, em João Pessoa/PB. 2017. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/22394/1/MapeamentoSonoroEstudo_Brasileiro_2017.pdf.
21. BRASILEIRO-MENESES, Tamáris da Costa. Mapa de ruído como ferramenta para o planejamento territorial a partir da análise da população exposta: Estudo de caso na área de influência da Rodovia Transamazônica (BR-230) na Região Metropolitana de João Pessoa/PB. 2021. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/44893>.
22. CHILE. Lei 1878 de 2006. COMISIÓN NACIONAL DEL MEIO AMBIENTE. El objetivo de la presente norma es proteger la salud de la población mediante el establecimiento de niveles máximos de emisión de ruido. 2006. Disponível em: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1040928>.
23. COLOMBIA. Resolución 0627 de 2006. MINISTERIO DE AMBIENTE, HABITACIÓN E DESENVOLVIMIENTO TERRITORIAL. Revisión del normatividad para el ruído acústico en Colombia y su aplicación. 2006. Disponível em: <https://www.mincit.gov.co/ministerio/normograma-sig/procesos-de-apoyo/gestion-de-recursos-fisicos/resoluciones/resolucion-627-de-2006.aspx>.
24. EQUADOR. Decreto N° –.516 - Límites permisibles de niveles de ruido ambiente para fuentes fijas, fuentes móviles y para vibraciones (Anexo V, Libro VI: De la Calidad Ambiental, del Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). 2003. Disponível em <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112184.pdf>.
25. PARAGUAI. Ley n° 1.100 de 1997. EL CONGRESO DE LA NACION PARAGUAYA. 1997. Disponível em: <https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/9414/ley-n-1100-de-prevencion-de-la-polucion-sonora>.
26. PERU. Decreto Supremo n° 085 de 2003.
27. KULDIPSINGH READYMIX N. V. Milieu effectrapport. Dijkveld, Paramaribo, Suriname. 2010. Disponível em: <https://adoc.pub/milieu-effectrapport-kuldipsingh-readymix-nv-dijkveld-parama.html>.
28. GONZÁLES, A. E. Normativa sobre Contaminación Acústica en Uruguay. In VI Congreso Iberoamericano de Acústica (FIA), 2008, Anais... Buenos Aires. 2008. Disponível em: <http://www.sea-acustica.es/fileadmin/BuenosAires08/a-113.pdf>.
29. VENEZUELA. Reglamento N° 5 de la Ley Orgánica del Ambiente Relativo a Ruidos Molestos y Nocivos. Decreto N° 370 de fecha 19 de noviembre de 1979. Disponível em: <https://venezuela.justia.com/federales/reglamentos/reglamento-n-5-de-la-ley-organica-del-ambiente-relativo-a-ruidos-molestos-y-nocivos/gdoc/>.

Validação de programa de simulação acústica de salas via inter-comparação internacional e aferição de inteligibilidade

Melo, V. S. G.^{1, 2} ; Tenenbaum, R. A.² ; Santos, E. S. O.² ; Soares, M. C.² ; Sampaio, G. R.¹ 

¹ Engenharia Acústica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS,
{viviane.melo, gabriel.sampaio}@eac.ufsm.br

² Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS,
ratenenbaum@gmail.com, sofia.oliveira@acad.ufsm.br, murilo.c.soares@outlook.com

Resumo

O artigo aborda a validação dos resultados de simulação do código computacional de acústica de salas RAIOS 7. O programa calcula as respostas impulsivas mono e biauriculares (RIR e BRIR), bem como os principais parâmetros de qualidade acústica em um recinto, para pares especificados fonte-receptor. A sala simulada é uma das utilizadas na última intercomparação internacional de simuladores. Para validar as respostas impulsivas monoauriculares e o cálculo dos parâmetros acústicos, resultados de simulação são comparados com resultados de outros programas e com dados de medição na sala, anteriormente publicados. O código em análise situa-se, na média, no terço superior entre o conjunto de programas de simulação acústica de salas participantes do certame. Para validar as respostas impulsivas biauriculares utilizam-se testes de articulação. São realizados ensaios de inteligibilidade em cinco salas de aula de diferentes dimensões. As salas são modeladas no código computacional de modo a gerar as respostas impulsivas biauriculares para pares fonte-receptor posicionados tal como na sala real. Os mesmos sinais sonoros utilizados nos testes reais são então convoluídos com as respostas impulsivas biauriculares simuladas, gerando auralizações. Testes de articulação são, finalmente, realizados a partir das auralizações e os seus resultados comparados com os testes conduzidos nas salas reais, indicando erros menores do que 5%.

Palavras-chave: simulação acústica de salas, validação de código computacional, comparação internacional, índices de articulação, auralização.

PACS: 43.55.-n, 43.55.Br, 43.55.Ka.

Validation of room acoustics simulation software using international intercomparison and intelligibility assessment

Abstract

The article addresses the validation of the simulation results of the RAIOS 7 room acoustics computational code. The software calculates monaural and binaural room impulse responses (RIR and BRIR), as well as the main acoustical quality parameters in an enclosure, for specified source-receiver pairs. The simulated room is one of those used in the last international inter-comparison of room acoustic simulators. In order to validate the monaural impulse responses and the calculation of acoustical parameters, simulation results are compared with results from other software and with previously published room measurement data. The considered software shows to stay, in average, in the upper third of the software set. To validate the binaural impulse responses, articulation tests are used. Intelligibility tests are carried out in five classrooms of different sizes. The rooms are modeled in the computer code in order to generate the binaural impulse responses for source-receiver pairs positioned as in the actual room. The same sound signals used in the real tests are then convolved with the simulated binaural room impulse responses, generating auralizations. Articulation tests are, finally, carried out from the auralizations and their results compared with the tests conducted in the actual rooms, indicating errors smaller than 5%.

Keywords: room acoustical simulation, software validation, international intercomparison, articulation scores, auralization.

1. INTRODUÇÃO

A simulação de campo acústico em recintos remonta aos trabalhos pioneiros de Allred e Newhouse [1] e de Schroeder [2]. Com o rápido desenvolvimento da tecnologia digital, a simulação numérica passou a desempenhar papel preponderante em projetos acústicos devido ao seu baixo custo e facilidade de introdução de alterações em projetos acústicos de salas. Mais recentemente, com o advento de técnicas de geração de aurilização¹ [3], a simulação numérica passou a favorecer a imersão sonora do ouvinte em um ambiente virtual. Diversas dessas técnicas foram publicadas nos anos 1990 [4–8] e 2000 [9–13].

Contudo, a despeito do grande interesse despertado pela área de simulação em acústica de salas, a primeira pergunta que surge naturalmente é até que ponto os diversos algoritmos de simulação são capazes de prever com acurácia o campo acústico em um dado recinto. Buscando responder essa importante questão, foram criadas as intercomparações internacionais de simulação em acústica de salas, denominadas “*Round Robin*” (RR). A ideia básica desses certames é comparar as simulações produzidas por diferentes algoritmos com os dados de medições efetuadas nas salas reais. A participação é voluntária, as informações geométricas e acústicas das salas são fornecidas às equipes participantes e, ao final, após todos terem enviado seus resultados de simulação, são disponibilizados os dados de medição de modo às equipes participantes poderem avaliar a acurácia de seus algoritmos. Costumam participar dos RRs tanto equipes desenvolvedoras de programas de simulação acústica de salas como seus usuários.

A primeira dessas intercomparações ocorreu em 1994 [14]. O segundo RR foi lançado em 1999 [15] e o terceiro em 2004 [16, 17]. Finalmente,

¹O termo “aurilização” — que consideramos mais adequado do que os termos, também utilizados, “auralização” e “audibilização” — provém do inglês “auralization”, que significa tornar audível. A opção dos autores se deve ao antepositivo “auri-”, que significa “orelha”, originando palavras como “auricular”, “aurícula”, “auriculista” etc.

em 2016, foi proposto o assim chamado primeiro *Round Robin* em simulação acústica de salas e aurilização [18]. Esta última intercomparação envolveu nove salas em diversas configurações, caracterizando 25 cenários ao todo, fontes direcionais, variadas posições de fontes e receptores no interior dos recintos e demandou a simulação de um massivo número de respostas impulsivas mono e biauriculares, constituindo estas a grande novidade do certame, que teve como um de seus objetivos avaliar a capacidade dos programas em realizar a aurilização das salas.

A grande maioria dos programas de simulação acústica de salas opera dentro das hipóteses da acústica geométrica [19], portanto, para a região acima da frequência de Schroeder. Isso significa dizer que as ondas sonoras que se propagam no ambiente podem ser tratadas como raios acústicos, ortogonais às frentes de onda [20]. Há dois métodos básicos para modelar raios acústicos: o método de traçado de raios [21] e suas variantes [22]; e o método das fontes virtuais [23]. Há, também, algoritmos que utilizam métodos híbridos, com o cálculo das primeiras reflexões via método das fontes virtuais e o restante da cauda reverberante utilizando o método de traçado de raios [24]. Em princípio, esses métodos lidam bem com as assim chamadas reflexões especulares, mas não são considerados acurados nas simulações das reflexões difusas [25].

As reflexões difusas desempenham um papel importante em simulação numérica de acústica de salas, particularmente quando sua aurilização é desejada, promovendo maior uniformidade do campo sonoro [26]. Há diversas técnicas para modelar as reflexões difusas, sendo uma das mais utilizadas e bem-sucedidas a da modelagem por radiosidade, também conhecida como método das transições de energia [27].

Este artigo aborda a validação de resultados de simulação numérica de acústica de salas para o código computacional RAIOS 7, tanto quanto à obtenção de respostas impulsivas monoauriculares (RIRs) quanto à geração de respostas impulsivas biauriculares (BRIRs). Os critérios adotados para a validação de um programa de simula-

ção acústica são aqueles utilizados em todos os RRs, ou seja, para a validação de respostas impulsivas monoauriculares (RIRs), comparam-se os valores simulados dos parâmetros de qualidade acústica com os respectivos valores medidos; já para a validação das respostas impulsivas biauriculares os critérios variam, sendo que, neste trabalho, optou-se por comparar índices de articulação.

O artigo está estruturado como se segue. Na Seção 2, abordam-se as principais características do código computacional. Na Seção 3, apresentam-se os resultados comparativos de simulação do programa RAIOS 7 relativos às respostas impulsivas monoauriculares, tomando como referência o Cenário 10 utilizado no primeiro *Round Robin* em simulação acústica de salas e aurilização, sala que foi cuidadosamente medida pela equipe organizadora do certame. Na Seção 4, faz-se a validação das respostas impulsivas biauriculares simuladas pelo código. Para tal, comparam-se índices de articulação, obtidos a partir das BRIRs geradas pelo programa, com os índices de articulação reais, medidos em cinco salas distintas. Na Seção 5, é feita uma discussão dos resultados encontrados. Finalmente, a Seção 6 reúne as principais conclusões do presente estudo.

2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO CÓDIGO COMPUTACIONAL

O código computacional RAIOS, acrônimo de *Room Acoustics Integrated and Optimized Software* ou programa integrado e otimizado para simulação de acústica de salas, em tradução livre, deve o início de seu desenvolvimento a uma dissertação de mestrado [28]. Naquela ocasião, o programa calculava exclusivamente o campo acústico em regime permanente no interior de um dado recinto. Após diversas dissertações de mestrado [29–31] e teses de doutorado [32–34], o programa RAIOS chegou à sua versão 7, com o cálculo das BRIRs modelado por uma técnica de inteligência artificial, baseada em redes neurais artificiais [35, 36].

O programa RAIOS modela o campo acústico por meio de um método híbrido, no qual as re-

flexões especulares são calculadas por um algoritmo de traçado de raios e as reflexões difusas são obtidas por meio do método de transições de energia [27]. As reflexões especulares, a absorção sonora nas superfícies, função dos coeficientes de absorção, e a atenuação devida à propagação no ar são calculadas em uma primeira fase, resultando em uma resposta impulsiva especular. A cada reflexão, parte da energia é armazenada em uma matriz, função dos coeficientes de espalhamento, de modo a gerar a resposta impulsiva difusa [37]. Esta é calculada em uma segunda etapa e adicionada à resposta impulsiva anterior. O programa RAIOS participou, em sua versão 3, do *Round Robin 3* [38]. O programa RAIOS 7 calcula, em valores globais e por bandas de oitava entre 63 Hz e 16 kHz, 14 parâmetros de qualidade acústica, segundo a norma ISO 3382 [39–41], bem como a família de parâmetros acústicos biauriculares (IACF).

Para a determinação das respostas impulsivas biauriculares da sala, o código RAIOS utiliza uma técnica inovadora. Ao invés de se utilizar de um banco de dados de respostas impulsivas associadas à cabeça humana (HRIRs) e efetuar a operação de convolução entre cada raio acústico que chega ao receptor numa dada direção com a HRIR daquela direção, o programa lança mão de um outro banco de dados com redes neurais artificiais previamente treinadas para cada uma das 64.442 direções de chegada do raio sonoro. O espectro em nove bandas de oitava do raio acústico chegando ao receptor é utilizado como entrada da rede neural e a saída constituirá a HRIR filtrada para a direção considerada [42]. As diversas HRIRs filtradas são então atrasadas segundo o tempo de chegada do raio acústico e, após adicionadas, constituirão a resposta impulsiva biauricular (BRIR) da sala para o par fonte-receptor em consideração. O ganho é de custo computacional. Demonstrou-se que as BRIRs obtidas por meio do método das redes neurais artificiais são indiscerníveis daquelas obtidas via o método clássico da convolução, com um custo computacional de aproximadamente 10% do custo do método clássico, em virtude de operar exclusivamente no domínio do tempo [36].

3. VALIDAÇÃO DAS RIRS

Nesta seção, apresentam-se os resultados de validação das respostas impulsivas monoauriculares. A validação é realizada comparando-se os valores simulados para quatro parâmetros de qualidade acústica, a saber: tempo de reverberação, avaliado como T_{20} ; tempo de decaimento inicial, EDT; fator de clareza para música, C_{80} ; e definição para fala, D_{50} , com os valores medidos e os simulados pelos demais programas participantes do *Round Robin* em simulação acústica de salas e aurilização, cujos dados estão disponíveis em [43]. A sala utilizada como referência é o Cenário 10 do certame, que consiste em uma das salas da Konzerthaus, situada em Berlim, com um volume de, aproximadamente, 2.350 m^3 , veja Figura 1.



Figura 1: Sala de concertos utilizada para validação de resultados monoauriculares [43].

A Figura 2 ilustra a mesma sala tal como inserida no programa RAIOS 7, com a indicação das posições das fontes sonoras (icosaedros) e microfones onidirecionais (poliedros de 32 faces). A fonte sonora ativa (LS1) está indicada em vermelho; os receptores ativos (MP1, MP2, MP3 e MP4) estão indicados em verde. As demais fontes e microfones (inativos) estão indicados na coloração cinzenta.

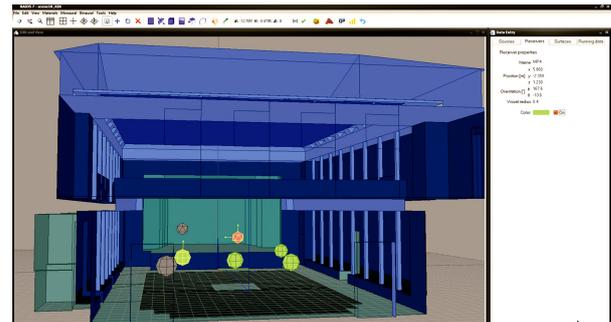


Figura 2: Cenário 10 do *round robin* com a posição de fontes sonoras e microfones.

A seguir, apresentam-se os resultados comparativos envolvendo os parâmetros acústicos acima referidos com seus resultados medidos, com indicação da margem da JND (sigla em inglês para *just noticeable difference* ou diferença do limiar perceptível), os valores simulados pelos *Software A, B, C, D, E e F*, não identificados em Brinkmann et al. [18], e os valores obtidos pelo programa RAIOS 7, indicado como R7. A Figura 3 indica a simbologia adotada nos gráficos das Figuras 4 a 19.



Figura 3: Simbologia adotada nos gráficos comparativos.

As Figuras 4 a 19 ilustram os resultados comparativos dos parâmetros T_{20} , EDT, C_{80} e D_{50} , computados pelos sete *software* indicados na Figura 3, bem como os respectivos valores medidos (linha sólida em preto), a região que compreende o JND [15], linha tracejada, e, para o tempo de reverberação, os valores calculados pela fórmula de Eyring [19], linha pontilhada. As Figuras 4 a 19 são adaptadas de Brinkmann et al. [18], naturalmente com a inclusão dos resultados simulados pelo *Software R7*. A identificação dos valores obedece à simbologia indicada na Figura 3.

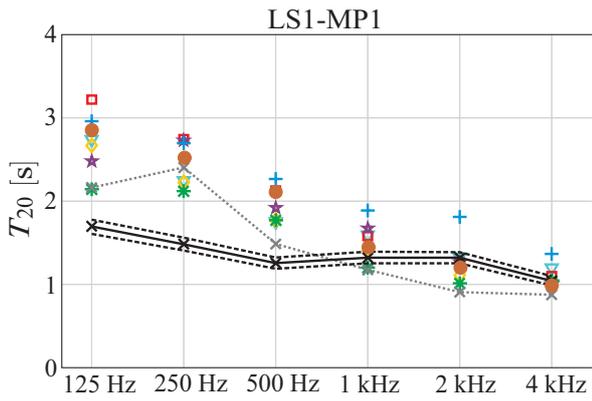


Figura 4: T_{20} em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP1.

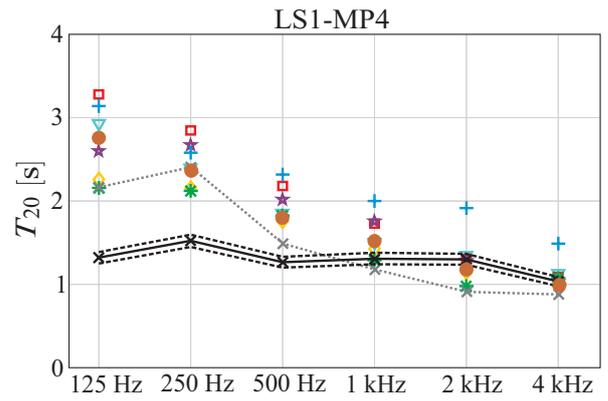


Figura 7: T_{20} em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP4.

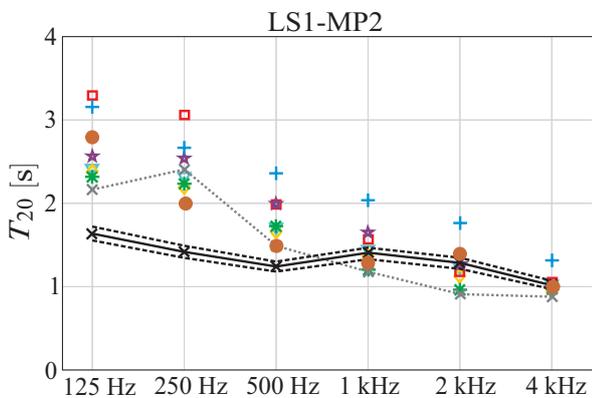


Figura 5: T_{20} em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP2.

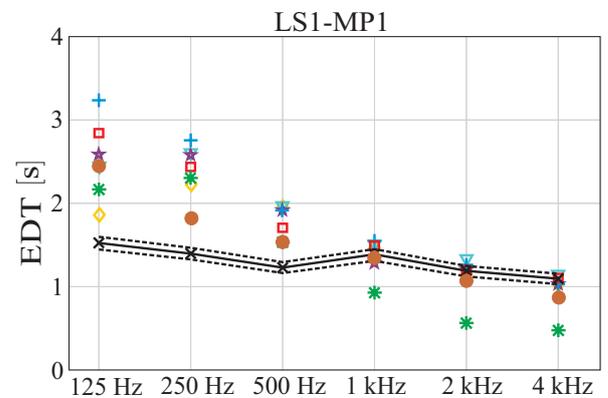


Figura 8: EDT em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP1.

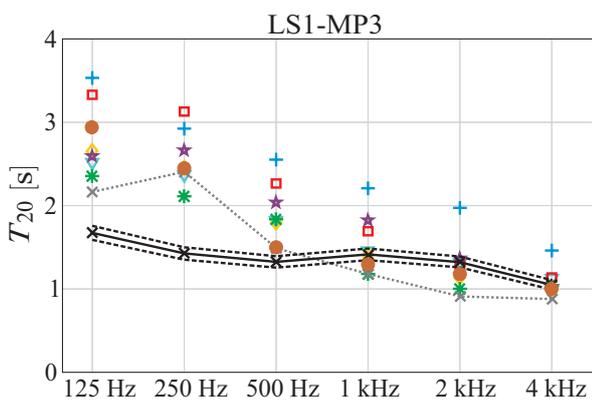


Figura 6: T_{20} em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP3.

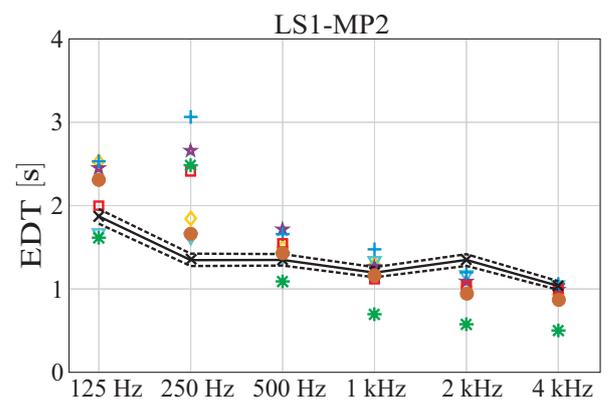


Figura 9: EDT em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP2.

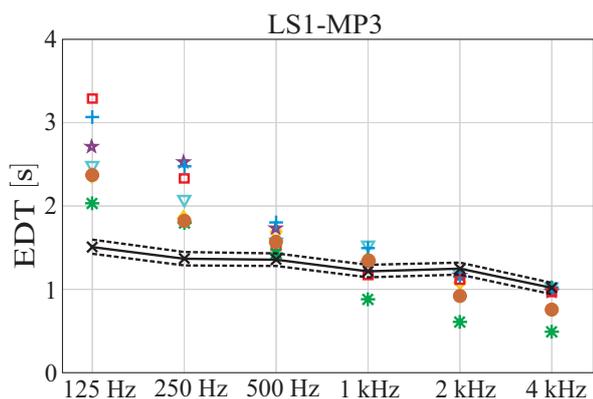


Figura 10: EDT em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP3.

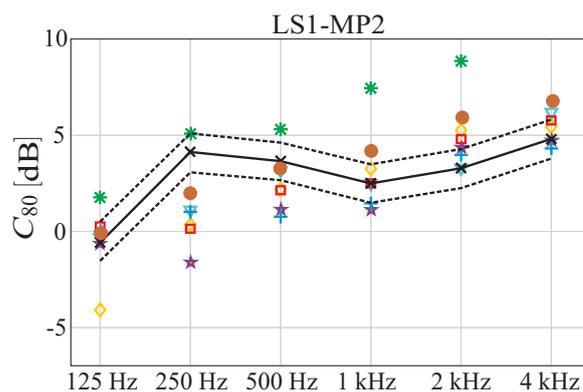


Figura 13: C_{80} em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP2.

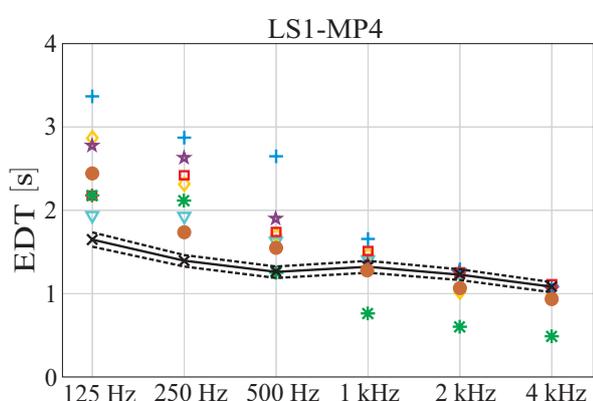


Figura 11: EDT em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP4.

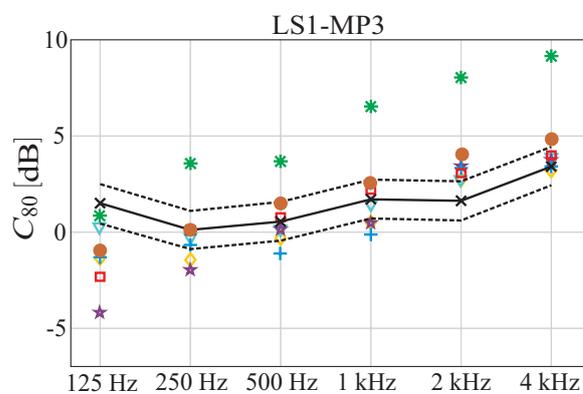


Figura 14: C_{80} em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP3.

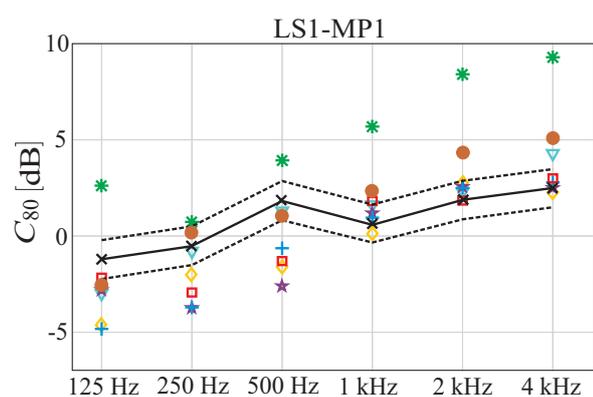


Figura 12: C_{80} em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP1.

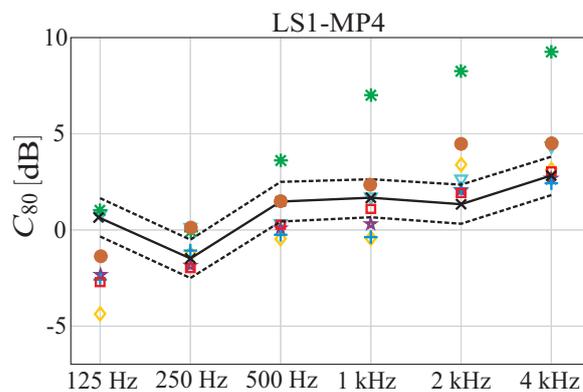


Figura 15: C_{80} em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP4.

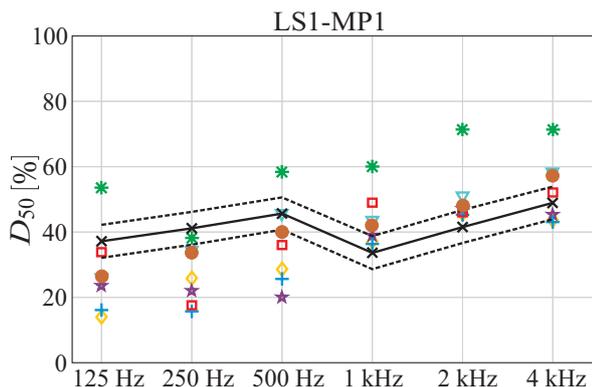


Figura 16: D_{50} em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP1.

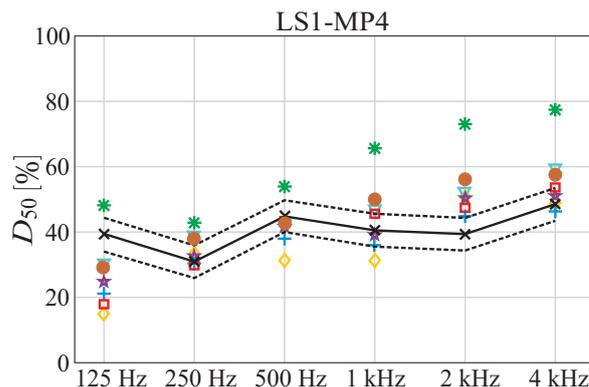


Figura 19: D_{50} em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP4.

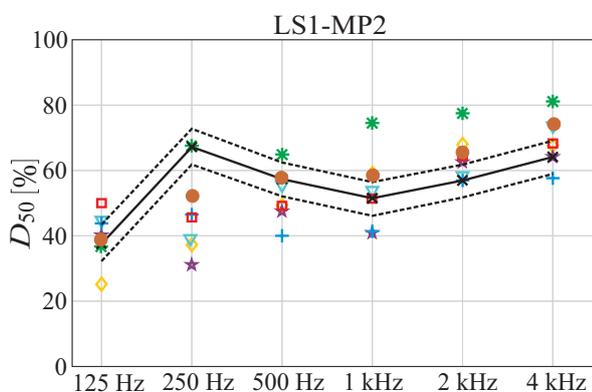


Figura 17: D_{50} em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP2.

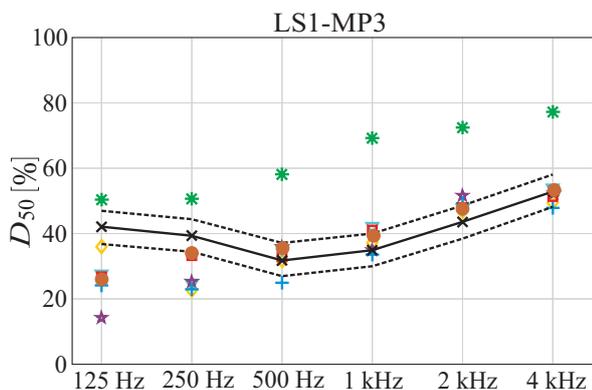


Figura 18: D_{50} em função da frequência para o par fonte-receptor LS1-MP3.

Objetivando classificar os sete programas de simulação quanto a seus respectivos desvios em relação aos dados oriundos de medição na sala considerada, foram calculados, para cada um dos quatro parâmetros simulados, as médias aritméticas dos módulos dos desvios, com respeito aos dados de medição, para as seis bandas de oitava e para os quatro pares fonte-microfone (média de 24 valores), segundo

$$\bar{D}(p) = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^4 |x_s(i, j) - x_m(i, j)|, \quad (1)$$

em que $\bar{D}(p)$ significa o desvio médio (para o parâmetro p), x_s corresponde ao dado simulado, x_m corresponde ao dado medido, i é o contador por banda de oitava e j é o contador para os pares fonte-microfone.

Os resultados são apresentados na Tabela 1. As médias dos desvios menores do que os obtidos para o programa R7 estão indicados em negrito; já as médias dos desvios maiores do que os obtidos para o programa R7 estão indicados em itálico na tabela.

Tabela 1: Médias dos desvios, com relação aos dados medidos, dos resultados de simulação fornecidos por cada um dos programas, para os parâmetros T_{20} , EDT, C_{80} e D_{50} .

| | A | B | C | D | E | F | R7 |
|---------------|------|-------------|-------------|-------------|------|-------------|------|
| T_{20} [s] | 0,82 | 0,34 | 0,42 | 0,47 | 0,53 | 0,68 | 0,52 |
| EDT [s] | 0,68 | 0,62 | 0,37 | 0,54 | 0,52 | 0,52 | 0,37 |
| C_{80} [dB] | 1,8 | 4,3 | 1,7 | 1,1 | 1,8 | 1,6 | 1,5 |
| D_{50} [%] | 13,3 | 18,3 | 12,0 | 8,2 | 12,2 | 10,3 | 11,2 |

4. VALIDAÇÃO DAS BRIRS

Aurilizações constituem sinais sonoros a serem ouvidos por humanos e, como tal, envolvem aspectos eminentemente subjetivos e de caráter multidimensional para sua avaliação. Diversos esforços têm sido feitos para definir métricas para avaliar aurilizações, a mais completa delas consistindo no SAQI, um acrônimo em inglês para *Spatial Audio Quality Inventory* [44]. Trata-se de um repertório de 48 termos em língua inglesa para caracterizar a percepção subjetiva de um sinal de áudio. Os descritores estão classificados em oito categorias, como timbre, dinâmica e tonalidade, entre outros, utilizando-se de termos como “maior ou menor” ou “mais ou menos intenso” para classificar cada descritor, o que resulta em uma avaliação naturalmente subjetiva do sinal de áudio em análise. O SAQI foi utilizado por Brinkmann et al. [18], dentre outras técnicas, para avaliar as respostas impulsivas biauriculares geradas pelos programas participantes do primeiro *Round Robin* em simulação acústica de salas e aurilização, o que, naturalmente, exigiu o acesso à sala real em consideração. Contudo, poucas conclusões mais assertivas são extraídas da análise, a mais importante delas sendo o fato de que as simulações de todos os programas geraram, no domínio perceptual, aurilizações consideradas plausíveis, porém não autênticas [18].

Alguns autores têm seguido em outra direção, buscando uma métrica que gere um valor numérico a ser comparado. Este é o caso de se utilizar índices de articulação [42, 45–47] para avaliar as aurilizações geradas por simulação

numérica. O conceito básico é bastante simples. Comparam-se índices de articulação medidos na sala real, ou seja, com os participantes presentes na sala em estudo, com os índices de articulação obtidos pelos mesmos participantes ouvindo os sinais de aurilização gerados a partir da simulação das mesmas salas. Os sinais sonoros virtuais são avaliados por voluntários por meio de fones de ouvido e os dois índices de articulação são comparados. Estudos têm demonstrado [42, 45–50] que o índice de articulação pode ser utilizado como métrica para avaliar aurilizações.

O método adotado neste trabalho para a avaliação dos índices de articulação em salas é, essencialmente, aquele proposto por Melo [49]. Cinco salas de aula de médio porte (180 m² a 280 m²) são selecionadas; 36 voluntários jovens de ambos os sexos, estudantes universitários, realizam os testes de articulação tanto reais quanto aqueles gerados a partir das simulações, nas cinco salas. Para os testes reais, os voluntários são organizados em quatro grupos de nove pessoas, na forma como indicado na Figura 20. Para cada um desses grupos, o índice de articulação é avaliado pela média de acertos dos nove elementos do grupo no teste de articulação. A disposição adotada na sala é a de nove carteiras próximas, como indica a Figura 20, e cada um dos quatro grupos são distribuídos uniformemente na sala, guardando distância de pelo menos 1,5 m das paredes.

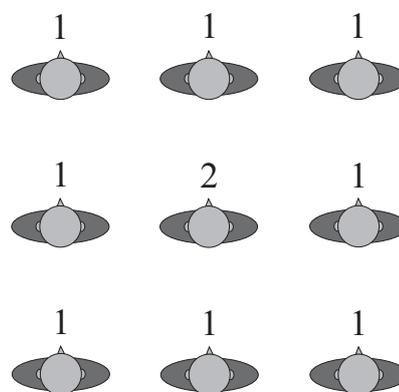


Figura 20: Arranjo de oito receptores (1) em torno de um nono receptor (2), tomado como referência para a simulação.

Listas com cem monossílabos, montadas a partir de um conjunto de 226 palavras monossilábicas gravadas na câmara anecoica da Divisão de Acústica e Vibrações do Inmetro, em Xerém, são emitidas pelo orador artificial, ilustrado na Figura 21. O orador artificial apresenta uma direcionalidade na emissão dos sinais sonoros bastante semelhante à da voz humana [48]. Cada um dos 36 voluntários anota o ditado de cem palavras, que é posteriormente corrigido pela equipe do projeto, responsável por assinalar o seu escore de acertos. Como mencionado, para cada grupo de nove voluntários é registrada uma média de acertos. A lista de palavras foi selecionada a partir de um estudo feito na faculdade de letras da UFRJ [51] e foi gravada por uma oradora do sexo feminino com sotaque carioca.



Figura 21: Orador artificial para a emissão dos sinais sonoros nos testes.

Cada uma das cinco salas é simulada no código computacional R7. Tempos de reverberação (T_{20}) são também medidos nas salas de modo a se ajustar ligeiramente os coeficientes de absorção dados como entrada no programa de simulação e estimados visualmente, otimizando, por esse procedimento, as simulações. As respostas impulsivas biauriculares são então calculadas pelo programa R7 para cada uma das cinco salas, com a posição da fonte sonora correspondendo à posição adotada pelo orador artificial e para cada uma das quatro posições correspondentes àquelas ocupadas pelo ouvinte

central, indicado como (2) na Figura 20.

De posse das 20 BRIRs simuladas, é feita a convolução do sinal sonoro de cada BRIR com o sinal sonoro anecoico contendo a lista de monossílabos, gerando assim as aurilizações por simulação. Utilizou-se o mesmo conjunto de palavras monossilábicas para os dois testes, porém com alteração na ordem dos monossílabos, de forma a evitar o reconhecimento de memória da sequência de palavras por parte dos participantes. A aurilização por simulação é submetida aos voluntários² por meio de fones de ouvido equalizados [52]. Todos os voluntários fizeram um teste simplificado de audiometria tonal limiar para confirmar a não existência de deficiências auditivas. Em todas as cinco salas o orador artificial foi posicionado no centro da mesa do professor, voltado para o público, com os quatro grupos de nove ouvintes distribuídos no recinto no padrão típico de ocupação de salas de aula. A Tabela 2 apresenta os resultados comparativos dos índices de articulação obtidos. Todos os valores estão em porcentagem. A “diferença” corresponde ao valor medido menos o valor simulado correspondente.

Tabela 2: Índices de articulação médios (medidos, simulados e diferença) para as quatro posições nas cinco salas de teste.

| Sala | Real/ Virtual | P1 | P2 | P3 | P4 |
|------|---------------|----------|----------|----------|----------|
| S1 | Medido | 95 | 89 | 88 | 90 |
| | Simulado | 92 | 85 | 86 | 88 |
| | Diferença | 3 | 4 | 2 | 2 |
| S2 | Medido | 90 | 84 | 86 | 80 |
| | Simulado | 86 | 80 | 83 | 78 |
| | Diferença | 4 | 4 | 3 | 2 |
| S3 | Medido | 93 | 88 | 82 | 89 |
| | Simulado | 90 | 85 | 81 | 85 |
| | Diferença | 3 | 3 | 1 | 4 |
| S4 | Medido | 80 | 81 | 78 | 80 |
| | Simulado | 78 | 80 | 75 | 77 |
| | Diferença | 2 | 1 | 3 | 3 |
| S5 | Medido | 80 | 74 | 76 | 80 |
| | Simulado | 76 | 70 | 75 | 78 |
| | Diferença | 4 | 4 | 1 | 2 |

²Alunos de graduação da disciplina Acústica Aplicada.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Pode-se depreender da Tabela 1 que, para o cálculo de T_{20} , o código computacional R7 situou-se em quarto lugar dentre os sete programas comparados, atrás dos *Software B*, *C* e *D*. Para o cálculo de D_{50} , o programa R7 colocou-se em terceiro lugar, atrás dos *Software D* e *F*. Já na avaliação de C_{80} , o código computacional R7 posicionou-se em segundo lugar, atrás somente do *Software D*. Finalmente, na simulação do parâmetro EDT, o código computacional R7 alcançou o primeiro lugar, juntamente com o *Software C*. No geral, observando-se atentamente a Tabela 1, depreende-se que, em termos de desvios em relação aos valores medidos, o código computacional RAIOS 7 encontra-se no terço superior do conjunto de sete programas de simulação, para essa sala de médio porte.

Alguns comentários cabem aqui sobre o desempenho do programa R7 no cálculo das respostas impulsivas monoauriculares. Primeiramente, os parâmetros acústicos que envolvem um balanço entre as energias inicial e reverberante da resposta impulsiva, como é o caso de C_{80} e D_{50} , parecem ser bem avaliados, apresentando um desvio menor que 12% no segundo caso e da ordem de 1,5 dB no primeiro. Isso significa que, provavelmente, a técnica híbrida utilizada no código R7 preenche adequadamente a resposta impulsiva da sala, para as distintas posições de fontes e receptores, equilibrando o som direto, as primeiras reflexões e as reflexões tardias tal como na sala real. O bom resultado obtido para o parâmetro EDT, indica que o código computacional R7 estima corretamente a curva de decaimento inicial da sala que, por sua vez, é obtida a partir da RIR pelo método clássico da integração reversa de Schroeder. Todavia, no cálculo do tempo de reverberação, as Figuras 4–7 mostram que houve sobrestimação do parâmetro para frequências abaixo de 1 kHz. Isso indica que o código R7 não captura corretamente o decaimento da sala no intervalo (-5, -25) dB, na região de baixa frequência. Contudo, é justamente na região de baixa frequência em que ocorre maior incerteza na medição do tempo de reverberação da sala, mesmo estando acima da frequência de Schroeder (cerca de 50 Hz).

Na validação das respostas impulsivas monoauriculares os resultados indicam que o programa R7 não consegue calcular com acurácia o parâmetro T_{20} , apresentando um desvio médio de 0,52 s, enquanto o *Software B*, que obteve o menor desvio nesse parâmetro, mostrou um desvio médio de 0,34 s e o *Software A* indicou um desvio médio de 0,84 s. Observando-se os gráficos das Figuras 4–7, nota-se que, efetivamente, o tempo de reverberação não é adequadamente capturado pelos diferentes algoritmos. Já no que toca à estimação de balanços energéticos entre as partes inicial e final das respostas impulsivas, caracterizados pelos parâmetros C_{80} e D_{50} , o desempenho de todos os programas foi melhor, com desvios nos valores de C_{80} menores do que 2 dB (excetuando-se o *Software B*), e com o programa R7 apresentando um desvio de 1,5 dB, maior apenas do que o desvio apresentado pelo *Software D*. Analogamente, os desvios no parâmetro D_{50} são menores do que 14% (novamente, excetuando-se o *Software B*) sendo o valor de desvio apresentado pelo programa R7 igual a 11,2%, o segundo menor, como mencionado. De forma talvez surpreendente, o tempo de decaimento inicial, estimado pelo parâmetro EDT, foi bastante bem avaliado pelo programa R7, com desvio médio com relação aos valores medidos de 0,37 s. Isso claramente indica que o algoritmo utilizado no código R7 captura adequadamente a parte inicial da curva de decaimento da sala em todas as bandas de frequência.

Na validação das respostas impulsivas biauriculares, verificou-se que em todas as 20 posições nas distintas salas o índice de articulação (IA) avaliado a partir dos dados de simulação mostrou-se sistematicamente menor do que o IA avaliado na sala real, com a diferença ficando entre 1% e 4% em qualquer caso. Verifica-se que a menor diferença entre os índices de articulação é de 1% (quatro incidências) e que a maior diferença é de 4% (seis incidências). Como todo o cuidado foi tomado no sentido de que não houvesse influência de ruído externo durante os testes reais, a hipótese aventada é de que faltam componentes de alta frequência nas respostas impulsivas biauriculares simuladas, dificultando um pouco a percepção perfeita de algumas con-

soantes. Contudo, isso ainda requer uma pesquisa mais focada nas funções de transferência correspondentes. Como o erro nos índices de articulação foram todos menores que 5%, valor considerado baixo [47], pode-se considerar que o modelo utilizado pelo programa R7 para modelar as funções de transferência associadas à cabeça humana, além de computacionalmente eficiente [36, 53] é fidedigno.

6. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta os resultados de validação do código computacional RAIOS 7 de simulação numérica de campo acústico em salas com aurilização. A verificação das RIRs foi efetuada por meio de gráficos comparativos dos resultados de simulação de quatro parâmetros acústicos (T_{20} , EDT, C_{80} e D_{50}) com os valores medidos e os simulados pelos demais programas participantes do primeiro *Round Robin* em simulação acústica de salas e aurilização, para seis bandas de oitava e quatro pares de posições fonte-microfone no interior de uma das salas utilizada como referência naquele certame. Uma média sobre os módulos dos desvios é apresentado na Tabela 1, indicando um bom ranqueamento do código computacional em estudo com relação aos demais.

A validação das BRIRs foi realizada por meio de uma técnica de comparação de índices de articulação reais, levantados em cinco salas de aula, com índices de articulação obtidos a partir de simulações computacionais das referidas salas e obtenção das respostas impulsivas biauriculares nas mesmas posições fonte-microfone. O mesmo sinal sonoro é utilizado tanto nos testes de articulação reais quanto os virtuais, ou seja, aqueles realizados a partir de sinais de aurilização, apenas com uma alteração na ordenação das palavras. A conclusão geral que se pode extrair quanto à simulação das respostas impulsivas biauriculares é que promovem uma boa impressão espacial das salas, talvez com alguma pequena filtragem em alta frequência, tema ainda a ser melhor investigado.

O panorama geral que as Figuras 4 a 19 fornece parece indicar que os algoritmos dos *software*

que participaram do último *Round Robin* ainda demandam alguns aperfeiçoamentos. A dispersão apresentada pelos diferentes algoritmos, particularmente no cálculo do T_{20} na região de baixa frequência, mostra que as curvas de decaimento simuladas divergem significativamente das curvas medidas, ao menos na região entre 125 e 500 Hz. Observando que a frequência de Schroeder da sala em questão é de cerca de 50 Hz, está descartada a influência dos modos da sala, portanto, as hipóteses da acústica geométrica — utilizadas por todos os softwares — pode ser considerada plenamente válida.

Um outro aspecto a ser considerado, diz respeito aos dados de entrada dos *software*. Qualquer programa de simulação acústica de salas tem seus resultados de simulação fortemente dependentes dos dados de entrada, em particular, dos coeficientes de absorção e espalhamento. Nos *Round Robins*, esses coeficientes são medidos *in loco*. Os valores obtidos, a despeito do aperfeiçoamento contínuo das técnicas de medição, apresentam ainda um alto grau de incerteza [54]. Acreditamos que enquanto essa incerteza de medição não for reduzida, possivelmente os algoritmos de simulação acústica de salas ainda apresentarão discrepâncias observáveis com relação aos dados medidos.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de fomento à pesquisa que financiaram parcialmente o presente trabalho: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, (Proc. n° 301204/2018-9); Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes (Proc. n° 88887.488177/2020-00); e Fundo de Incentivo à Pesquisa – FIPE 2020 e FIPE 2021 – UFSM (Proj. n° 053573).

REFERÊNCIAS

1. ALLRED, John C.; NEWHOUSE, Albert. Applications of monte carlo method to architectural acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 30, n. 1, p. 1–3, 1958. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/1.1909368](https://doi.org/10.1121/1.1909368).

2. SCHROEDER, Manfred R.; ATAL, Bishnu S.; BIRD, C. Digital computers in room acoustics. In: *Proceedings of the 4th International Congress on Acoustics*. Copenhagen, Dinamarca: [s.n.], 1962. p. M21.1–M21.4. Disponível em: <https://soundandscience.de/node/569>.
3. AHNERT, Wolfgang; FEISTEL, Rainer. Binaural auralization from a sound system simulation programme. In: *AES 91st Convention*. New York, NY, EUA: [s.n.], 1991. Disponível em: <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=5589>.
4. BLAUERT, Jens; LEHNERT, Hilmar; POMPETZKI, W.; XIANG, Ning. Binaural room simulation. *Acustica*, v. 72, p. 295–296, 1990.
5. LEHNERT, Hilmar; BLAUERT, Jens. Principles of binaural room simulation. *Applied Acoustics*, v. 36, n. 3, p. 259–291, 1992. ISSN 0003-682X. doi: [10.1016/0003-682X\(92\)90049-X](https://doi.org/10.1016/0003-682X(92)90049-X).
6. KLEINER, Mendel; DALENBÄCK, Bengt-Inge; SVENSSON, Peter. Auralization – an overview. *Journal of The Audio Engineering Society*, v. 41, p. 861–875, 1993. Disponível em: <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=6976>.
7. BEGAULT, Durand R. *3-D sound for virtual reality and multimedia*. Cambridge: Academic Press Professional, 1994. ISBN 978-0120847358.
8. DALENBACK, Bengt-Inge; MCGRATH, David. Narrowing the gap between virtual reality and auralization. In: *Proceedings of the 15th International Congress on Acoustics*. Trondheim, Noruega: [s.n.], 1995. v. 2, p. 429–432. Disponível em: <https://www.icacommission.org/Proceedings/ICA1995Trondheim/ICA15%20Proceedings%20Vol2.pdf>.
9. SOTTEK, Roland. Virtual binaural auralization of product sound quality: Importance and application in practice. In: *Proceedings of the 5th European Conference Noise Control – EURONOISE*. Naples, Italy: [s.n.], 2003. Disponível em: https://global.head-acoustics.com/downloads/publications/sound_quality/Euronoise2003_Virtual_Binaural_Auralisation.pdf.
10. TORRES, Julio C. B.; PETRAGLIA, Mariane R.; TENENBAUM, Roberto A. An efficient wavelet-based HRTF for auralization. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 90, n. 1, p. 108–120(13), 2004. ISSN 1610-1928. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aaua/2004/00000090/00000001/art00014>.
11. OTONDO, Felipe; RINDEL, Jens H. A new method for the radiation representation of musical instruments in auralizations. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 91, n. 5, p. 902–906(5), 2005. ISSN 1610-1928. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aaua/2005/00000091/00000005/art00011>.
12. DALENBÄCK, Bengt-Inge; STROMBERG, M. Real time walkthrough auralization – the first year. In: *1st IOA Annual Conference*. Copenhagen, Denmark: [s.n.], 2006. v. 28 (2). Disponível em: <http://www.catt.se/Walker-IOA-Copenhagen-2006.pdf>.
13. SUMMERS, Jason E. ‘What exactly is meant by the term ‘auralization?’’. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 124, n. 2, p. 697–697, 2008. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/1.2945708](https://doi.org/10.1121/1.2945708).
14. VORLÄNDER, Michael. International round robin on room acoustical computer simulation. In: *Proceedings of the 15th International Congress on Acoustics*. Trondheim, Norway: [s.n.], 1995. p. 689–692.
15. BORK, Ingolf. A comparison of room simulation software – the 2nd round robin on room acoustical computer simulation. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 86, n. 6, p. 943–956(14), 2000. ISSN 1610-1928. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aaua/2000/00000086/00000006/art00008>.
16. BORK, Ingolf. Report on the 3rd round robin on room acoustical computer simulations — Part I: Measurements. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 91, n. 4, p. 740–752(13), 2005. ISSN 1610-1928. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aaua/2005/00000091/00000004/art00013>.

[//www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aa/ua/2005/00000091/00000004/art00015](https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aa/ua/2005/00000091/00000004/art00015).

17. BORK, Ingolf. Report on the 3rd round robin on room acoustical computer simulations – Part II: Calculations. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 91, n. 4, p. 753–763(11), 2005. ISSN 1610-1928. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aa/ua/2005/00000091/00000004/art00016>.

18. BRINKMANN, Fabian; ASPÖCK, Lukas; ACKERMANN, David; LEPA, Steffen; VORLÄNDER, Michael; WEINZIERL, Stefan. A round robin on room acoustical simulation and auralization. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 145, n. 4, p. 2746–2760, 2019. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/1.5096178](https://doi.org/10.1121/1.5096178).

19. KUTTRUFF, Heinrich. *Room Acoustics*. 5. ed. Madison Avenue, New York, USA: Spon Press, 2009. ISBN 978-0-07-160333-1.

20. SAVIOJA, Lauri; SVENSSON, U. Peter. Overview of geometrical room acoustic modeling techniques. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 138, n. 2, p. 708–730, 2015. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/1.4926438](https://doi.org/10.1121/1.4926438). Disponível em: <https://asa.scitation.org/doi/pdf/10.1121/1.4926438>.

21. KROKSTAD, Asbjörn; STROM, S.; SORS-DAL, Svein. Calculating the acoustical room response by the use of ray tracing technique. *Journal of Sound and Vibration*, v. 8, n. 1, p. 118–125, 1968. ISSN 0022-460X. doi: [10.1016/0022-460X\(68\)90198-3](https://doi.org/10.1016/0022-460X(68)90198-3).

22. FARINA, Angelo. Pyramid tracing vs ray tracing for the simulation of sound propagation in large rooms. *WIT Transactions on the Built Environment*, v. 10, p. 109–116, 1995. ISSN 1743-3509. Disponível em: <https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/11/10132>.

23. BORISH, Jeffrey. Extension of the image model to arbitrary polyhedra. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 75, p. 1827–1836, 1984. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/1.390983](https://doi.org/10.1121/1.390983).

24. VORLÄNDER, Michael. Simulation of the transient and steady-state sound propagation in rooms using a new combined ray-tracing/image-source algorithm. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 86, n. 1, p. 172–178, 1989. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/1.398336](https://doi.org/10.1121/1.398336).

25. DALENBÄCK, Bengt-Inge; KLEINER, Mendel; SVENSSON, Peter. A macroscopic view of the diffuse reflection. *Journal of The Audio Engineering Society*, v. 42, n. 10, p. 973–987, 1994. Disponível em: <https://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=6927>.

26. COX, Trevor J.; DALENBÄCK, Bengt-Inge; D'ANTONIO, Peter; EMBRECHTS, Jean J.; JEON, Jin Y.; MOMMERTZ, Eckard; VORLÄNDER, Michael. A tutorial on scattering and diffusion coefficients for room acoustic surfaces. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 92, n. 1, p. 1–15(15), 2006. ISSN 1610-1928. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aa/ua/2006/00000092/00000001/art00002>.

27. ALARCÃO, Diogo; BENTO-COELHO, José L.; TENENBAUM, Roberto A. On modeling of room acoustics by a sound energy transition approach. In: *EEA Symposium on Architectural Acoustics*. Madrid, Spain: [s.n.], 2000.

28. BALLESTEROS, Marcos L. *Simulação numérica de acústica de salas*. (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEM/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1991. Disponível em: https://w1files.solucioatrio.net.br/atrio/ufrj-pem_upl//THESIS/1660/pemufjrj1991mscmarcosdelimaballesteros_20150825122313512.pdf.

29. PINTO, Fábio A. V. *Audição biauricular: um protótipo*. (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEP/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2001.

30. CAMILO, Thiago S. B. *Método híbrido para simulação de acústica de salas: combinação dos métodos de traçado de raios e transição de energia*. (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEM/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2003.

31. NARANJO, José F. L. *Aperfeiçoamentos no código computacional RAIOS incluindo aurilização*. (Dissertação de Mestrado) — Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PPGMC/IPRJ/UERJ, Nova Friburgo, RJ, 2010. Disponível em: <https://www.bdttd.uerj.br:8443/handle/1/13844>.
32. TORRES, Júlio C. B. *Sistema de auralização eficiente utilizando transformadas wavelet*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2004. Disponível em: <http://www.pee.ufrj.br/index.php/pt/producao-academica/teses-de-doutorado/2004/2004037002-2004037002/file>.
33. NARANJO, José F. L. *Inteligência computacional aplicada na geração de respostas impulsivas biauriculares e em aurilização de salas*. Tese (Doutorado) — Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PPGMC/IPRJ/UERJ, Nova Friburgo, RJ, 2014. Disponível em: <http://www.bdttd.uerj.br/handle/1/13684>.
34. TAMINATO, Filipe O. *Redes neurais artificiais aplicadas à modelagem de HRIRs/HRTFs para gerar aurilização*. Tese (Doutorado) — Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PPGMC/IPRJ/UERJ, Nova Friburgo, RJ, 2018. Disponível em: <https://www.bdttd.uerj.br:8443/handle/1/13714>.
35. HAYKIN, Simon. *Neural Networks and Learning Machines*. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2009. ISBN -13:978-0-13-147139-9.
36. TENENBAUM, Roberto A.; TAMINATO, Filipe O.; MELO, Viviane S.G. Fast auralization using radial basis functions type of artificial neural network techniques. *Applied Acoustics*, v. 157, p. 106993, 2020. ISSN 0003-682X. doi: [10.1016/j.apacoust.2019.07.041](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.07.041).
37. TENENBAUM, Roberto A.; CAMILO, Thiago S.; B., Julio C.; TORRES; GERGES, Samir N. Y. Hybrid method for numerical simulation of room acoustics with auralization: Part 1 - theoretical and numerical aspects. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, v. 29, n. 2, p. 211–221, jun. 2007. ISSN 1678-5878. doi: [10.1590/S1678-58782007000200012](https://doi.org/10.1590/S1678-58782007000200012).
38. TENENBAUM, Roberto A.; CAMILO, Thiago S.; TORRES, Julio C. B.; STUTZ, Leonardo T. Hybrid method for numerical simulation of room acoustics: Part 2 – validation of the computational code RAIOS 3. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, v. 29, n. 2, p. 211–221, 2007. ISSN 1678-5878. doi: [10.1590/S1678-58782007000200013](https://doi.org/10.1590/S1678-58782007000200013).
39. INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION. *ISO 3382: Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 1: Performance spaces*. Geneva, 2009. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/40979.html>.
40. INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION. *ISO 3382: Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 2: Reverberation time in ordinary rooms*. Geneva, 2008. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/36201.html>.
41. INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION. *ISO 3382: Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 3: Open plan offices*. Geneva, 2012. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/46520.html>.
42. TENENBAUM, Roberto A.; TAMINATO, Filipe O.; MELO, Viviane S. G.; TORRES, Julio C. B. Auralization generated by modeling HRIRs with artificial neural networks and its validation using articulation tests. *Applied Acoustics*, v. 130, p. 260–269, 2018. ISSN 0003-682X. doi: [10.1016/j.apacoust.2017.09.025](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.09.025).
43. ASPÖCK, Lukas; BRINKMANN, Fabian; ACKERMANN, David; WEINZIERL, Stefan; VORLÄNDER, Michael. (Repositório), *GRAS – Ground Truth for Room Acoustical Simulation*. 2018. doi: [10.14279/depositonce-6726](https://doi.org/10.14279/depositonce-6726).
44. LINDAU, Alexander; ERBES, Vera; LEPA, Steffen; MAEMPEL, Hans-Joachim; BRINKMAN, Fabian; WEINZIERL, Stefan. A spatial audio quality inventory for virtual acoustic environments (SAQI). *Acta Acustica united with Acustica*, v. 100, n. 5,

p. 984–994(11), 2014. ISSN 1610-1928. doi: <https://doi.org/10.3813/AAA.918778>.

45. PENG, Jianxin. Feasibility of subjective speech intelligibility assessment based on auralization. *Applied Acoustics*, v. 66, n. 5, p. 591–601, 2005. ISSN 0003-682X. doi: [10.1016/j.apacoust.2004.08.006](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2004.08.006).

46. YANG, Wonyoung; HODGSON, Murray. Validation of the auralization technique: Comparative speech intelligibility tests in real and virtual classrooms. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 93, n. 6, p. 991–999(9), 2007. ISSN 1610-1928. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aaua/2007/00000093/00000006/art00013>.

47. HODGSON, Murray; YORK, Natalie; YANG, Wonyoung; BLISS, Mark. Comparison of predicted, measured and auralized sound fields with respect to speech intelligibility in classrooms using catt-acoustic and odeon. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 94, n. 6, p. 883–890(8), 2008. ISSN 1610-1928. doi: <https://doi.org/10.3813/AAA.918106>.

48. MELO, Viviane S. G.; TENENBAUM, Roberto A.; MUSAFIR, Ricardo E. Intelligibility assessment in elementary school classrooms from binaural room impulse responses measured with a childlike dummy head. *Applied Acoustics*, v. 74, p. 1436–1447, 2013. ISSN 0003-682X. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2013.06.005>.

49. MELO, Viviane S. G.; TENENBAUM, Roberto A.; NARANJO, José F. L. A new approach to validate computer modeling auralizations by using articulation indexes. *Acústica e Vibrações*, v. 46, p. 1–8, 2014. ISSN 2764-3611, 1983-442X.

50. TENENBAUM, Roberto A.; TAMINATO, Filipe O.; MELO, Viviane S. G. Validating auralizations by using articulation indexes. In: *Proceedings of Meetings on Acoustics (POMA) of the 22nd International Congress on Acoustics*. Buenos Aires, Argentina: [s.n.], 2016. doi: <https://doi.org/10.1121/2.0000318>.

51. ALCAIM, Abraham; SOLEWICZ, Jose A.; MORAES, Joao A. Frequência de ocorrência dos fones e listas de frases foneticamente balanceadas no português falado no Rio de Janeiro. *Revista da Sociedade Brasileira de Telecomunicações*, v. 7, n. 1, p. 23–41, 1992. Disponível em: <https://jcis.sbrt.org.br/jcis/article/download/166/80>.

52. MELO, Viviane S. G. *Avaliação de inteligibilidade em salas de aula do ensino fundamental a partir de respostas impulsivas biauriculares obtidas com cabeça artificial de dimensões infantis*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEM/COPPE/UFRRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2012. Disponível em: https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrrj-pem_upl//THESIS/3/pemufrj2012dscviviane_suzeygomesdemelo.pdf.

53. TAMINATO, Filipe O.; TENENBAUM, Roberto A.; MELO, Viviane S. G. Técnica rápida para geração de auralizações utilizando redes neurais artificiais. *Acústica e Vibrações*, v. 50, p. 25–38, 2018. ISSN 2764-3611, 1983-442X.

54. MÜLLER-TRAPET, Markus; VORLÄNDER, Michael. Uncertainty analysis of standardized measurements of random-incidence absorption and scattering coefficients. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 137, n. 1, p. 63, 2015. ISSN 0001-4966. doi: [10.1121/1.4904512](https://doi.org/10.1121/1.4904512).

(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)

Acústica e Vibrações

Sociedade Brasileira de Acústica - Sobrac

Dezembro de 2021 - Vol. 36 ▶ N° 53

Encartes

Chamadas:

- Publique na Acústica & Vibrações
- Associe-se à Sobrac
- Congresso Iberoamericano de Acústica – FIA 2020/22 & XXIX Encontro da Sobrac
- VII Seminário Gaúcho de Acústica e Vibrações (SeGAV)

News & Reviews:

- INAD Brasil 2021
- Fim do Ano Internacional do Som – IYS'20–21
- Resenhas de livros
- Convênio Sobrac + SPA
- O novo "Som do Silêncio" na Unicamp
- Young Acousticians Network (YAN)
- Eleições Sobrac 2020
- Festival Internacional de Música em Casa – Fimuca
- Workshop online: Planejamento urbano acústico em zonas culturais
- 1º Colóquio virtual da Sobrac NE
- II Mês Acadêmico da Engenharia Acústica (UFSM)
- HBK 2245 Product Noise e 2245 Open API
- Simulação de Acústica de Salas desenvolvidas nas universidades do Brasil
- Brasil tem curso de Engenharia Acústica 5 estrelas na UFSM
- Eventos de acústica pelo Brasil e o mundo

(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)

William D'Andrea
Fonseca 

Universidade Federal de
Santa Maria
Av. Roraima nº 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).

As submissões podem ser feitas em português, espanhol e inglês, sempre incluindo resumo, palavras-chave, PACS^a, title, abstract e keywords (na primeira página). Há um modelo (template) completo com instruções e detalhes sobre escrita, formato e submissão [1] — ele pode ser obtido no site da revista (<https://revista.acustica.org.br>), site da Sobrac [2] ou no Overleaf^b [3].

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.



Modelo de artigo para a Revista A&V
(para abrir basta clicar usando o Acobat Reader).

^aVeja <https://pubs.aip.org/asa/jasa/pages/manuscript>.

^bAcesse <https://pt.overleaf.com/read/mnmwhwscykjh>.

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;
- Legislação e normas;
- Ensino em acústica, vibrações e áudio;
- entre outras.

2. Regras e etapas para publicação

De forma resumida, quando o autor submete o artigo, ele deve estar ciente das seguintes regras e procedimentos:

1. As submissões devem ser de conteúdo original, ou seja, não serão aceitos artigos já publicados em outras revistas ou eventos. Caso seja detectado esse tipo de submissão, ela será automaticamente removida.
2. Os autores devem seguir todas as recomendações de escrita e diagramação apresentadas nas regras e *artigo modelo (template)*. Editores, pareceristas e revisores de diagramação atuarão no processo de conferir detalhes de diagramação, texto, figuras, equações etc. Apenas autores que atenderem aos requisitos da revista terão seus artigos encaminhados para a publicação.
3. Todos os artigos deverão ter os seguintes itens em língua inglesa: *title*, *abstract* e *keywords*. Antes da publicação, os autores deverão enviar o artigo para o *revisor de inglês* da Revista A&V, para que ele possa indicar correções e ajustes nesses itens. Todos os artigos deverão ser enviados para essa etapa, independente do conhecimento prévio de língua inglesa dos autores. Ademais, os próprios autores arcarão com os custos da revisão.
4. O processo de *revisão por pares* é uma importante etapa que busca confirmar a validade do conteúdo apresentado, ainda tornando os artigos mais robustos, fáceis de ler e úteis. O processo

- da A&V é *duplo-cego*, ou seja, nem autores e nem revisores têm ciência dos nomes envolvidos. Dependendo da área do artigo, os autores devem ter paciência, pois a comissão editorial sempre busca especialistas voluntários para dedicar seu tempo. Logo, todos estamos sujeitos às disponibilidades. Todos os artigos serão verificados por pelo menos dois pareceristas.
5. Quando os autores retornarem um novo artigo corrigido, deve ser também elaborada uma carta resposta aos pareceristas, aclarando ajustes e, eventualmente, tecendo réplicas ou pedindo demais esclarecimentos acerca dos apontamentos.
 6. Os dados completos dos autores devem ser enviados na etapa final de publicação, incluindo nome completo, filiação, contato e identificador [ORCID](#) (em formulário online indicado).
 7. Pesquisas que envolvam pessoas (ou seres vivos, em geral), como em Acústica Subjetiva ou Fisiológica, por exemplo, deverão aclarar no artigo o termo de aprovação do Comitê de Ética. Ademais, na oportunidade da submissão, o PDF do instrumento (ou procedimento) de avaliação deve ser submetido junto à cópia digital do documento de aprovação do Comitê de Ética.
 8. Figuras (fotos com pelo menos 300 dpi), diagramas e dados em geral devem ser originais ou ter anuência dos autores originais. Nesse caso, devem ser citados os autores originais ou a fonte original.
 9. Busque utilizar linguagem técnica e com clareza.
 10. Em caso de trabalhos com fomento, utilize a seção de agradecimentos para elucidar detalhes.
 11. Siga as regras para citações, incluindo o máximo de detalhes disponíveis.
 12. Etapas de forma simplificada:
 - (a) Submissão de artigo (documentos adicionais, se necessário) e preenchimento de formulário;
 - (b) Confirmação de recebimento por parte da revista;
 - (c) Avaliação inicial prévia para verificar se o artigo está de acordo com as normas exigidas. Pedido de ajustes iniciais por parte dos editores ou recusa do artigo;
 - (d) Artigo com ajustes iniciais recebido. A partir dessa etapa o artigo não poderá ser enviado para outra revista ou congresso, sujeito à pena de remoção da Revista A&V e/ou notificação do outro evento/revista (eventualmente caracterizado como autoplágio);
 - (e) Consulta de pareceristas especialistas no tema e envio mediante disponibilidade;
 - (f) Parecer de especialistas é enviado para os autores (*aceitação*, *aceitação mediante revisão* ou *rejeição*);
 - (g) Autores preparam nova versão do artigo e carta resposta para os pareceristas;
 - (h) A nova submissão corrigida é enviada para os pareceristas, se for o caso;
 - (i) As etapas (f), (g) e (h) podem se repetir até que o artigo seja completamente aprovado ou rejeitado;
 - (j) Os editores e/ou revisores de diagramação verificarão detalhes de estética, diagramação, figuras, equações etc. Eventualmente ajustes serão solicitados;
 - (k) Artigo ajustado é recebido (dos autores) e, com isso, a data de aprovação é criada, se tudo estiver de acordo;
 - (l) Preenchimento (pelo autor principal) do formulário final com todos os dados dos autores e do artigo; e

- (m) O artigo estará escalado para a publicação no número seguinte da Revista A&V (sujeito à sazonalidade).
13. Situações não previstas nestas regras estarão sob avaliação da comissão editorial da Revista Acústica & Vibrações.
14. O conteúdo do artigo é de inteira responsabilidade dos autores, eximindo a Revista A&V e sua comissão editorial acerca do respectivo material consignado.

3. 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 à qualidade digital (e para impressão).

Os artigos deverão ser enviados (submetidos) nos formatos descritos¹ a seguir:

1. Para usuários do **Word**:

- (a) .docx e .pdf com identificações; e
- (b) .docx e .pdf **sem identificações de autores e filiações**.

2. Para usuários do **L^AT_EX**:

- (a) .zip (contendo todo o projeto) e .pdf com identificações; e
- (b) .pdf **sem identificações 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 nomes dos autores e autores desconhecem os nomes dos avaliadores. Desse modo, busca-se uma avaliação/revisão justa e técnica. Caso seja necessário, oculte nomes e filiações (troque por “*Conteúdo omitido*” ou “AAA”, por exemplo) que estejam porventura no texto. Figuras que caracterizem identificação devem ter esses dados borrados ou removidos. Todo artigo será avaliado por pelo menos dois profissionais, que emitirão o parecer de *aceitação*, *aceitação mediante revisão* ou *rejeição*.

4. Outras seções da A&V

As demais seções da revista como chamadas, informes, novidades e *news & reviews* fazem parte de outro fluxo de gestão. Outrossim, propostas de conteúdos podem ser encaminhadas e serão apreciadas pela comissão editorial.

Referências

1. FONSECA, William D’Andrea. Instruções e modelo de artigo para a Revista Acústica e Vibrações (2018–2021). *Acústica e Vibrações*, v. 34, n. 50, p. 107–117, 2018. ISSN 2764-3611, 1983-442X. doi: [10.55753/aev.v33e50.90](https://doi.org/10.55753/aev.v33e50.90).
2. Acústica & Vibrações, Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac) website: Publique. Acessado em dez. 2021. Disponível em: <https://revista.acustica.org.br/acustica/about/submissions>.
3. Instruções e modelo de artigo para a Revista Acústica e Vibrações (2018–2021) online no Overleaf. Acessado dez. 2021. Disponível em: <https://pt.overleaf.com/read/mnmwhwscykjh>.

¹Verifique se não há identificação nos metadados dos arquivos *sem identificação*.

Associe-se à



SOBRAC

Sociedade Brasileira de Acústica

É fácil

- Acesse o site da Sobrac (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 à 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 2020/2022 são:

Regional Norte

- Coordenador: Paulo Chagas Rodrigues
- Vice-coordenador: Antonio Carlos Lobo Soares
- 1º Secretária: Mindiyara Uakti Pimentel Freitas
- 2º Secretário: Regis Brito Nunes
- 1º Tesoureira: Izabel Bianca Araújo Lopes
- 2º Tesoureiro: Filipe Menezes de Vasconcelos

Regional Nordeste

- Coordenadora: Débora Miranda Barretto
- Vice-coordenadora: Maria Lúcia da Rosa Oiticica
- 1º Secretário: Ítalo César Montalvão Guedes
- 2º Secretário: Otávio Joaquim da Silva Júnior
- 1º Tesoureira: Bianca Carla Dantas de Araújo
- 2º Tesoureiro: Gleidson Martins Pinheiro
- Comunicação e Relacionamento: Rafaella Estevão da Rocha

Regional Centro-oeste

- Coordenadora: Ludmila de Araujo Correia
- 1º Secretária: Ludmila Rodrigues de Moraes
- 1º Tesoureira: Jhennyfer Loyane Gama Pires

Regional Rio de Janeiro

- Coordenadora: Maria Lygia Alves de Niemeyer
- Vice-coordenadora: Marta Ribeiro Valle Macedo
- 1º Secretário: Fernando Augusto de Noronha Castro Pinto
- 1º Tesoureiro: Daniel Ferreira de Panta Pazos
- 2º Tesoureira: Marilda Duboc
- Comunicação e Relacionamento: Marina Medeiros Cortes

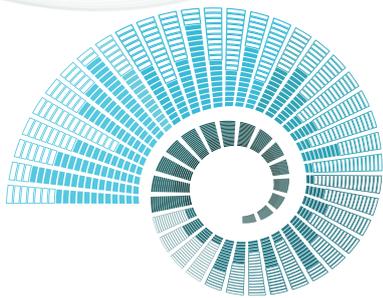
Regional São Paulo

- Coordenadora: Stelamaris Rolla Bertoli
- 1º Secretário: Davison Cardoso Pinheiro
- 1º Tesoureira: Maria Luiza Rocha Belderrain

Regional Rio Grande do Sul

- Coordenador: Rafael Ferreira Heissler
- 1º Secretária: Marcela Alvares Maciel
- 1º Tesoureiro: William D'Andrea Fonseca
- 2º Tesoureira: Maria Fernanda de Oliveira





FIA 2020/22

XII CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOBRAC

28 a 31 de agosto de 2022 / Florianópolis-SC

www.fia2022.com.br



Realização



Patrocinador ouro



Patrocinador prata



Patrocinador bronze



Apoio



Associação Brasileira de Acústica



Secretaria executiva



Cota divulgação



Ano internacional do som



PALESTRANTES CONFIRMADOS



Tapio Loki 

AALTO UNIVERSITY

Spatial room
impulse
responses -
measurements,
analysis and
auralization.



Rosangela Coelho 

IME (Instituto Militar de Engenharia)

Acoustic Masking Effects
and the Impact on Quality
and Intelligibility: Trends
and Solutions.



Enrique A. Lopez-Poveda 

UNIVERSITY OF SALAMANCA

Why do I hear but not
understand? Factors
hindering the
intelligibility of
speech in noise.



Francesco Avallone 

Delft University of Technology – TU Delft

(Aero)Acoustics
Challenges in Future
Smart Cities.

MINI CURSOS CONFIRMADOS

Materiais de absorção sonora
Paulo Henrique Mareze - UFSM

**Medições em campo e em laboratório de
desempenho acústico de edificações**
Maria Fernanda de Oliveira - UNISINOS

**Otimização em Vibrações
e Acústica**
Olavo M. Silva - UFSC

**Realidade Virtual Acústica
e Simulação Computacional
em Acústica de Salas**
Roberto A. Tenenbaum - UFSM

**Acreditando na competência das medições
acústicas (ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017).**
Paulo Marassani - INMETRO

Acústica de Escritórios
Felipe Barreiros Paim - AUDIUM

Aplicação das novas normas de ruído ambiental
Pablo Giordani Serrano - PORTAL ACÚSTICA

Controle de Ruído
Arcanjo Lenzi - UFSC

Paisagem sonora urbana Antonio Carlos Lobo Soares -
MUSEU PARANAENSE EMÍLIO GOELDI

TRABALHOS

Envio dos trabalhos finais: 06/06/2022

Prazo para pagamento da inscrição do autor: 31/05/2022



VII SeGAV

Seminário Gaúcho de Acústica e Vibrações

setembro de
2022

Sobrac Regional RS



VII SeGAV

Sobrac/RS

VII Seminário Gaúcho de Acústica e Vibrações

setembro de 2022

SOBRE O EVENTO

O VII Seminário Gaúcho de Acústica e Vibrações (VII SeGAV) é um evento organizado pela Regional RS da Sobrac com o objetivo de promover a integração entre interessados na área de acústica e vibrações.

Estamos retornando para o presencial. Assim, esse ano o evento será em São Leopoldo, RS, no Auditório do Parque Tecnológico da Unisinos, no dia 23 de setembro de 2022. O valor da inscrição será de R\$30.

APRESENTAÇÕES

Aos que tiverem interesse de apresentar seu trabalho, serão aceitos trabalhos inéditos e não inéditos com a identificação do local e data de publicação no arquivo a ser enviado.

Os autores de trabalhos inéditos podem ainda, optar por enviar o seu trabalho em formato *short paper* (2 a 6 páginas), que será publicado posteriormente ao evento.

DATAS IMPORTANTES

- Inscrições até dia 23/09/2022
- Submissão dos trabalhos até dia 19/09/2022
- Envio do arquivo de apresentação 21/09/2022

REDES



Sociedade Brasileira de Acústica
Regional Rio Grande do Sul



@sobracrs



segav.org

ORGANIZAÇÃO:

SOBRAC RS
Sociedade Brasileira de Acústica - Regional RS



Isabel Cristiane
Kuniyoshi 

INAD Brasil

{isabelkuniyoshi}
@gmail.com

William D'Andrea
Fonseca 

Universidade Federal de
Santa Maria

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

{will.fonseca}
@eac.ufsm.br

Felipe Ramos de
Mello 

Universidade Federal de
Santa Maria

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

{felipe.mello}
@eac.ufsm.br

Lema INAD Brasil 2021:



Siga o INAD Brasil:



www.inadbrasil.com

Dia Internacional da Conscientização sobre o Ruído — INAD Brasil 2021

INAD Brasil 2021 foi um sucesso e totalmente online

Resumo: O INAD Brasil é o ramo brasileiro da campanha *International Noise Awareness Day* (INAD), que visa à conscientização sobre os impactos do ruído na vida cotidiana e na saúde da população. Este artigo descreve o desenvolvimento da campanha brasileira referente ao ano de 2021. Inicialmente, há uma breve apresentação do INAD e sua contextualização no Brasil, seguida da descrição do tema, lema e desenvolvimento dos materiais, além das atividades realizadas. O texto finaliza anunciando a organização do INAD 2022.

International Noise Awareness Day — INAD Brazil 2021

Abstract: INAD Brasil is the Brazilian branch of the International Noise Awareness Day (INAD). It is a global campaign that aims to raise awareness of the impacts of noise on daily life and its health effects. This article describes the development of the Brazilian campaign for the year 2021. Initially, there is a brief presentation of INAD and its contextualization in Brazil, followed by the process of designing the theme, slogan, development of marketing materials, and the description of the educational activities that were implemented. The text ends by announcing the organization of INAD 2022.

1. Introdução

O *International Noise Awareness Day*, ou simplesmente INAD, surgiu nos Estados Unidos no ano de 1996, promovido pelo *League for the Hard of Hearing* que atualmente é o *Center for Hearing and Communication*. A campanha objetiva conscientizar a população sobre os efeitos do ruído na saúde e qualidade de vida e é celebrada anualmente em uma data móvel, sendo a última quarta-feira do mês de abril de cada ano.

Ações educativas e de saúde são realizadas em **vários países do mundo**, mas tradicionalmente há em comum a proposição de **um minuto de silêncio** a fim de proporcionar aos participantes uma pausa e oportunidade para se refletir acerca dos impactos do ruído no cotidiano. Isso explica a definição da quarta-feira, por ser um dia útil da semana e, também, do horário comercial.

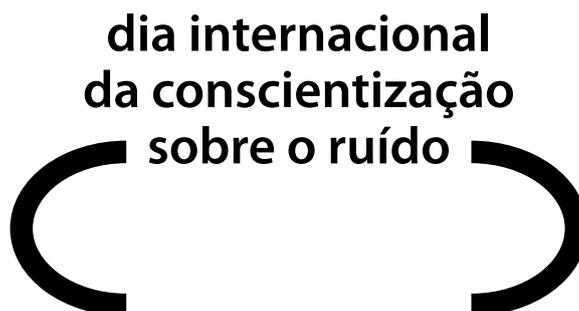


Figura 1: Logo do INAD Brasil (<http://www.inadbrasil.com>).

Por se tratar de um problema de saúde pública mundial, ao longo dos anos o INAD se difundiu também em outros países. Tem-se registro do INAD na Europa e no continente americano, como, por exemplo, em países como Alemanha, Espanha, Suíça, Áustria, Portugal, Itália, Chile, Argentina e Brasil, contando com o apoio de entidades científicas, educacionais, técnicas, governamentais, privadas e independentes.

Além da ampliação do seu alcance, as ações propostas também ganharam magnitude a fim de destacar os impactos do ruído, por meio de divulgação de materiais, atividades de promoção de saúde auditiva e mapeamento da poluição sonora, realização de eventos científicos e sessões públicas em que se discutem questões técnicas ou legais relacionadas à causa. Essas ações servem como estratégias que oportunizam a reflexão por colocarem em foco discussões que levam à conscientização sobre os impactos do ruído na vida da população, mas também — e não menos importante — sobre o comportamento humano na produção do ruído. Ademais, o INAD tem destacado a importância do desenvolvimento de conhecimento técnico e científico, além de políticas públicas que visam à mitigação da poluição sonora.

No Brasil, o INAD é nomeado como **Dia Internacional da Conscientização sobre o Ruído** e acontece desde 2008. Por se tratar de uma campanha voluntária e sem fins lucrativos, um grupo de pesquisadores entusiastas pela causa formou uma coordenação nacional com o intuito de promover anualmente o desenvolvimento de materiais que possam amparar as ações propostas pelos inúmeros participantes de todas as regiões do país — veja o logo na Figura 1.

O presente relato trata do desenvolvimento da campanha do INAD Brasil, da concepção à execução, referente à edição 2021.

2. Concepção e apoiadores nacionais da campanha 2021

Em 2021 a coordenação nacional do INAD Brasil optou por manter a atuação em consonância com organizações internacionais, fazendo parte das atividades do **Ano Internacional do Som** (ou *International Year of Sound - IYS*), que foi estendido para 2021 e trazendo o lema do **INAD internacional** em tradução literal: **Proteja sua audição, proteja sua saúde!** (*Protect your hearing, protect your health!*).

Pelo segundo ano consecutivo, as ações presenciais do INAD Brasil foram impactadas pela pandemia da COVID-19. Entretanto, diferente do ano anterior, em 2021 o distanciamento social já estava estabelecido desde a concepção da campanha e, por conseguinte, os materiais e ações foram planejados para amparar ações online. Dessa forma, as mídias sociais, o site institucional e outros ambientes digitais ganharam força no impulsionamento da campanha como via de maior alcance.

Além do patrocínio de empresas de acústica, o INAD Brasil 2021 contou com o apoio institucional da Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac), da Academia Brasileira de Audiologia (ABA), da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia (SBFa) e do Grupo de Pesquisa em Acústica e Vibrações da Universidade Federal de Santa Maria (GPAV/UFSM), além da parceria com organizações brasileiras que têm propósitos afins, como por exemplo o Programa Dangerous Decibels Brasil e o Projeto EducaSOM – Decibéis do Bem.

3. Desafios e estratégia para a campanha 2021

Mantendo-se o desafio de compartilhar informações sobre audição, ruído e saúde de forma remota por meio de plataformas digitais, a equipe do INAD Brasil continuou utilizando o site e as redes sociais como preciosas ferramentas de comunicação e divulgação. Desse modo, a estratégia constituiu-se em elaborar materiais didáticos para veiculação de conteúdo científico de forma leve e acessível, buscando o engajamento da comunidade, tanto leiga, quanto profissional. Para isso:

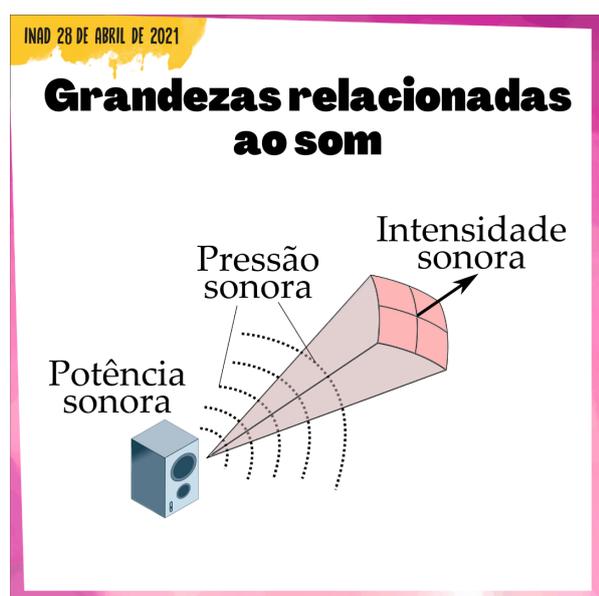
1. enfatizou-se o uso de imagens e diagramas explicativos;
2. escolheu-se o formato de slides/carrossel (apropriado aos modelos do [Instagram](#) e [Facebook](#)), com um texto complementar na descrição da publicação; e
3. utilizaram-se diversas plataformas para divulgação, como [Instagram](#), [Facebook](#), [YouTube](#), [Website](#), [Twitter](#), [Spotify](#), [Soundcloud](#) e [GitHub](#).

A temática das publicações girou em torno de assuntos como acústica básica, fisiologia da audição humana, resgates históricos, tutoriais e divulgação de eventos parceiros. Duas novidades que surgiram em 2021 foram o lançamento do projeto no [ResearchGate](#) e do repositório no [GitHub](#). Neste último, foram disponibilizados todos os materiais, elementos gráficos e identidade visual para a campanha de 2021, bem como os materiais da campanha de 2020 e todos os cartazes elaborados desde 2008. Naquele, começou-se um trabalho de compilação e divulgação das publicações sobre as campanhas realizadas pela equipe do INAD Brasil.

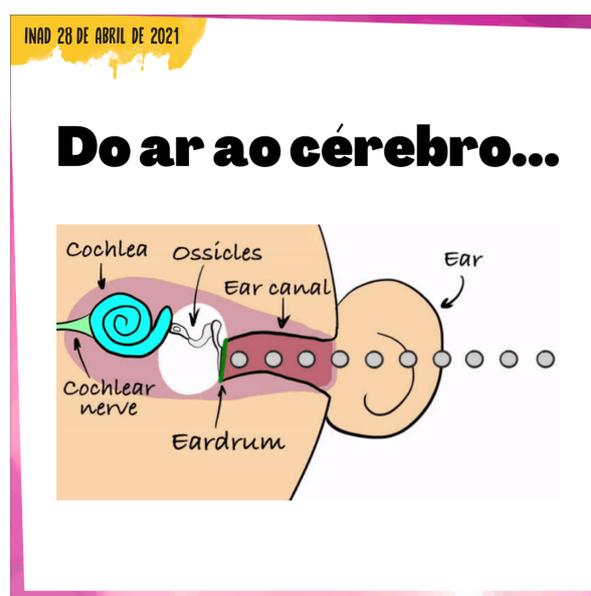
Ao final do mês de abril, compilaram-se as estatísticas de engajamento (em especial no perfil do [INAD no Instagram](#)), de modo a verificar qual foi o alcance da campanha. Mais detalhes se encontram na Seção 5 deste encarte.

4. Materiais veiculados

Dentre os materiais de *cunho científico*, destacaram-se as publicações sobre acústica básica (“O que é o som?”) e audição humana (“Como funciona a audição humana?”). Nessas, o maior desafio foi abordar o tema com uma linguagem acessível ao público leigo. Para isso, explorou-se o uso de imagens capazes de resumir os conceitos e despertar a intuição dos leitores para os fenômenos descritos (veja as Figuras 2 (a) e (b) e os encartes ao final do artigo). Acesse as publicações na íntegra clicando nas imagens!



(a) Ilustração de grandezas acústicas importantes (clique na imagem para acessar a publicação completa).



(b) Animação do caminho que o som leva para chegar ao cérebro humano.

Figura 2: Exemplo de imagens utilizadas para explicar conceitos relacionados à acústica básica e ciência da audição (clique na imagem para acessar a publicação completa).

As publicações de 2021 também contaram com resgates históricos. O *post* “O que é o INAD?” apresentou como o Dia Internacional da Conscientização sobre o Ruído teve seu nascimento, como se espalhou para o mundo e como chegou ao Brasil. As atividades comumente promovidas pela campanha brasileira foram listadas e os cartazes de 2010 e 2015 foram rememorados. Por fim, no *post* “O que é o Ano Internacional do Som?”, contou-se um pouco de suas motivações e como a pauta do ruído chegou à 39ª Conferência da Unesco, a partir da qual o tema conseguiu maior abrangência e contato com a sociedade. Além disso, como tradição, mantiveram-se os pôsteres em A3, que podem ser vistos ao [final desse informe](#) (na página 142) — o primeiro contém a arte principal da campanha de 2021.

Ademais, eventos e coletivos parceiros ao INAD foram divulgados e exaltados. Ao longo do mês de abril, foram compartilhadas as programações das regionais da Sobrac (SP, RJ e Centro-Oeste), das universidades parceiras (UFMS, Unicamp, UFRN, UFFS, UFTPR e USP), e de coletivos como o Sinfonia na Cidade, “coletivo científico-artístico da UFFS dedicado à criação, produção, mobilização e articulação de ideias inventivas em Paisagem Sonora”. Por fim, ao final do mês, o INAD Brasil promoveu uma *live* e uma *mesa-redonda*, nas quais profissionais das áreas de acústica e audição discutiram sobre o impacto do ruído na sociedade, interagindo com o público e ampliando o debate acerca de temas caríssimos ao INAD.

5. Engajamento

Ao fim da campanha (de 2021), compilaram-se as estatísticas de engajamento fornecidas pelo [Instagram](#) e pelo [site](#) oficial. As publicações no Instagram receberam um total de 1807 curtidas, 746 compartilhamentos e alcançaram 72.771 usuários. Em relação ao perfil dos visitantes, 67% foram mulheres (em sua maioria entre os 25 e 34 anos de idade), com o restante sendo um público masculino (em sua maioria entre 25 e 34 anos de idade), veja a Figura 3. Por fim, também foram avaliados os acessos ao [site](#) oficial da campanha, o qual recebeu em sua maioria acesso direto ou via busca orgânica, veja a Figura 4.

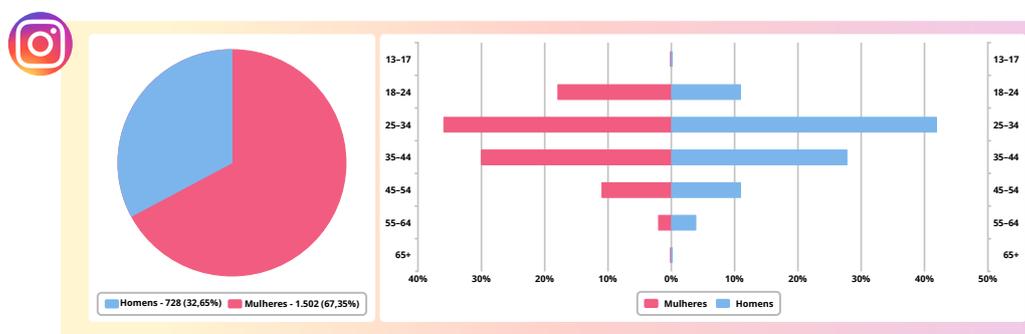


Figura 3: Perfil dos visitantes ao INAD Brasil no Instagram [1].

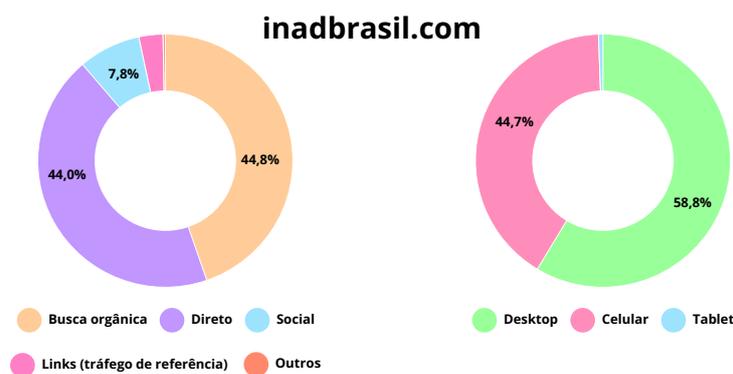


Figura 4: Acessos ao site [inadbrasil.com](#): à esquerda, como as pessoas chegaram ao site; e à direita, qual tipo de dispositivo foi utilizado para o acesso [1].

6. Publicações científicas

A experiência da campanha para o INAD 2021 também foi compartilhada em congressos regionais, nacionais e internacionais, bem como em um capítulo de livro:

- *Desenvolvimento de material educacional de acústica e audição para o INAD Brasil 2021*, publicado no XXIX Congresso Brasileiro e o IX Congresso Internacional de Fonoaudiologia 2021 (Fono 2021) [2];
- *Dia Internacional de Conscientização Sobre o Ruído – INAD Brasil*, capítulo do livro “Práticas educativas em saúde auditiva: nos contextos educacional, ambiental e ocupacional”, ISBN 978-6559835522, doi: [10.22533/at.ed.52221131012](https://doi.org/10.22533/at.ed.52221131012) [1]; e
- *Atividades desenvolvidas para o dia internacional da conscientização sobre o ruído 2021: campanha realizada em mídias digitais*, apresentado na 36ª Jornada Acadêmica Integrada da UFSM (JAI 2021) [3].

7. INAD, Ano Internacional do Som e planejamento para 2022

A comissão organizadora do INAD Brasil, junto com colegas de todo o Brasil, já está trabalhando na campanha de 2022, cujo tema será “**ruído na infância**”.

Entre em contato caso queira cooperar. Até a data desta publicação, temos os seguintes colaboradores regionais (em ordem alfabética):

- Prof.^a Ana Carolina Ghirardi, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis, SC;
- Profs. Alexandre Maiorino (Música) e Maria Raquel Speri (Fonoaudiologia), Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal, RN;
- Prof. Bruno Sanches Masiero, Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP;
- Prof.^a Elcione Maria Lobato de Moraes, Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém, PA;
- Prof.^a Isabel Cristiane Kuniyoshi, INAD Brasil, Campinas, SP;
- Prof.^a Marcela Alvares Maciel, Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), Erechim, RS;
- Prof. Márcio Henrique Avelar, Univ. Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, PR;
- Prof.^a Ranny Michalski, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP; e
- Profs. Valdete Alves Valentins dos Santos Filha (Fonoaudiologia) e William D’Andrea Fonseca (Engenharia Acústica), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS.

É interessante deixar claro 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 pessoas, empresas ou outras instituições. **Cooperando somos mais fortes.**

Referências

1. KUNIYOSHI, Isabel Cristiane; FONSECA, William D’Andrea; PAUL, Stephan. Dia Internacional de Conscientização Sobre o Ruído – INAD Brasil. In: LACERDA, Adriana Moreira; FRANÇA, Denise Romano. *Práticas educativas em saúde auditiva: nos contextos educacional, ambiental e ocupacional*. Atena, 2021. cap. 12, p. 138–152. ISBN 978-6559835522. doi: [10.22533/at.ed.52221131012](https://doi.org/10.22533/at.ed.52221131012). Disponível em: <https://bit.ly/cap-inad>.
2. FONSECA, William D’Andrea; MELLO, Felipe Ramos de; MAREZE, Paulo Henrique; SILVA, Rafael Augusto Davi; KUNIYOSHI, Isabel Cristiane; SANTOS, Christian dos; LACEY, Joseph. Desenvolvimento de material educacional de acústica e audição para o INAD Brasil 2021. In: Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia (SBFa). *XXIX Congresso Brasileiro e XI Congresso Internacional de Fonoaudiologia (Fono 2021)*. [S.l.], 2021. ISBN 978-6586760095. Disponível em: <https://bit.ly/fono2021-inad> e <https://sbfaf.org.br/plataforma2021/anais/trabalhos>.
3. MELLO, Felipe Ramos de; FONSECA, William D’Andrea; SILVA, Rafael; MAREZE, Paulo Henrique. Atividades desenvolvidas para o dia internacional da conscientização sobre o ruído 2021: campanha realizada em mídias digitais. In: *36ª Jornada Acadêmica Integrada - JAI-UFSM 2021*. Santa Maria, RS, Brasil: [s.n.], 2021. p. 1–27. Disponível em: <https://bit.ly/inad-jai2021>.

INAD 2021:

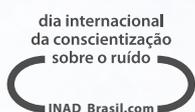
PROTEJA SUA
AUDIÇÃO,



PROTEJA SUA



SAÚDE!



28 de ABRIL de 2021

No dia 28 de abril de 2021 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 e [/INAD.BRASIL](https://www.instagram.com/inad_brasil)



Apoio Gold



Universidades, cursos e entidades com representantes regionais



Apoio nacional



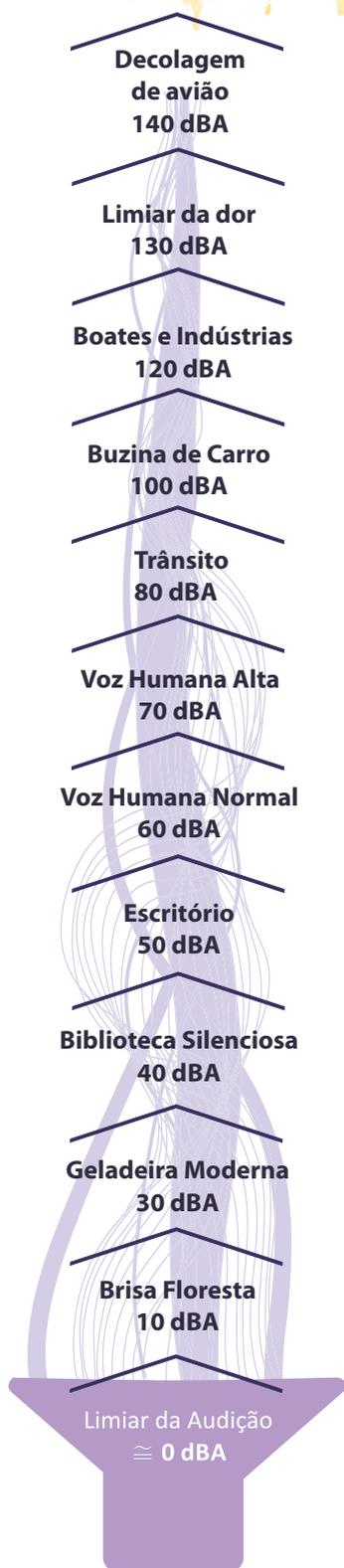
Apoio/organização regional



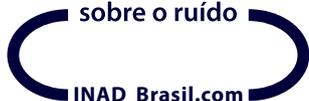
Espaço para apoio regional

28 DE ABRIL DE 2021
dia internacional da conscientização sobre o ruído

Níveis de pressão sonora a 1 m de distância



dia internacional da conscientização sobre o ruído



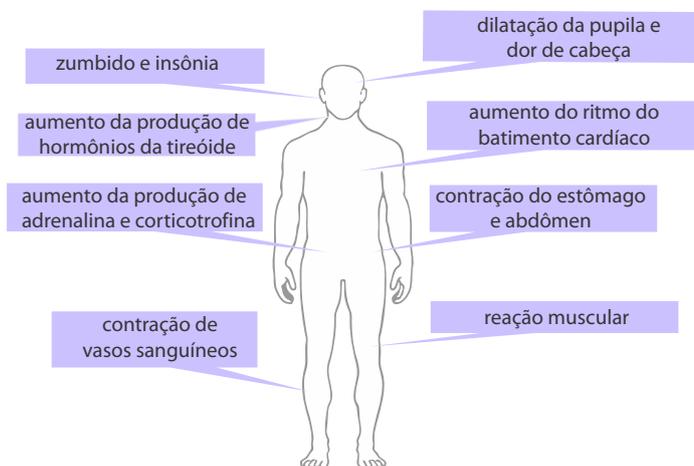
PROTEJA SUA AUDIÇÃO, PROTEJA SUA SAÚDE!



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 e [/INAD.BRASIL](https://www.instagram.com/INAD.BRASIL)

Apoio Gold



Universidades, cursos e entidades com representantes regionais



Apoio nacional



Apoio/organização regional





ENJOY
THE
SOUND
OF
SILENCE

inadbrasil.com



Ranny L. X. N.
Michalski 

Universidade de
São Paulo
USP

Rua do Lago, 876
CEP 05508-080
São Paulo - SP

{rannym}
@usp.br

Bruno Masiero 

Universidade Estadual de
Campinas
Unicamp

Cidade Universitária
Zeferino Vaz - Barão
Geraldo, Campinas - SP

{masiero}
@unicamp.br

William D'Andrea
Fonseca 

Universidade Federal de
Santa Maria
UFSM

Av. Roraima nº 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

{marciogomes}
@utfpr.edu.br

Fim do Ano Internacional do Som

Fechamento do Ano Internacional do Som 2020 & 2021

Resumo: O Ano Internacional do Som (**International Year of Sound** — IYS) teve início em 2020 e foi prorrogado por mais um ano, em decorrência da pandemia da COVID-19. O presente artigo reúne informações sobre eventos e ações relacionados ao IYS que aconteceram no Brasil ao longo dos seus dois anos de duração.

Closing of the International Year of Sound 2020 & 2021

Abstract: The **International Year of Sound** (IYS) started in 2020 and was extended for another year, due to the COVID-19 pandemic. This article gathers information about events and actions related to the IYS that took place in Brazil during its two-year duration.

1. Introdução

O Ano Internacional do Som (**International Year of Sound** – IYS) [1] foi inspirado em “**La Semaine du Son**” [2] (A Semana do Som), que acontece desde 2004 na França e que permitiu incluir seu tema como pauta da agenda da 39ª Conferência Geral da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) em 2017. Convencidos de que o ambiente sonoro é tão importante que molda nosso comportamento pessoal e coletivo, foi aprovada na conferência a Resolução 59 chamada “A Importância do Som no Mundo de Hoje: Promovendo as Melhores Práticas”.

Em 2019, como desdobramento dos objetivos da Resolução 39C/59 da UNESCO e de forma a cooperar para ampliar seu reconhecimento mundial, a Comissão Internacional de Acústica (ICA) e a organização de “**La Semaine du Son**” assinaram um memorando declarando 2020 como o Ano Internacional do Som, numa iniciativa global com a finalidade de divulgar a importância do som em todos os aspectos da vida na Terra, veja a Figura 1.



Figura 1: Logo do International Year of Sound 2020 & 2021 — IYS+.

A celebração do IYS iniciou-se oficialmente em 31 de janeiro de 2020 com uma Cerimônia de Abertura no Grande Anfiteatro da Universidade Sorbonne em Paris, França. No Brasil, a abertura oficial aconteceu em 6 de março e foi marcada por um concerto da Orquestra Sinfônica da Unicamp. Mas, devido à pandemia da COVID-19, a organização do IYS decidiu prorrogar as atividades associadas até o fim de 2021.

Passados dois anos, chegou ao fim o Ano Internacional do Som e o nosso objetivo com este texto é reunir informações e rememorar ações e eventos realizados no Brasil no âmbito desta iniciativa global ao longo dos anos 2020 e 2021. Lembramos que todas as informações sobre os inúmeros eventos e ações programados nos mais diversos países, além dos concursos estudantis internacionais, estão catalogados no [portal do IYS](#) [1].

2. IYS no Brasil — 2020

Em 6 de março de 2020 a Orquestra Sinfônica da Unicamp levou o grande público presente no vão do Ciclo Básico do campus de Barão Geraldo, em Campinas–SP, a uma viagem pelos universos fantásticos de algumas óperas alemãs, como João e Maria, A Flauta Mágica, O Navio Fantasma, entre outras (veja Figura 2). Foi neste contexto que a então presidente da Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac), Profa. Stelamaris Rolla Bertoli, declarou aberta as comemorações do Ano Internacional do Som no Brasil.



Figura 2: Maestrina Cinthia Alireti vestindo camiseta com o logo do IYS durante a abertura oficial do Ano Internacional do Som pela Orquestra Sinfônica da Unicamp (SP).

Exatamente uma semana depois deste evento a mesma Unicamp que recebeu a cerimônia de abertura do IYS foi também a primeira universidade pública do país a cancelar suas aulas por conta do aumento de casos da COVID-19, prenunciando o longo período de [pandemia](#) que estava por vir e que causou o cancelamento ou adiamento de muitos eventos planejados para o IYS.

Mesmo com o grande impacto causado pelas restrições impostas para reduzir a disseminação da pandemia da COVID-19, o [Dia Internacional da Conscientização Sobre o Ruído \(INAD\)](#) [3,4], foi realizado no dia 29 de abril de 2020, tendo como lema: “*Trabalho com ruído, saúde em perigo*” — veja um dos *banners* da campanha na Figura 3. Como parte integrante do IYS, o INAD Brasil recebeu apoio da Sobrac Nacional e de suas Regionais, da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia, de empresas e de diversas universidades brasileiras, bem como dos muitos profissionais e estudantes que compartilharam material informativo em suas redes sociais.



Figura 3: Banner do INAD Brasil 2020.

A Associação Brasileira para a Qualidade Acústica (ProAcústica) promoveu o IYS por meio da campanha “*Viva esta onda*”, que convidava todos a vivenciar a experiência do som a sua volta [5]. Com divulgações em seu portal, redes sociais, peças publicitárias, encontros e eventos digitais, *newsletters*, apresentações institucionais, vídeos, entre outros, o IYS foi amplamente destacado nos dois anos. A ProAcústica também participou do INAD 2020 com a ação [#SonsQueAmo](#) [6], dos dias 29 de abril a 31 de outubro de 2020.

Com boa parte da população mundial tendo de ficar dentro de casa para conter o avanço da COVID-19, se disseminaram neste período os shows de casa, ou *lives*. Dentro deste contexto, a Escola de Música da UFRN organizou o [Festival Internacional de Música em Casa – Fimuca](#) [7], que também promoveu o IYS e contou com três edições ao longo do ano de 2020: Fimuca Erudito no final de junho, Fimuca Pop em julho, e Fimuca Áudio em outubro (mais detalhes são dados no encarte desta edição na página 183).

Ainda em 2020, aconteceria o 12º Congresso Iberoamericano de Acústica ([FIA2020](#)) [8] em conjunto com o XXIX Encontro da Sobrac [9]. O evento, previsto para acontecer de 20 a 23 de setembro em Florianópolis–SC, seria mais um momento de divulgação e celebração do Ano Internacional do Som no Brasil. Devido à pandemia do coronavírus, o evento foi inicialmente adiado para maio de 2021. No entanto, para marcar a data original do evento e alinhado com a migração para os eventos remotos, no dia 22 de setembro de 2020, a organização do FIA2020 promoveu o webinar “Simulação Computacional da Acústica de Ambientes Fechados — Papo Técnico com Especialistas”. O [FIA2020/2022](#) está então agendado para 28 a 31 de agosto de 2022.

Em 14 de agosto de 2020 aconteceu V Seminário Gaúcho de Acústica e Vibrações (SeGAV-e) em formato virtual, o tradicional evento regional abriu as portas para todos, recebendo trabalhos e participantes de todo o país, seu conteúdo está disponível na íntegra no [YouTube](#).

3. IYS no Brasil — 2021

Em 7 de abril de 2021 aconteceu o [Fórum Permanente da Unicamp](#) intitulado “Ano Internacional do Som 2020”, no formato online [10]. Organizado pela Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli da FEC/UNICAMP e com o apoio da Sobrac, o evento contou com quatro palestras. A primeira palestra, “Sinfônica de Campinas: mais de 90 anos de histórias”, foi ministrada pelo maestro Victor Hugo Toro. A segunda palestra, “Luteria, instrumentos musicais e som”, foi proferida pelo professor de luteria, Prof. Dr. Thiago C. Freitas. A terceira, “Acústica ambiental: ruído e qualidade de vida”, ficou a cargo do Prof. Dr. Sergio Garavelli. O Prof. Dr. Bruno Masiero fechou o evento falando sobre a importância dos sistemas de comunicação sonora durante a pandemia. O evento foi gravado e está inteiramente disponível no [YouTube](#) [11].

Em 2021, o [Dia Internacional da Conscientização Sobre o Ruído \(INAD\)](#) [3, 4], aconteceu no dia 28 de abril. O lema da campanha de 2021 foi “*Proteja sua audição, proteja sua saúde!*” e vários eventos foram realizados, com apoio da Sobrac Nacional e de suas Regionais, da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia, empresas e de diversas universidades brasileiras. A página do [INAD Brasil](#) traz detalhes dos eventos. Aconteceram também *lives* e uma mesa redonda, veja as artes na Figura 4 — além disso, mais informações estão disponíveis em um encarte desta mesma edição, veja a página 137.



(a) Banner de Facebook do INAD 2021



(b) Convite da Live.



(c) Convite da Mesa redonda.

Figura 4: Convites e banner do INAD Brasil 2021.

A ProAcústica participou do INAD 2021 com a ação **Acústica Solidária** [12], lançada em 22 de abril, com a doação de cestas básicas para a campanha **Corona no Paredão**, da Rede Gerando Falcões. Na tarde do dia 28 de abril, aconteceu uma ação digital chamada Live Acústica Solidária, durante a qual os participantes eram convidados a usar máscaras de modo a incentivar e comunicar a importância do seu uso coletivo. Às 14h15 aconteceu um *Minuto de Silêncio*, a fim de demonstrar o impacto do ruído na vida cotidiana bem como manifesto às famílias em estado de vulnerabilidade no país.

O ano de 2021 foi particularmente importante para a arquitetura, com o **27º Congresso Mundial de Arquitetos (UIA2021RIO)**, promovido pela União Internacional dos Arquitetos (UIA) e organizado pelo Instituto de Arquitetos do Brasil (IAB), de 19 a 22 de julho de 2021, no Rio de Janeiro. A ProAcústica foi parceira da feira oficial do Congresso (**UIA2021RIO EXPO**), realizada em um formato múltiplo (presencial e virtual), onde apresentou uma série de **webinários** [13] sobre assuntos relevantes para as áreas de Acústica nas Edificações e Acústica Ambiental, fomentando assim a melhoria e a expansão da qualidade acústica no país.

No início de 2021, o 12º Congresso Iberoamericano de Acústica (FIA2020), que já havia sido adiado para maio de 2021, teve que ser novamente adiado devido ao novo aumento no número de casos da COVID-19, dessa vez para os dias 28 a 31 de agosto de 2022. Mais uma vez, a comissão organizadora do FIA promoveu o **webinário FIA2021** em 20 de novembro de 2021 para não deixar o evento passar em branco por mais um ano. O evento contou com duas mesas redondas: “Futuro impacto de drones e aeronaves EVTOL no ruído urbano” e “Transmissão sonora estrutural em edificações: relação entre simulações, normas e soluções construtivas”, além de palestras técnicas [14].

O Prof. Dr. Bruno Masiero também promoveu o IYS na disciplina “Introdução à Engenharia de Som I”, do curso de Engenharia Elétrica da Unicamp. A migração para o ensino emergencial remoto permitiu que a disciplina fosse organizada em colaboração com docentes da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e que tivesse a participação de palestrantes da América Latina, Europa e Estados Unidos. Todos os vídeos do evento podem ser visualizados no [YouTube](#) [15].

Em consonância, o Prof. Dr. William D’Andrea Fonseca promoveu (de junho a setembro de 2021) um ciclo de palestras-aulas abertas para a comunidade, em que diversas empresas e profissionais do ramo de acústica e vibrações apresentaram equipamentos, instrumentos e técnicas de medição. Esse conteúdo foi parte integrante da disciplina de “Instrumentação para Acústica e Vibrações” da UFSM — os conteúdos estão disponíveis em seu canal do [YouTube](#) [16].

De forma virtual (novamente), nos dias 24 e 25 de setembro de 2021 aconteceu o VI Seminário Gaúcho de Acústica e Vibrações (Segav), ampliado para dois dias, posta a enorme participação de profissionais e pesquisadores do Brasil todo. O seu conteúdo está disponível no YouTube ([Dia 1](#) e [Dia 2](#)) — mais informações podem ser consultadas também em [segav.org](#).

Também em 2021, a [Revista Acústica e Vibrações](#) se torna *open access*, com acesso livre a todo seu conteúdo e todos os números, publicando também em seus encartes informações sobre o IYS e outras atividades desenvolvidas [17].

O ano de 2021 também marca o bicentenário de Hermann von Helmholtz, o “pai fundador da acústica musical”. Nesse contexto e como atividade parceira do IYS, o Prof. Dr. Leonardo Fuks, da Escola de Música da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), organizou uma exposição sobre “Helmholtz e a Acústica Musical”, com raríssimos equipamentos do século XIX pertencentes à Escola de Música da UFRJ, um livro colaborativo com vários autores internacionais e um seminário sobre Helmholtz e pesquisa musical.

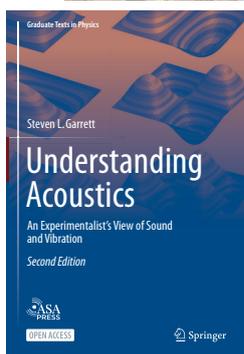
Vemos, portanto, que, apesar das restrições impostas pela pandemia da COVID-19, que impactaram tão fortemente a vida de todos nós, a comunidade de acústicos do Brasil conseguiu realizar uma série de eventos para promover o Ano Internacional do Som (IYS) ao longo de seus dois anos de duração.

Referências

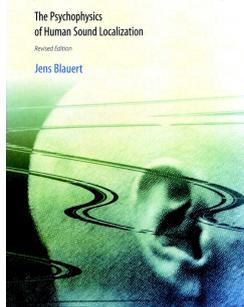
1. International Year of Sound (IYS) website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://sound2020.org/>.
2. La Semaine du Son website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://www.lasemaineduson.org/>.
3. International Noise Awareness Day (INAD) website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://chchearing.org/noise/day/>.
4. Dia Internacional de Conscientização Sobre o Ruído (INAD Brasil) website. Disponível em: <http://inadbrasil.com/>.
5. ProAcústica – Associação Brasileira para a Qualidade Acústica. Acessado em fev. 2022. Disponível em: <https://www.proacustica.org.br/calendario-proacustica/2020-2021-ano-internacional-do-som/>.
6. INAD 2020 – ProAcústica website. Acessado em fev. 2022. Disponível em: <https://www.proacustica.org.br/inad/2020/>.
7. Fimuca – Festival Internacional de Música em Casa website. Acessado em fev. 2022. Disponível em: <https://fimuca.musica.ufrn.br/>.
8. 12º Congresso Iberoamericano de Acústica & XXIX Encontro da SOBRAC website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <https://fia2020.com.br/>.
9. Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac) website. Acessado em dez. 2019. Disponível em: <http://acustica.org.br>.
10. Fórum Permanente Unicamp: Ano Internacional do Som 2020 website. Acessado em fev. 2022. Disponível em: <https://www.unicamp.br/unicamp/eventos/2021/04/07/ano-internacional-do-som-e-tema-de-forum>.
11. Fórum Permanente Unicamp: Ano Internacional do Som 2020 YouTube. Acessado em fev. 2022. Disponível em: <https://youtu.be/y7ISfdrQ4b8>.
12. Campanha Acústica Solidária. Acessado em fev. 2022. Disponível em: <https://www.proacustica.org.br/calendario-proacustica/26-inad-28-04-21-dia-internacional-de-conscientizacao-sobre-o-ruído/>.
13. UIA2021RIO EXPO webinários. Acessado em fev. 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/c/UIA2021RIOEXPOTV>.
14. FIA2021 webinários. Acessado em fev. 2022. Disponível em: https://www.youtube.com/channel/UCIp6RolyJ15Qhr_TREFWPVw.
15. Introdução à Engenharia de Som I (Unicamp), seminários internacionais. Acessado em fev. 2022. Disponível em: https://www.youtube.com/playlist?list=PLGa6Ybe5AxUwW7JMz9meBpbN_0XMm8Bai.
16. Instrumentação para Acústica e Vibrações (UFSM), palestras-aulas. Acessado em set. 2022. Disponível em: <http://www.youtube.com/channel/UCI-GzvUmXsTomSoh4Ud0t0Q>.
17. Revista Acústica e Vibrações. Acessado em dez. 2022. Disponível em: <https://revista.acustica.org.br>.

(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)

Editores A&V n. 53



Spatial Hearing



Resenhas de livros

A edição n° 53 recebe resenhas também dos autores

Nesta edição da revista, a presente seção conta com cinco resenhas de livros (também chamadas de *book reviews*). E há uma novidade: as duas primeiras resenhas foram escritas pelos próprios autores dos livros. As outras três resenhas ficaram a cargo dos editores do número 53. Outra novidade é que todas elas estão também disponíveis em língua inglesa (elas começam na página 157).

Lembramos que as resenhas são escritas de forma abreviada e concisa, de modo a resumir o conteúdo dos livros (em assuntos relacionados com as diversas ciências que envolvem acústica, vibrações e áudio) e trazer informações acerca dos autores (para contextualizar ainda mais as obras).

Para este número trazemos as resenhas dos seguintes livros:

- [Sound-Politics in São Paulo](#)
Autor: Leonardo Cardoso | Oxford Press, 2019
- [Dinâmica Aplicada](#)
Autor: Roberto A. Tenenbaum | Editora Manole, 2016 (4 ed.)
- [Acústica nos Edifícios](#)
Autor: Jorge Patrício | Publindústria, 2018 (7 ed.)
- [Understanding Acoustics: An Experimentalist's View of Sound and Vibration](#)
Autor: Steven L. Garret | Springer, 2020
- [Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization](#)
Autor: Jens Blauert | MIT Press, 1996 (Rev. Ed.).

Leonardo Cardoso, professor na Texas A&M University, apresenta seu livro sobre política sonora em São Paulo. Roberto Tenenbaum, professor da UFSM, apresenta a quarta edição de sua obra importante na compreensão de Acústica e Vibrações.

Em seguida, é apresentado um dos livros de Jorge Patrício, referência portuguesa em Acústica de Edificações. O quarto livro é o “Entendendo a acústica”, de autoria de Steven Garret. Por último, o livro clássico do prof. alemão Jens Blauert, “Áudio espacial”, é apresentado.

Esperamos que a leitura das resenhas ofereça as primeiras compreensões/impressões sobre as obras e desperte vontade de conhecê-las por inteiro: uma excelente maneira de ampliar o conhecimento e de se manter atualizado.

Leonardo Cardoso 

(autor)

Department of
Performance Studies at
Texas University
Austin, TX 78712,
Estados Unidos

{cardoso}
@tamu.edu

**Autor:** Leonardo Cardoso**Editora:** Oxford University Press**Ano:** 2019**Língua:** inglês**ISBN:** 978-0190660093**doi:**[10.1093/oso/9780190660093.001.0001](https://doi.org/10.1093/oso/9780190660093.001.0001)

Sound-Politics in São Paulo

Uma abordagem sociológica ao ruído urbano

Em *Sound-Politics in São Paulo* (Oxford University Press, 2019), Leonardo Cardoso tenta responder uma pergunta simples: *por que o ruído das cidades persiste sem uma solução à vista?* Por meio da leitura cuidadosa de leis, normas técnicas, sentenças judiciais, acervos de jornais e entrevistas com especialistas de várias áreas, o livro propõe uma abordagem sociológica sobre o tema. O Capítulo 1 traça um histórico do problema. Cardoso examina reclamações de ruído em jornais desde a década de 1910 e as sucessivas tentativas do poder municipal de controlar esses sons. Por exemplo, em São Paulo, o conceito de “poluição sonora” começou a circular na imprensa nos anos 60 e 70 com a chegada de aviões a jato no aeroporto de Congonhas e com a inauguração do famoso “Minhocão”. Os dois casos mostram como a prefeitura tem não apenas ignorado a importância da acústica no planejamento urbano, mas ela própria contribuído para piorar o problema.

O segundo capítulo analisa debates envolvendo duas importantes normas técnicas sobre ruído ambiental, as ABNT NBR 10151 e 10152. Com base em entrevistas, atas de reuniões e participação em várias reuniões, o autor mostra que a revisão dos dois documentos se mostrou difícil devido às divergências sobre a finalidade de uma norma técnica.

No Capítulo 3, Cardoso analisa debates sobre ruído na Câmara Municipal de São Paulo, SP. O autor descreve as várias tentativas de grupos evangélicos, bares e restaurantes, desde os anos 1990, de excluir ou minimizar o impacto de leis anti-ruído sobre suas atividades. O capítulo seguinte narra os muitos desafios que a polícia militar e o Programa de Silêncio Urbano - PSIU (órgão municipal criado em 1994) enfrentam ao tentar fiscalizar e punir vizinhos e estabelecimentos comerciais barulhentos. O Capítulo 5 aborda litígio envolvendo ruído na segunda instância. O autor descreve como esse é um problema que perpassa diversos campos do direito, como direito criminal, público, civil (direito de vizinhança) e administrativo. O capítulo também mostra que o tema é controverso entre juízes do Tribunal de Justiça de São Paulo em suas tentativas de avaliar diferentes tipos de evidência.

O Capítulo 6 discute os bailes funk de rua, conhecidos como “pancadões de rua”. Ao acompanhar a polêmica do pancadão, Cardoso descreve como os grupos estudados nos capítulos anteriores (PSIU, Polícia Militar, vereadores etc.) buscaram solucionar o problema.

O livro conclui propondo uma abordagem multidisciplinar ao questionamento inicial: *por que este é um problema de tão difícil solução?* O autor sugere que o estudo do ruído urbano envolve a investigação cuidadosa de quatro tipos de controvérsias inter-relacionadas: (1) “complexos sonoros” (ruído de tráfego, de bares, industrial etc.); (2) “eixos de debate” (por exemplo, ruído como questão de saúde pública ou como um fator de criminalidade); (3) “dilemas de governo” (que órgão público deve lidar com o problema e como deve fazê-lo?); e (4) “soluções de governo” (por exemplo, deve-se controlar o emissor ou o receptor do ruído?).

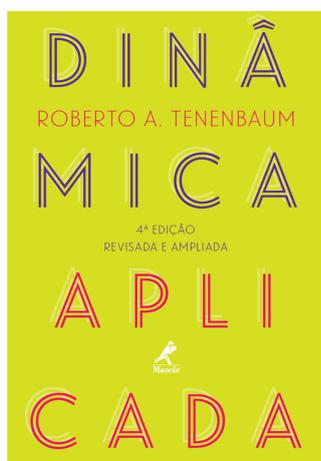
**Roberto A.
Tenenbaum** 

(autor)

**Universidade Federal de
Santa Maria**

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

{ratenenbaum}
@gmail.com



Autor: Roberto Tenenbaum

Editora: Editora Manole

Ano: 2016 (4 ed.)

Língua: português

ISBN: 978-8520446775

Link: [editora](#)

Dinâmica Aplicada

Um clássico de mecânica sobre a ótica de acústica e vibrações

O livro-texto *Dinâmica Aplicada*, cuja primeira edição data de 1997, foi concebido a partir de notas de aula produzidas pelo autor nos idos de 1970 para a disciplina *Mecânica Racional*, oferecida no curso básico para as habilitações da engenharia na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). As notas se impuseram ao autor, uma vez que os livros-texto então disponíveis — traduções de obras de autores norte-americanos (NAs) produzidos na década de 1950 — se mostraram inadequadas aos estudantes brasileiros. Essa inadequação se deve, entre outras coisas, às diferenças entre modos de pensar dos estudantes brasileiros e NAs. Estes estão acostumados à instrução programada. Já aqueles têm uma forma de aprendizagem mais caótica — e, portanto, muito mais criativa. Isso acabou resultando em um texto de cerca de 700 páginas com 8 capítulos e 5 apêndices cuja abordagem — ao contrário daquela utilizada pelos já citados autores NAs — é sempre do geral para o particular e, como afirma o prefácio à 4ª edição: *Essa opção é deliberada e a dificuldade inicial é aparente. A experiência didática tem demonstrado cabalmente o exato oposto: o estudante, introduzido ao conceito em toda sua generalidade, habitua-se rapidamente, dominando com facilidade as simplificações que os casos particulares inserem, e, principalmente, não hesitando diante de situações mais complexas.*

Ao longo de várias décadas de ensino e seis edições após (duas em formato digital e duas produzidas nos EUA pela Springer-NY), a edição de 2016, naturalmente, amadureceu bastante e teve praticamente todos os seus erros corrigidos — embora saiba-se que essa é uma tarefa de Sísifo. Todavia, o que o autor observou ao longo desse tempo foram gerações de engenheiros com excelente formação em *Dinâmica*, o que parece indicar o acerto da opção metodológica adotada no livro-texto.

O leitor desta resenha pode estar se perguntando o que este texto está fazendo na revista A&V. Bem, a *Dinâmica* é a disciplina científica que estuda sistemas submetidos a *mudanças de estado*. Na busca humana pela compreensão do mundo em que vive, os cientistas encontraram na contínua mudança de estado o que há de mais perene no Universo. Como *acústica* e *vibrações* lidam com mudanças de estado, ou seja, flutuações, pode-se dizer sem risco de errar que a *Dinâmica* é a ciência que está na base da compreensão da A&V. Foi assim que este autor chegou à A&V.

O autor aproveita a oportunidade para prestar reconhecimento ao brilhante Professor Emérito da UFRJ, Luiz Bevilacqua, responsável pela coordenação da disciplina oferecida na década de 1970 na engenharia da UFRJ e pelo convite a este autor a compor o quadro de docentes da disciplina na época. No Prefácio à 1ª Edição ele afirma, ao finalizar: “*Este é um livro que eu gostaria de ter escrito.*”, o que muito me honra.

Ranny L. X. N.
Michalski 
Universidade de
São Paulo

Rua do Lago, 876
CEP 05508-080
São Paulo - SP

{rannym}
@usp.br



Autor: Jorge Patrício
Editora: Publindústria
Ano: 2018 (7 ed.)
Língua: português
ISBN: 978-9897232626
Link: [editora](#)

Acústica nos Edifícios 7ª Edição, Revista e Aumentada

Referência internacional em português

Acústica nos Edifícios, com autoria de Jorge Patrício, está em sua sétima edição, revisada e ampliada. Dividido em onze capítulos e um anexo, o livro fornece informações fundamentais relativas ao desempenho acústico e à qualidade acústica de edificações, junto com as metodologias de avaliação desde a fase de projeto até a de edifícios já construídos, de acordo com legislações e normas internacionais. Com uma abordagem de fora para dentro, ou seja, do ambiente externo para o interno, a obra trata assuntos como acústica urbana, isolamento sonoro aéreo, isolamento sonoro de ruído de impacto, vibrações e ruídos de equipamentos e instalações prediais, transmissões marginais, até condicionamento acústico de espaços fechados, absorção sonora, tempo de reverberação e difusão sonora.

O autor enfatiza a importância de pensar não somente no edifício, mas também na relação com o entorno e suas diferentes fontes de ruído, de modo a alcançar uma avaliação integrada do conforto acústico dos usuários. Enfatiza ainda a relevância do planejamento urbanístico, para gestão e controle de ruído.

A compatibilização entre acústica e térmica, tema bastante relevante e complexo, merece destaque. O oitavo capítulo aborda especificamente a inter-relação entre os requisitos acústicos e as exigências de conforto térmico e de ventilação. São apresentadas tabelas relacionando desempenho acústico e térmico de diversos elementos e sistemas construtivos, e exigências regulamentares e normativas. Uma transcrição comentada do Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios (RRAE) é apresentada no décimo capítulo, com anotações do autor. São fornecidos também organogramas de procedimentos de avaliação típicos de acústica de edificações.

O último capítulo apresenta soluções construtivas, tabelas complementares e exemplos de exercícios e testes. Por fim, o anexo apresenta outros métodos para determinar o isolamento sonoro, além dos apresentados ao longo dos capítulos.

Jorge Patrício, doutor em engenharia civil, é pesquisador do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal) e presidente da Sociedade Portuguesa de Acústica (SPA), entre outros cargos relevantes. Autor de diversos livros e publicações expressivas em acústica, é um grande colaborador dos acústicos brasileiros.

Excelente referência internacional, que conta com a facilidade da leitura em português, o livro Acústica nos Edifícios deve estar presente na biblioteca de todo acústico. No site da editora [Publindústria, Edições Técnicas](#) é possível ver uma pequena prévia do livro e comprá-lo (em versões eletrônica e impressa). A versão impressa também pode ser comprada no site da [Amazon do Brasil](#).

Olavo M. Silva 

Universidade Federal de
Santa Catarina

Rua Delfino Conti, s/n.

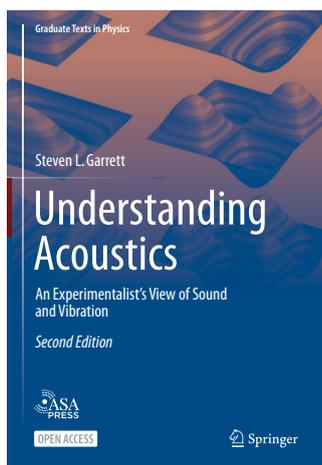
Campus Universitário

Trindade - 88040-370

Florianópolis - SC

{olavo}

@lva.ufsc.br



Autor: Steven L. Garret

Editora: Springer

Ano: 2020 (2 ed.)

Língua: inglês

ISBN: 978-3030447878

doi: 10.1007/978-3-030-44787-8

Link: [open-access](#)

Understanding Acoustics: An Experimentalist's View of Sound and Vibration

Uma conversa “aberta” sobre acústica e vibrações

“Acústica e Vibrações são ciências do sutil”. Essa é uma das primeiras frases de Steven L. Garret na segunda edição de seu livro em que descreve os fundamentos dessas importantes áreas do conhecimento. E, de maneira sutil, apresenta ao leitor todos os conceitos encontrados em consagrados textos por meio de uma conversa cheia de exemplos e aplicações, sem matemática rebuscada, usando sempre as primeiras pessoas do singular e do plural. Com uma linguagem moderna e diversas ilustrações, faz uso até de cenas de filmes consagrados para facilitar o entendimento de leitores que estejam em fase inicial de sua formação. O cuidado com o embasamento teórico em todo o texto é admirável, com diversas notas de rodapé apontando para leitura auxiliar, ou mesmo com a apresentação de conceitos de outras áreas.

Steven L. Garret é doutor em Física e lecionou por 40 anos em diversas instituições dos EUA (UCLA, Naval Postgraduate School, e Penn State), sendo atualmente *fellow* da Acoustical Society of America. Teve forte atuação em procedimentos experimentais ao longo da carreira, como no desenvolvimento de sensores e de refrigeradores termoacústicos, com dezenas de patentes registradas. É, de fato, um “experimentalista”. Em todo o livro, temos a impressão que Steven já “viu” tudo o que é apresentado.

Esta obra é dividida em três partes (com 15 capítulos, totalizando 783 páginas), iniciando com uma seção preliminar com fundamentos matemáticos, revisão de análise dimensional e noções de propagação de incertezas e ajuste de dados. A primeira parte tem foco na área de Vibrações, trazendo todos os conceitos encontrados em livros clássicos, incluindo a análise de sistemas discretos e contínuos. Seguindo a proposta do autor, todos os temas são diretamente relacionados a exemplos e testes experimentais, com seções destinadas à descrição de tipos de transdutores e sistemas de aquisição de sinais, passando pela determinação de propriedades mecânicas de materiais através de testes de vibração. A segunda parte é focada em Acústica, partindo dos fundamentos da hidrodinâmica, com uma clara e ilustrativa forma de apresentar os principais conceitos usados em acústica linear: propagação, reflexão, transmissão, refração, radiação e espalhamento de ondas; cavidades acústicas; e mecanismos de dissipação e de atenuação do som. Assim como na primeira parte, muitos exemplos e testes práticos são demonstrados. A terceira parte é dedicada à Acústica não-Linear, desmistificando alguns conceitos desse assunto que, para muitos, ainda é uma caixa-preta.

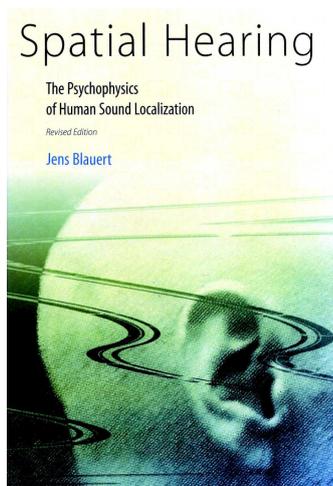
Uma cópia *open access* do livro pode ser obtida no [site da editora Springer](#). A cópia impressa pode ser adquirida no site da [Amazon do Brasil](#).

William D'Andrea
Fonseca 

Universidade Federal de
Santa Maria

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

{will.fonseca}
@eac.ufsm.br



Autor: Jens Blauert

Editora: MIT Press

Ano: 1996 (Revised Ed.)

Língua: inglês

ISBN: 978-0262268684

doi: 10.7551/mitpress/6391.001.0001

Link: [open-access](#)

Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization

Um clássico da tecnologia biauricular agora com acesso aberto

O livro *Spatial Hearing* foi concebido inicialmente em 1974, ainda em sua versão em alemão. Em 1982, ganhou uma versão em inglês e, em 1995, ganhou uma nova edição revisada (*Revised Edition*). Nesta última foi adicionado um novo capítulo (o quinto) com novas informações que emergiram com a evolução tecnológica do conjunto de métodos que compõe a chamada “tecnologia biauricular”. Como o autor mesmo escreve, desde o lançamento original (até a versão revisada) se passaram 20 anos e, nesse tempo, os computadores deixaram de ser peças exclusivas de laboratórios para integrar um espaço na casa das pessoas. Junto à popularização, veio o avanço nas capacidades de processamento. Logo, o que outrora eram teorias passaram a se tornar cálculos realizados de forma *offline* nos anos 90, e, hoje em dia, passados quase 50 anos da edição original e quase 30 da última edição, podemos dizer que boa parte dos processamentos documentados podem ocorrer em tempo real (ou *online*), seja em computadores e/ou em dispositivos móveis.

Como originalmente projetado, o livro cobre grande parte dos conhecimentos necessários para se compreender os fenômenos físicos do som e sua relação com as sensações sonoras promovidas, construindo, assim, os fundamentos acerca dos temas pertinentes, em um texto facilmente legível, apoiado também com gráficos e ilustrações (veja a Figura 1). É uma leitura indispensável para estudantes, pesquisadores e consultores que trabalham com o *áudio espacial* ou com a *acústica virtual*. Embora com “apenas” cerca de 500 páginas, o livro também funciona como uma coleção de referências, apontando para mais de 900 itens de bibliografia para que o leitor possa se aprofundar.

A tiragem do livro físico (editado pela MIT Press) está esgotada. No entanto, para felicidade dos entusiastas da área, o livro se tornou de acesso livre, estando integralmente disponível em formato PDF no site da editora ([vide link](#)) — por isso trazemos essa resenha para a A&V.

O autor, o professor Jens Blauert, da Univ. de Bochum, na Alemanha, tem uma extensiva carreira em temas de acústica e audição, com dezenas de artigos publicados, assim como teses de doutorado orientadas. É autor também de vários outros livros no tema e em seu perfil do [Research Gate](#) o leitor pode acessar boa parte de seu material e produção, assim como mais informações podem ser consultadas em [seu site](#).

Tive o prazer de conhecer o prof. Jens em 2005, no Brasil, ainda como aluno de pós-graduação, e, recentemente, pudemos conversar no evento ICA 2019, realizado em Aachen, na Alemanha, porém dessa vez como prof. da disciplina de Auralização da Engenharia Acústica da UFSM. Prof. Jens fez questão de disponibilizar mais material educacional quando soube que suas obras são amplamente utilizadas no curso.

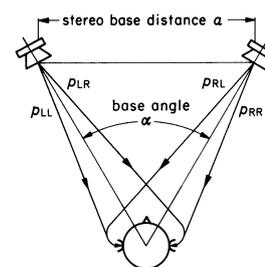
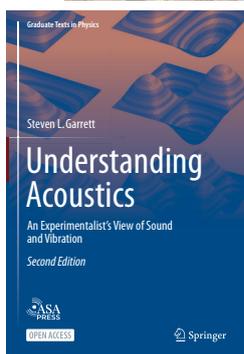
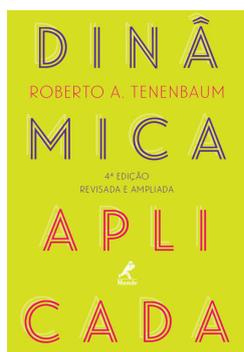
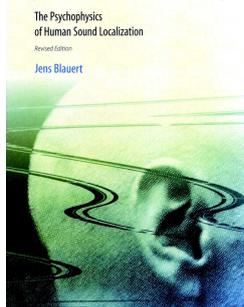


Figura 1: Caminhos sonoros para um sistema estereofônico (Figura 3.1 do livro).

A&V n. 53 Editors



Spatial Hearing



Book Reviews

Issue 53 also receives reviews from the authors

In this issue of the magazine, this section has five book reviews. In addition, there's something new: the first two reviews were written by the authors of the respective books themselves. The other three reviews were under the charge of the editors of issue 53. Another novelty is that all of them are also available in the English language (Portuguese versions start on page 151).

We remind you that the reviews are written in an abbreviated and concise way in order to summarize the content of the books (in matters related to the various sciences that involve acoustics, vibrations, and audio) and to provide information about their authors (to further contextualize the works).

For this issue we bring reviews of the following books:

- [Sound-Politics in São Paulo](#)
Author: Leonardo Cardoso | Oxford Press, 2019
- [Applied Dynamics \(*Dinâmica Aplicada*\)](#)
Author: Roberto A. Tenenbaum | Editora Manole, 2016 (4 ed.)
- [Acoustics in Buildings \(*Acústica nos Edifícios*\)](#)
Author: Jorge Patrício | Publindústria, 2018 (7 ed.)
- [Understanding Acoustics: An Experimentalist's View of Sound and Vibration](#)
Author: Steven L. Garret | Springer, 2020
- [Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization](#)
Author: Jens Blauert | MIT Press, 1996 (Rev. Ed.).

Leonardo Cardoso, professor at Texas A&M University, presents his book on sound policy in São Paulo. Roberto Tenenbaum, professor at UFSM, presents the fourth edition of his important work on the understanding of Acoustics & Vibrations.

Then, one of the books by Jorge Patrício, a Portuguese reference in Building Acoustics, is presented. The fourth book is "Understanding Acoustics", authored by Steven Garret. Finally, the classic text by Prof. Jens Blauert, "Spatial Audio", is also presented.

We hope that reading the reviews will give you first understanding/impressions about the works and will help you want to get to know them in full: an excellent way to broaden your knowledge and keep up to date in the field of Acoustics.

Leonardo Cardoso 

(author)

Department of
Performance Studies at
Texas A&M UniversityAustin, TX 78712,
USA{cardoso}
@tamu.edu**Author:** Leonardo Cardoso**Publisher:** Oxford University Press**Year:** 2019**Language:** English**ISBN:** 978-0190660093**doi:**[10.1093/oso/9780190660093.001.0001](https://doi.org/10.1093/oso/9780190660093.001.0001)

Sound-Politics in São Paulo

A sociological approach to urban noise

In *Sound-Politics in São Paulo* (Oxford University Press, 2019), Leonardo Cardoso tries to answer a simple question: *why does urban noise persist without a solution in sight?* Through a careful reading of laws, technical standards, court rulings, newspaper collections, and interviews with experts from various fields, the book proposes a sociological approach to the subject. Chapter 1 traces a history of the problem. Cardoso examines complaints about noise in newspapers since the 1910s and the successive attempts by municipal authorities to control these sounds. For example, in São Paulo the concept of “noise pollution” began to circulate in the press in the 60s and 70s with the arrival of jet planes at Congonhas airport and the inauguration of the famous “Minhocão”. The two cases show how the city has not only ignored the importance of acoustics in urban planning but has contributed to making the problem worse.

The second chapter analyzes debates involving two important technical standards on environmental noise, the ABNT NBR 10151 and 10152. Based on interviews, minutes of meetings, and participation in several meetings, the author shows that the review of the two documents proved to be difficult due to disagreements about the purpose of a technical standard.

In Chapter 3, Cardoso analyzes debates on noise in the City Council of São Paulo, SP. The author describes the various attempts by evangelical groups, bars, and restaurants since the 1990s to exclude or minimize the impact of anti-noise laws on their activities. The next chapter narrates the many challenges that the military police and the Urban Silence Program - PSIU (a municipal initiative created in 1994) face when trying to inspect and punish noisy neighbors and commercial establishments. Chapter 5 addresses litigation involving noise in the second instance. The author describes how this is a problem that permeates several fields of law, such as criminal, public, civil (neighborhood law), and administrative law. The chapter also shows that the topic is controversial among judges of the São Paulo Court of Justice in their attempts to assess different types of evidence.

Chapter 6 discusses the funk street dances known as “street pancadões”. Following the controversy over the pancadão, Cardoso describes how the groups studied in previous chapters (PSIU, Military Police, councilors, etc.) sought to solve the problem.

The book concludes by proposing a multidisciplinary approach to the initial questioning: *why is this such a difficult problem to solve?* The author suggests that the study of urban noise involves the careful investigation of four types of interrelated controversies: (1) “sound complexes” (traffic, bar, industrial noise, etc.); (2) “axes of debate” (e.g. noise as a public health issue or as a factor in crime); (3) “government dilemmas” (which public agency should deal with the problem and how should it do so?); and (4) “governance solutions” (e.g. should you control the noise emitter or receiver?).

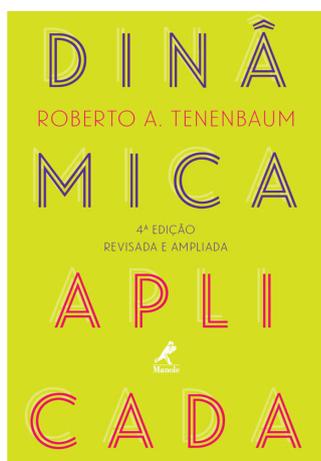
**Roberto A.
Tenenbaum** 

(author)

*Federal University of
Santa Maria*

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

{ratenenbaum}
@gmail.com



Author: Roberto Tenenbaum

Publisher: Editora Manole

Year: 2016 (4 ed.)

Language: Portuguese

ISBN: 978-8520446775

Link: [publisher](#)

Applied Dynamics

A mechanics classic on the optics of acoustics and vibrations

The textbook *Applied Dynamics (Dinâmica Aplicada)*, whose first edition dates from 1997, was conceived from lecture notes produced by the author in the 1970s for the discipline *Rational Mechanics*, offered in the introductory course for engineering qualifications at the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), Brazil. The notes imposed themselves on the author since the textbooks then available — translations of works by North American authors (NAs) produced in the 1950s — proved to be inadequate for Brazilian students. This inadequacy was due, among other things, to the differences between the ways of thinking of Brazilian students and NAs. These are used for programmed instruction. Those, on the other hand, have a more chaotic — and therefore much more creative — way of learning. This ended up resulting in a text of approximately 700 pages with 8 chapters and 5 appendices whose approach — contrary to that used by the aforementioned NAs authors — is always from the general to the particular and, as the preface to the 4th edition states: *This option is deliberate and the initial difficulty is apparent. The didactic experience has fully demonstrated the exact opposite: the student, introduced to the concept in all its generality, gets used to it quickly, easily mastering the simplifications that particular cases insert, and above all, not hesitating in the face of more complex situations.*

Over several decades of teaching and six editions later (two in digital format and two produced in the USA by Springer-NY), the 2016 edition, naturally, has matured greatly and has had virtually all of its errors corrected — although it is known that this is a task of Sisyphus. However, what the author observed over that time were generations of engineers with excellent training in *Dynamics*, which seems to indicate the correctness of the methodological option adopted in the textbook.

The reader of this review may be wondering what this text is doing in A&V journal. Well, *Dynamics* is the scientific discipline that studies systems undergoing *changes of state*. In the human quest to understand the world in which they live, scientists have found in the continuous change of state what is most perennial in the Universe. As *acoustics and vibrations* deal with changes of state, that is, fluctuations, it can be safely said that *Dynamics* is the science that underlies the understanding of A&V. That's how this author came to Acoustics & Vibrations.

The author takes the opportunity to acknowledge the brilliant Professor Emeritus of UFRJ, Luiz Bevilacqua, responsible for coordinating the discipline offered in the 1970s in engineering at UFRJ, and for inviting this author to compose the faculty of the discipline at the time. In the Preface to the 1st Edition, he says, at the end: *“This is a book I wish I had written.”*, of which I am very proud.

Ranny L. X. N.
Michalski 

University of
São Paulo

Rua do Lago, 876
CEP 05508-080
São Paulo, SP, Brazil

{rannym}
@usp.br



Author: Jorge Patrício

Publisher: Publindústria

Year: 2018 (7 ed.)

Language: Portuguese

ISBN: 978-9897232626

Link: [publisher](#)

Acoustics in Buildings 7th Edition, Revised and Enlarged

International reference in Portuguese

Acoustics in Buildings (*Acústica nos Edifícios*), authored by Jorge Patrício, is in its seventh edition, revised and expanded. Divided into eleven chapters and an annex, the book provides fundamental information regarding the acoustic performance and acoustic quality of buildings, along with assessment methodologies from the design phase to that of buildings already constructed, in accordance with legislation and international standards. With an outside-in approach, that is, from the external to the internal environment, the work deals with issues such as urban acoustics, airborne sound insulation, impact sound insulation, vibrations and noise from equipment and building installations, flanking transmissions, acoustic conditioning of closed spaces, sound absorption, reverberation time and sound diffusion.

The author emphasizes the importance of thinking not only about the building but also about the relationship with the surroundings and different sources of noise in order to achieve an integrated assessment of the users' acoustic comfort. He also emphasizes the importance of urban planning for noise management and control.

The compatibility between acoustics and thermal dynamics, a very relevant and complex topic, deserves to be highlighted. The eighth chapter specifically addresses the interrelationship between acoustic requirements and thermal comfort and ventilation requirements. Tables are presented relating the acoustic and thermal performance of different elements and construction systems, as well as regulatory and normative requirements. An annotated transcript of the Building Acoustic Requirements Regulation (RRAE) is presented in the tenth chapter, with annotations by the author. Organizational charts of typical building acoustics assessment procedures are also provided.

The last chapter presents constructive solutions, complementary tables, and examples of exercises and tests. Finally, the annex presents other methods to determine sound insulation, in addition to those presented throughout the chapters.

Jorge Patrício, Ph.D. in civil engineering, is a researcher at LNEC (National Civil Engineering Laboratory of Portugal) and president of the Portuguese Society of Acoustics (SPA), among other relevant positions. Author of several books and expressive publications on acoustics, he is a great contributor to Brazilian acoustics.

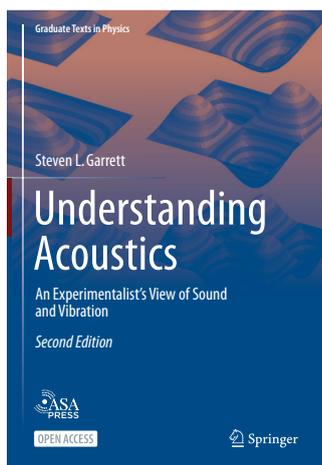
An excellent international reference, which is easy to read in Portuguese, the book *Acoustics in Buildings (Acústica nos Edifícios)* should be present in the library of all acousticians. On the [publisher's website](#), it is possible to see a small preview of the book and buy it (in electronic and printed versions). The printed version can also be purchased on the [Brazilian Amazon](#) website.

Olavo M. Silva 

*Federal University of
Santa Catarina*

*Rua Delfino Conti, s/n.
Campus Universitário
Trindade - 88040-370
Florianópolis, SC, Brazil*

{olavo}
@lva.ufsc.br



Author: Steven L. Garret

Publisher: Springer

Year: 2020 (2 ed.)

Language: English

ISBN: 978-3030447878

doi: 10.1007/978-3-030-44787-8

Link: [open-access](#)

Understanding Acoustics: An Experimentalist's View of Sound and Vibration

An "open" conversation about acoustics and vibrations

"Acoustics and vibration are the 'sciences of the subtle'." This is one of Steven L. Garrett's first sentences in the second edition of his book, in which he describes the fundamentals of these important areas of knowledge. In a subtle way, it also presents the reader with all the concepts found in consecrated texts through a conversation full of examples and applications, without far-fetched mathematics, and always using the first person singular or plural. With a modern language style and several illustrations, it even makes use of scenes from renowned films to facilitate the understanding among readers who are in the initial phase of their training. The care taken with the theoretical basis throughout the text is admirable, with several footnotes pointing to auxiliary reading or even the presentation of concepts from other areas.

Steven L. Garret has a Ph.D. in Physics and has taught for 40 years at several US institutions (UCLA, Naval Postgraduate School, and Penn State University), and is currently a fellow of the Acoustical Society of America. He has had a strong presence in experimental procedures throughout his career, such as the development of sensors and thermoacoustic refrigerators, with dozens of registered patents. He is, in fact, an "experimentalist." Throughout the book, we get the impression that Steven has already "seen" everything that is presented.

This work is divided into three parts (with 15 chapters, totaling 783 pages), starting from a preliminary section with mathematical foundations, review of dimensional analysis, and notions of propagation of uncertainties and data adjustment. The first part focuses on the area of Vibrations, bringing all the concepts found in classic books, including the analysis of discrete and continuous systems. Following the author's proposal, all topics are directly related to examples and experimental tests, with sections dedicated to the description of types of transducers and signal acquisition systems, including the determination of mechanical properties of materials through vibration tests. The second part is focused on Acoustics, starting from the fundamentals of hydrodynamics, with a clear and illustrative way of presenting the main concepts used in linear acoustics: propagation, reflection, transmission, refraction, radiation, and scattering of waves; acoustic cavities; as well as sound dissipation and attenuation mechanisms. As in the first part, many examples and practical tests are demonstrated. The third part is dedicated to Non-Linear Acoustics, demystifying some concepts of this subject that, for many, is still a black-box.

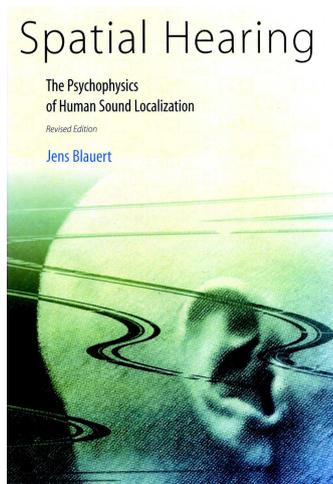
An open-access copy of the book can be obtained from the [Springer publisher's website](#). A hard copy can be purchased on the [Brazilian Amazon](#) website.

William D'Andrea
Fonseca 

Federal University of
Santa Maria

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

{will.fonseca}
@eac.ufsm.br



Author: Jens Blauert

Publisher: MIT Press

Year: 1996 (Revised Ed.)

Language: English

ISBN: 978-0262268684

doi: 10.7551/mitpress/6391.001.0001

Link: [open-access](#)

Spatial Hearing: The Psychophysics of Human Sound Localization

A classic of binaural technology now with open-access

The book *Spatial Hearing* was initially conceived in 1974, still in its German version. In 1982, it earned an English version and in 1995, it received a new Revised Edition. In the Revised Edition, a new chapter (the fifth) was added with new information that emerged with the technological evolution of the set of methods that make up the so-called “binaural technology”. As the author himself writes, 20 years have passed since its original release (until the revised version) and, in that time, computers have ceased to be exclusive parts of laboratories to integrate a space in people’s homes. Along with popularization came the advancement in processing capabilities. Thus, what were once theories started to become calculations performed in an offline way during the 90s, and nowadays, almost 50 years after the original edition and almost 30 years after the last edition, we can say that a good part of the documented processing can take place in real-time (or online), either on computers and/or mobile devices.

As originally designed, the book covers much of the knowledge needed to understand the physical phenomena of sound and their relationships to the sound sensations promoted. Thus, it builds a foundation on the relevant topics in an easily readable text, also is supported with graphics and illustrations (see Figure 2). It is essential reading for students, researchers and consultants working with *spatial audio* or *virtual acoustics*. Although “only” around 500 pages long, the book also doubles as a reference collection, pointing to over 900 bibliography items for the reader to delve deeper into the field.

The print run of the physical book (edited by MIT Press) is out of print. However, for the happiness of enthusiasts in the area, the book has become open-access, now fully available in PDF format on the publisher’s website ([see this link](#)) — which is one of the reasons why we bring this review to A&V.

The author, Professor Jens Blauert, from the University of Bochum, Germany, has an extensive career in acoustics and hearing with dozens of published articles as well as supervised doctoral theses. He is also the author of several other books on the subject. On his profile at [Research Gate](#) the reader may access much of his material and production. More information can be also found at [his website](#).

While still a graduate student, I had the pleasure of meeting Prof. Jens in 2005 in Brazil. Recently, we were able to talk at the ICA 2019 event, held in Aachen, Germany, but this time as a professor from the subject of Auralization of the Acoustical Engineering Department at UFSM, Brazil. Prof. Jens made a point of making more educational material available when he learned that his works are widely used in the course.

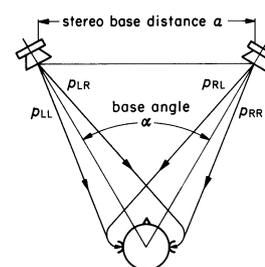


Figure 2: Sound paths for a stereo system (Figure 3.1 of the book).

Krisdany Vinícius
S. M. Cavalcante 

(Presidente Sobrac
2020–2022)

dB Laboratório de
Acústica

Av. N. Senhora do Carmo,
45, cj. 706/708
CEP 30310-000
Belo Horizonte - MG

{presidencia}
@acustica.org.br

{krisdany}
@dbacustica.com.br

Ranny L. X. N.
Michalski 

(2ª Tesoureira Sobrac
2020–2022)

Universidade de
São Paulo
USP

Rua do Lago, 876
CEP 05508-080
São Paulo - SP

{rannym}
@usp.br

Sobrac e SPA assinam acordo de cooperação mútua

Brasil e Portugal se alinham em prol da acústica!

Resumo: O artigo descreve os objetivos do acordo de cooperação técnico-científica firmado entre a Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac) e a Sociedade Portuguesa de Acústica (SPA) e registra sua origem e motivação. A experiência de representantes da língua portuguesa em um projeto de pesquisa internacional demonstrou a importância de atuarem conjuntamente, nessa e em futuras oportunidades, para o desenvolvimento da acústica no Brasil, em Portugal e no mundo.

Sobrac and SPA sign a mutual cooperation agreement

Abstract: The article describes the objectives of the technical-scientific cooperation agreement signed between the Brazilian Acoustic Society (Sobrac) and the Portuguese Acoustic Society (SPA) and points out its origin and motivation. The experience of representatives of the Portuguese language in an international research project demonstrated the importance of working together, in this and in future opportunities, for the development of acoustics in Brazil, Portugal, and worldwide.

1. Introdução

Em 31 de agosto de 2021 foi assinado o primeiro acordo de cooperação técnica institucional entre a Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac) e a Sociedade Portuguesa de Acústica (SPA). A Figura 1 mostra os logotipos das duas sociedades. O acordo objetiva a cooperação mútua entre as sociedades, o intercâmbio de atividades e o desenvolvimento conjunto de projetos, pesquisas, serviços e outras atividades de interesses comuns.

As ações desenvolvidas com base no acordo serão coordenadas por representantes designados por ambas as diretorias, a cada projeto. Com vigência de 2 anos, prorrogáveis, o acordo também prevê a extensão de programas e benefícios aos associados, em atividades e eventos promovidos pela Sobrac e pela SPA, proporcionando maior interação entre os profissionais brasileiros e portugueses.



Sociedade Brasileira de
Acústica (Sobrac)



Sociedade Portuguesa
de Acústica (SPA)



Figura 1: Cooperação mútua entre Sobrac e SPA.

2. Histórico e motivação

A iniciativa foi motivada a partir da constituição de uma rede de colaboração internacional, informal, com pesquisadores de paisagens sonoras de diferentes regiões do mundo, chamada “Projeto de Tradução de Atributos de Paisagem Sonora” (SATP, do inglês *Soundscape Attributes Translation Project*). As atividades da rede começaram em maio de 2019 com um primeiro grupo de colaboradores, com experiência relevante e considerável distribuição geográfica, cobrindo 15 diferentes línguas, excluindo-se, até aquele momento, a língua portuguesa.

O projeto SATP é coordenado pelo professor Francesco Aletta, do Grupo de Acústica do *Institute for Environmental Design and Engineering* da *University College London*, no Reino Unido, e conta com o auxílio financeiro do Conselho Europeu de Pesquisa (*European Research Council - ERC - Advanced Grant*, no. 740696).

O objetivo geral da colaboração da rede SATP é validar traduções dos atributos de paisagem sonora conforme normas técnicas internacionais, usando experimentos de escuta padronizados em diferentes idiomas e regiões geográficas como uma forma de promover o uso generalizado dos atributos da paisagem sonora, tanto na academia quanto na prática, em vários locais, populações e idiomas.

No final do ano de 2020, a língua portuguesa passou a fazer parte do projeto, com a participação da brasileira Ranny Michalski, professora doutora da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, e da portuguesa Sónia Alves, consultora acústica sediada na Alemanha, da empresa Müller BBM.

No ano de 2021, o grupo aumentou com a presença da brasileira Maria Luiza de Ulhôa Carvalho, professora assistente da Universidade Federal de Goiás, atualmente cursando o PhD na *University of Salford*, no Reino Unido, e da portuguesa Sónia Antunes, pesquisadora do Departamento de Edifícios, do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) de Portugal.

A pesquisa uniu pesquisadoras brasileiras e portuguesas, surgindo então a ideia de uma parceria luso-brasileira. Em julho de 2021, aconteceu a primeira reunião sobre o assunto, com a presença dos presidentes da Sociedade Brasileira de Acústica, Krisdany Cavalcante, e da Sociedade Portuguesa de Acústica, Jorge Patrício. Em agosto de 2021, após consulta e aprovação pelas Diretorias de ambas as Sociedades, foi assinado o acordo de cooperação técnico-científica entre as duas sociedades.

3. Desafios e oportunidades

Segundo o documento, a Sobrac e a SPA concordam em cooperar mutuamente para o desenvolvimento da acústica no Brasil e em Portugal, e estendem seus programas e benefícios aos associados e colaboradores das duas instituições.

Para o ano de 2022, está prevista a realização de atividades, de forma remota, entre as duas diretorias, bem como a divulgação mútua das atividades institucionais, permitindo aos associados o intercâmbio de conhecimento entre brasileiros e portugueses protagonistas da acústica.

4. Agradecimentos

Agradecemos à diretoria da SPA, em nome do seu presidente, Dr. Jorge Patrício, e temos certeza que nossas entidades se somarão a cada trabalho. Esperamos que este acordo se concretize num dinamismo de atividades conjuntas a serem realizadas pelas duas Sociedades.

Bruno Masiero 

Universidade Estadual de
Campinas - Unicamp

Cidade Universitária
Zeferino Vaz - Barão
Geraldo, Campinas - SP

{masiero}
@unicamp.br

O novo “Som do Silêncio” na Unicamp

FAPESP irá financiar construção de Sala de Escuta Crítica

Resumo: Para se avaliar subjetivamente as pequenas nuances existentes entre diferentes sistemas de reprodução de áudio espacial se faz necessário um espaço com baixíssima reverberação e ruído residual praticamente imperceptível. Apresentamos a seguir a nova Sala de Escuta Crítica que está sendo construída na Unicamp, com financiamento da FAPESP, e que deverá atender a estes severos requisitos.

The new “Sound of Silence” at Unicamp

Abstract: In order to subjectively assess the small nuances between different spatial audio reproduction systems, a space with very low reverberation and practically imperceptible residual noise is necessary. In this article we present the new Listening Room under construction at the State University of Campinas (Unicamp) in Brazil, funded by FAPESP, and which shall meet these severe requirements.

1. Introdução

A Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) conta com vasta tradição no ensino e pesquisa de áreas relacionadas à vibração e acústica como, por exemplo, acústica de estúdios, conforto acústico e controle de vibração e ruído. Para tanto, conta com uma infraestrutura que dispõe de inúmeros equipamentos de medição, assim como câmaras reverberante e anecoica, distribuídos entre diferentes unidades da Universidade.

Interessante notar que, apesar de oferecer desde os anos 1990 o certificado de estudos em Engenharia de Som, a Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação (FEEC) não possuía nenhuma desta infraestrutura para cursos ou pesquisa em acústica.



Figura 1: Montagem artística de como ficará a implantação do prédio da Sala de Escuta Crítica na FEEC-Unicamp.

Este cenário começou a mudar em 2015 com a minha contratação junto ao Departamento de Comunicações da FEEC. Em conjunto com outro colega então recém-contratado, o Prof. Tiago Tavares, reformulamos o



certificado de estudos e voltamos a oferecer com regularidade disciplinas de acústica e processamento de sinais de áudio para os alunos da FEEC. Isso reavivou o interesse de muitos desses alunos para concluir o certificado de estudos e seguir fazendo pesquisa nesta área.

Foi dentro desse contexto que tive aprovado em 2018 o prestigiado auxílio Jovem Pesquisador da Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), com o objetivo de iniciar dentro da FEEC uma linha de pesquisa pioneira no país em “acústica das comunicações”. O auxílio financiou a aquisição de equipamentos como um arranjo esférico de 64 microfones, um arranjo de 16 alto-falantes, uma sonda de intensidade PU, entre outros. Além disto, o auxílio também prevê o financiamento para a construção de uma *Sala de Escuta Crítica* (SEC) como um equipamento multiusuário para os pesquisadores do estado de São Paulo, observe a Figura 1.

2. A Sala de Escuta Crítica

Uma Sala de Escuta Crítica (SEC) é um espaço acusticamente isolado do exterior, ou seja, com ruído ambiente praticamente imperceptível, e com paredes acusticamente tratadas para reduzir as reflexões e, com isso, a reverberação do espaço. Nesse caso, a influência do exterior e da própria sala sobre um sistema de reprodução sonora instalado dentro dela é desprezível, permitindo uma avaliação mais acurada e precisa de materiais de áudio apresentados aos ouvintes. A SEC é um ambiente de pesquisa permanente que poderá atender a demandas de diversos grupos de pesquisa, podendo ser usada para medições acústicas que requeiram um ambiente com baixo ruído de fundo, para a auralização de espaços ou situações acústicas simuladas, para ensaios e gravações de locutores ou grupos musicais de pequeno e médio porte, para a produção de material fonográfico e para o ensino de acústica.

3. A construção

Com projeto arquitetônico assinado pelo escritório Harmonia (veja a Figura 2), o prédio conta, além da SEC, com uma sala técnica e uma ante-sala para armazenar equipamentos. As paredes externas serão construídas de bloco de concreto preenchido para maior isolamento e a sala interna terá uma segunda parede construída de material leve (*drywall*) e mecanicamente desacoplada do solo por amortecedores fabricados pela empresa Vibtech. No interior da SEC, as paredes serão revestidas por painéis móveis, tendo em um dos seus lados material fono-absorvente para controle da reverberação nas diferentes faixas de frequência. O projeto elétrico prevê circuitos independentes para cada grupo de equipamentos, reduzindo assim possíveis interferências.

As obras do prédio da Unicamp que abrigará a nova SEC iniciaram em novembro de 2021 e têm sua conclusão prevista para o segundo semestre de 2022, quando estará à disposição da comunidade para todos os mais variados usos. Aguardamos você!

3.1 Apoio

As empresas Harmonia e Vibtech estão apoiando a construção do laboratório por meio do programa “Parceiros da Unicamp”. Caso sua empresa queira contribuir, veja as possíveis contrapartidas do programa em https://www.dea.unicamp.br/programa_parceiros_unicamp.

Agradeço à Fapesp, que está financiando esta obra por meio do auxílio para aquisição de equipamento multiusuário de número 2021/07475-0.

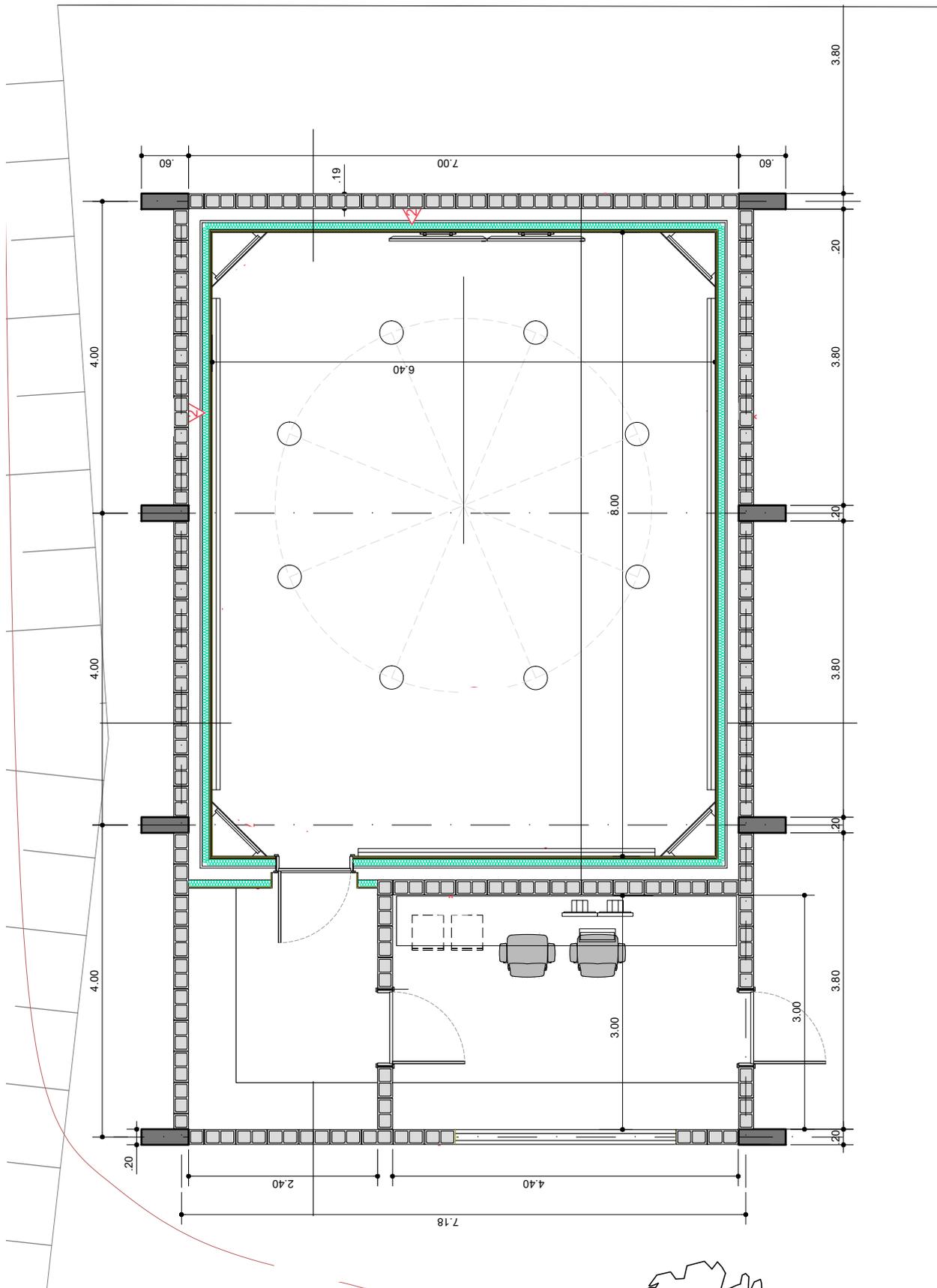


Figura 2: Planta mostrando a sala técnica, a ante-sala e a SEC, construída com parede dupla.

(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)

Margret Engel 

*Consultant and
researcher in acoustic
comfort and soundscape*

{margret.engel}
@rwth-aachen.de



William D'Andrea
Fonseca 

*Federal University of
Santa Maria - UFSM
Av. Roraima nº 1000,
Cidade Universitária
Santa Maria, RS, Brazil*

{will.fonseca}
@eac.ufsm.br



Young Acousticians Network – YAN

Rede de Jovens Acústicos =]

Abstract: The YAN is a cooperative and voluntary young acousticians network. Its objective is to disseminate knowledge and promote acoustics and related areas in Brazil and worldwide. This insert presents its initiation, a brief history of the network (in Brazil and abroad), and a short report of activities. This presentation concludes with how a young acoustician can participate and cooperate, clarifying how to start and what responsibilities are expected from members of the young acousticians network. We hope it will spark your participation. [The Portuguese version of this insert starts on page 172.]

Rede de Jovens Acústicos

Resumo: O YAN é uma rede de jovens acústicos cooperativa e voluntária. O objetivo é disseminar conhecimento e promover a acústica e áreas correlatas no Brasil e no mundo. Este encarte apresenta a iniciativa, um breve histórico (no Brasil e fora dele), assim como um pequeno relato de atividades. Ao final, é apresentado como um jovem pode participar e cooperar, aclarando como começar e quais são as responsabilidades. Esperamos que seja a ignição de sua participação. [A versão em português desse encarte começa na página 172.]

1. Introduction

The Young Acousticians Network (YAN), a non-profit and voluntary organization, was born in July, 2008. Its inaugural chairs were Dr Frank Wefers and Dr Simone Graetzer. It was initially a student network and since April, 2010 it has become a network of young acousticians, also encompassing professionals who work in the field of acoustics. In March, 2009 YAN debuted its [website](#), mailing lists, forums, and more. The first edition of the monthly newsletter was launched in April, 2011. Two years later, social networking pages were launched on [Facebook](#) and [Twitter](#). In January, 2015, the layout of the newsletter was reformulated, making it more attractive and in March of the same year, the current YAN logo was presented, after being chosen in a design contest among the young acousticians, see Figure 1. Currently, the *chairs* are [Elie Abi Raad](#) and [Karin Loh](#), see the full team at [website](#) (or on the page 176 of this insert).



euracoustics.org/yan/

[@eaa_yan](#)  [@eaa_yan](#) 

[/eaa-yan](#)  [YAN Discord](#) 

[/youngacousticiansnetwork](#) 

[Group YAN Brazil](#) 



Figure 1: Young Acousticians Network (YAN) logo.

YAN offers several free services for all its members, such as: its mailing list, newsletters, event schedules, job offers, [Discord server](#) (with help in topics related to acoustics, software, etc.), social media ([Facebook](#), [Group YAN Brazil](#), [Twitter](#), [Instagram](#) and [LinkedIn](#)) and social events at national and international conferences.

2. YAN in Brazil

The YAN has representatives in several European and non-European countries. Since March, 2013, the YAN has also had Brazilian representatives, aiming towards the facilitation communication between young professionals and Brazilian and European scientists, as well as the dissemination of scientific and professional events, dissemination of Brazilian scientific works, and dissemination of job opportunities in the field of acoustics.

The Brazilian representation started at a YAN event, at the AIA-DAGA 2013 conference in Merano, Italy. At the time, Dr Margret Sibylle Engel assumed the Brazilian representation. To facilitate the dissemination of YAN activities in Brazil, the “[YAN Brazilian representation](#)” page was created on [Facebook](#) in August 2014. In Figure 2 you can check a summary of the contents that were published in the YAN Brasil group.

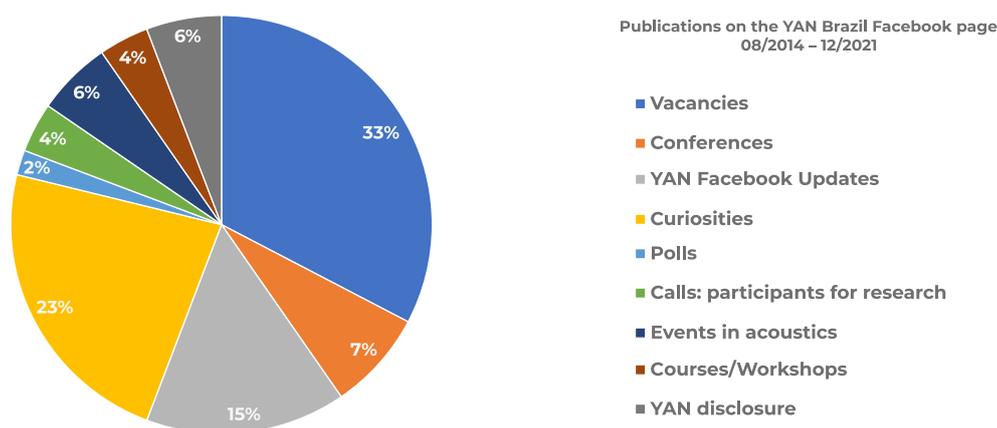


Figure 2: Published contents in YAN Brazil Facebook Group.

In May, 2015, Prof. Dr. William D’Andrea Fonseca assumed the Brazilian representation of the YAN, remaining in that capacity until the present moment. We hope that even volunteers who may *officially* leave YAN can still continue to support the Brazilian initiative, helping and indicating directions to new members (and students). It is also worth mentioning that other Brazilians have been very active as representatives in European Community countries, such as Dr Felipe Reinoso Carvalho (former representative of YAN Belgium) and Dr Carolina Monteiro (former representative of YAN Spain).

On November 11, 2021, Margret presented a lecture entitled “Brazilian participation in the Young Acousticians Network (YAN) of European Acoustics Association (European Acoustics Association – EAA)”. The lecture highlighted the objectives of the YAN, a brief history, the main activities it has carried out, and its role in recent events related to acoustics in Europe. A call for volunteer members to perform the activities of Brazilian representatives in the YAN was also released. It is expected that the Brazilian branch, as of the year 2022, will be divided among Thiago Lobato (Ph.D. student at the University of RWTH Aachen, Germany) and other Brazilians who are volunteering.

2.1 Join YAN Brazil

Well, the first step is to join the YAN website — check out the copy of the contents on the website on the page 176 of this insert — then contact a Brazilian representative.

Representation in Brazil, **what do I need to know to get started?**

- It is planned to accept new representatives in 2022;
- Persons within their “early career as acoustician”;
- Professionals or students in the field of acoustics;
- Pro-activity in the area of acoustics;
- Good knowledge of spoken and written English;
- An established pattern of collaboration;
- Willingness to represent Brazil in the field of acoustics; and
- Voluntary activity, in nature.

Responsibilities:

- Captivate new young acousticians.
- Collect and share information about:
 - Grants and Scholarships;
 - Awards;
 - National conferences; and
 - Other opportunities for young professionals in acoustics.
- Inform the deadlines for registration and submission of events and publications:
 - Make announcements in LinkedIn / Facebook / Instagram groups;
 - Send information to the calendar administrator and newsletter editor.
- Be aware of events and activities taking place in Brazil (on such occasions, write a short text informing the editor of the YAN newsletter).
- Publicize the YAN’s activities in Brazil (colleagues, universities, companies working in the field of acoustics, etc.).
- Represent the YAN at national conferences, giving presentations on YAN activities and organizing meetings, for example.
- To be the contact in Brazil for EAA Documenta, supporting the collection of doctoral theses and other documents on acoustics produced in your country.
- Organize the *pass (on) the torch* for new members.
- Assist with other occasional YAN support activities.

3. Final message and wishes

We wish the greatest success to all the new Brazilian representatives in the Young Acousticians Network. We cheer and support for the expansion of Brazilian activities in the fields of acoustics, as well as its wide dissemination, promoting the area nationally and internationally.

Margret Engel *Consultora e pesquisadora em conforto acústico e soundscape*

{margret.engel}

@rwth-aachen.de

William D'Andrea
Fonseca Universidade Federal de
Santa Maria - UFSM

Av. Roraima n° 1000,

Cidade Universitária

Santa Maria - RS

{will.fonseca}

@eac.ufsm.br

euracoustics.org/yan/ @eaa_yan  @eaa_yan /eaa-yan  YAN Discord /youngacousticiansnetwork Grupo YAN Brasil

Young Acousticians Network – YAN

Rede de Jovens Acústicos =]

Resumo: O YAN é uma rede de jovens acústicos cooperativa e voluntária. O objetivo é disseminar conhecimento e promover a acústica e áreas correlatas no Brasil e no mundo. Este encarte apresenta a iniciativa, um breve histórico (no Brasil e fora dele), assim como um pequeno relato de atividades. Ao final, é apresentado como um jovem pode participar e cooperar, aclarando como começar e quais são as responsabilidades. Esperamos que seja a ignição de sua participação. [A versão em inglês desse encarte começa na página 169.]

Young Acousticians Network – YAN

Abstract: The YAN is a cooperative and voluntary young acousticians network. Its objective is to disseminate knowledge and promote acoustics and related areas in Brazil and worldwide. This insert presents its initiation, a brief history of the network (in Brazil and abroad), and a short report of activities. This presentation concludes with how a young acoustician can participate and cooperate, clarifying how to start and what responsibilities are expected from members of the young acousticians network. We hope it will spark your participation. [The English version of this insert starts on page 169.]

4. Introdução

O Young Acousticians Network (YAN) — **Rede de Jovens Acústicos** — é uma organização sem fins lucrativos e de participação voluntária que existe desde julho de 2008, tendo como dirigentes inaugurais o Dr. Frank Wefers e a Dra. Simone Graetzer. O YAN era inicialmente uma rede de estudantes e, a partir de abril de 2010, tornou-se uma rede de jovens acústicos, englobando também profissionais atuantes da área da acústica. Em março de 2009, o YAN estreou seu [website](#), listas de emails, fóruns e muito mais. A primeira edição do *newsletter* mensal foi lançada em abril de 2011. Dois anos mais tarde foram iniciadas as páginas de redes sociais no [Facebook](#) e [Twitter](#). Em janeiro de 2015, o layout da *newsletter* foi reformulado, tornando-o mais atrativo e, em março do mesmo ano, o logo atual do YAN foi apresentado, após eleição em concurso de design entre os jovens acústicos, veja a Figura 3. Atualmente, os *chairs* são [Elie Abi Raad](#) e [Karin Loh](#), veja o time completo no [site](#) (ou na página 176 desse encarte).



Figura 3: Logo da Rede de Jovens Acústicos, *Young Acousticians Network* – YAN.

O YAN possui vários serviços gratuitos como lista de emails, *newsletter*, agenda de deadlines de eventos, ofertas de emprego, [servidor Discord](#) (com ajuda em tópicos relacionados à acústica, *software*, etc.), mídias sociais ([Facebook](#), [Grupo Fb YAN Brasil](#), [Twitter](#), [Instagram](#) e [LinkedIn](#)) e eventos sociais em conferências.

5. YAN no Brasil

A rede de jovens acústicos conta com representantes em vários países europeus e não europeus. Desde março de 2013 o YAN conta também com representantes brasileiros, visando à facilitação na comunicação entre jovens profissionais e cientistas brasileiros e europeus, bem como a divulgação de eventos científicos e profissionais, disseminação de trabalhos científicos brasileiros e divulgação de oportunidades de emprego na área da acústica.

A representação brasileira iniciou em evento do YAN, na conferência AIA-DAGA 2013 em Merano, Itália. Na ocasião a Dra. Margret Sibylle Engel assumiu a representação brasileira. Para facilitar a divulgação das atividades do YAN no Brasil, foi então criada a página do “[YAN representação brasileira](#)”, no [Facebook](#), em agosto de 2014. Na Figura 4 você pode conferir um resumo dos conteúdos que rolam no grupo do YAN Brasil.

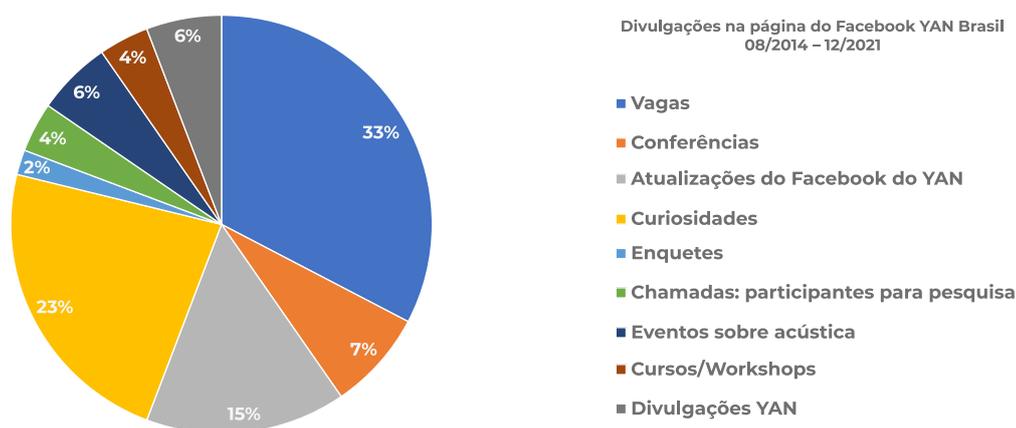


Figura 4: Conteúdos do Grupo YAN Brasil no Facebook.

Em maio de 2015, o Prof. Dr. William D’Andrea Fonseca assumiu a representação brasileira do YAN, permanecendo até o momento. Esperamos que mesmo os voluntários que porventura deixem *oficialmente* o YAN ainda possam continuar apoiando a iniciativa brasileira, ajudando e indicando direções para novos membros (e estudantes). Cabe ainda citar que outros brasileiros também já foram muito ativos como representantes em países da Comunidade Europeia, como o Dr. Felipe Reinoso Carvalho (ex-representante do YAN Bélgica) e a Dra. Carolina Monteiro (ex-representante do YAN Espanha).

No dia 11 de novembro de 2021 foi apresentado no II Mês Acadêmico da Engenharia Acústica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), pela Margret, a palestra intitulada “A participação brasileira na *Young Acousticians Network* (YAN) da Associação Europeia de Acústica (*European Acoustics Association* – EAA)”. A palestra demonstrou os objetivos do YAN, um breve histórico, as principais atividades exercidas e sua atuação em eventos recentes relacionados à acústica na Europa. Também foi divulgada uma convocação de membros voluntários para exercer as atividades de representantes brasileiros(as) no YAN. A previsão é que a representação brasileira no YAN a partir do ano de 2022 fique dividida entre Thiago Lobato (doutorando da Universidade de RWTH Aachen, Alemanha) e outros brasileiros que estão se voluntariando.

5.1 Participe do YAN Brasil

Bem, o primeiro passo é se filiar no site do YAN — confira a cópia do conteúdo no site na página 176 desse encarte — depois, procure um representante brasileiro.

Representação no Brasil, o que preciso saber para começar?

- Está prevista a troca de representantes em 2022;
- Pessoas em “início de carreira como *acústico(a)*”;
- Profissionais ou estudantes na área da acústica;
- Pró-atividade na área da acústica;
- Bons conhecimentos da língua inglesa falada e escrita;
- Com senso colaborativo;
- Vontade de representar o Brasil na área da acústica; e
- Atividade voluntária.

Responsabilidades:

- Cativar novos jovens acústicos.
- Coletar informações sobre:
 - Bolsas;
 - Prêmios;
 - Conferências nacionais e
 - Outras oportunidades para jovens profissionais da acústica.
- Informar os prazos finais de inscrições e submissões de eventos e publicações:
 - Realizar anúncios nos grupos do LinkedIn / Facebook / Instagram;
 - Enviar informações para o administrador de agenda e para o editor do boletim de notícias.
- Estar ciente dos eventos e atividades que estão ocorrendo no Brasil (em tais ocasiões, escrever um texto curto informando o editor do boletim de notícias do YAN).
- Divulgar as atividades do YAN no Brasil (colegas, universidades, empresas que trabalham na área da acústica etc.).
- Representar o YAN em conferências nacionais, realizando apresentações sobre as atividades do YAN, e organizar encontros, por exemplo.
- Ser o contato no Brasil para o EAA Documenta, ou seja, apoio na coleta de teses de doutorado e demais documentos sobre acústica produzidos em seu país.
- Organizar a *passada do bastão* para novos membros.
- Outras atividades ocasionais de suporte ao YAN.

6. Mensagem final e votos

Desejamos sucesso aos novos representantes brasileiros no Young Acousticians Network, e nossa torcida para a ampliação das atividades brasileiras na área da acústica nacional e internacional, bem como a sua vasta disseminação, fomentando a área.

YAN website



[About](#) [Products](#) [Technical Committees](#) [Job Offers](#) [YAN](#)

YAN - Young Acousticians Network

Looking for a way to join the YAN ? Check there!

What is the EAA young acousticians network?

The EAA Young Acousticians Network (YAN) is a non-profit initiative within the European Acoustics Association (EAA). Our primary goal is to establish a community for young researchers and young professionals in the field of Acoustics; to connect them and to provide support. We organise events at conferences and provide not-for-profit services that contribute to the community. These services include the EAA YAN website, a monthly newsletter and many communication channels to enable networking.

The YAN is addressed to any young acoustician (under 40 years old) from worldwide, including MSc and PhD students, post docs, researchers, consultants and engineers.



What can the young acousticians network do for me?

- **We organise student events at scientific conferences**
Here you can get in touch with other people working in Acoustics.
- **We maintain a mailing list with which we provide information to members on important subjects**
Here you can get information first hand, concerning student awards, offers of internships and, of course, information concerning YAN activities and a monthly newsletter.
- **We have a discussion forum on LinkedIn and we are also present in the social networks.**
Here you can share your ideas with other young acousticians and discuss matters such as technical questions, work opportunities and much more.
- **We have email support**
If you have questions (see below) you can contact the members of the YAN team. They will try to answer your question and/or try to provide the contact details of the best person(s) to assist you.

What can I do for the Young Acousticians Network?

We are a not-for-profit initiative, driven by the commitment of our members, so we are always searching for people who want to contribute actively to the network. You can contribute in the following areas:

- **Contribute your own experiences**
- **Become YAN local representative**
- **Organise student events**

If you are interested to contribute, please contact the YAN team by writing us to: yan@european-acoustics.net

Do I have to become a member? Does this come with any responsibilities or even financial charges?

First of all, YAN membership is free of charge and does not come with any responsibilities. You can end your membership whenever you wish. Privacy is very important to us; we guarantee that your user data will not be given to any 3rd party. It will only be stored on the EAA webserver and will only be used for purposes regarding the student network. If you wish to cancel your membership, please contact the EAA young acousticians board.

Why should you become a member?

When you register, you have the option to provide some information about you (fields of interest, languages, etc.). Gathering and providing information such as this enables us to provide to you information specific to your interests, and to put you in touch with others in your fields of interest. Membership is also necessary to reduce the likelihood of site misuse and spam.

YAN website

What is the organisational structure of the network? Who are the people behind it?

The organisational structure is simple: the activities of the project are coordinated by the young acousticians network board, which currently consists of seven people. We are also building a network of local representatives, which is now covering the majority of European countries and also some non-European.

The current YAN Team is:



Elie Abi Raad
Institute of Hearing Technology
and Acoustics
Aachen, Germany
Chair
elie@euracoustics.org



Karin Loh
Institute of Hearing Technology
and Acoustics
Aachen, Germany
Vice - Chair
karin@euracoustics.org



Diogo Pereira
Newsletter Manager
pereira.dcsc@gmail.com



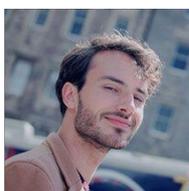
Sebastian Duran
Social media Manager
sebastian.duran380@gmail.com



Ela Faslija
Bilkent University
Ankara, Turkey
Digital Design and Illustration
Manager
e.faslija@bilkent.edu.tr



Marcelo Argotti
Automation Manager
marcel.argotti@gmail.com



Glen McLachlan
University of Antwerp
Antwerp, Belgium
Internal Affairs Manager
glen.mclachlan@uantwerpen.be

Former board members:

- Iván Herrero-Durá, Universitat Politècnica de València, Spain
- Jasmin Hörmeyer, Leibniz University, Hannover Germany
- Mathieu Gaborit, France / Sweden
- Théo Cavalieri, LAUM, France
- Juan Pablo Parra, Acad, Stockholm, Sweden
- Cristina Zamorano, Spain
- Samira Mohamady, RWTH Aachen, Aachen, Germany
- Bartłomiej Kukulski, AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland
- Fosca Fimiani, Università di Bologna, Bologna, Italy
- Bastian Epp, University of Oldenburg, Oldenburg, Germany
- Hans Hansen, University of Oldenburg, Oldenburg, Germany
- Simone Graetzer, University of Melbourne, Melbourne, Australia
- Frank Wefers, RTHW Aachen, Aachen, Germany
- Luca Barbieri, Vi.en.ro.se., Florence, Italy

How did the young acousticians network evolve? - Timeline

July 2008 - Official founding at Acoustics '08 in Paris. The board is elected, consisting of Frank Wefers (head) and Simone Graetzer (assistant).

March 2009 - New website goes online, featuring mailinglists, discussion forums and much more ...

April 2010 - Name change: Student network => Young acousticians network

April 2011 - First Newsletter Issue

April 2013 Facebook group and Twitter account

January 2015- New Newsletter Layout

March 2015- New YAN Logo

Alexandre Maiorino 

Universidade Federal do
Rio Grande do Norte
Campus Universitário
Lagoa Nova
CEP 59078-970
Caixa Postal 1524
Natal - RN
{alexandre.maiorino}
@ufrn.br

Maira Janaina Ott 

Universidade do Vale do
Rio dos Sinos
Av. Unisinos, 950
Cristo Rei
CEP 93022-750
São Leopoldo - RS
{mairajo}
@edu.unisinos.br

Marcos Roberto
Barbiere Junior 

FECFAU/Unicamp
Rua Saturnino de Brito, 224
Cidade Universitária
CEP 13083-889
Campinas - SP
{mrbjr}
@outlook.com

Arquivos anexados:

 Instruções: eleição Sobrac 2020

 Candidatos: eleição Sobrac 2020

 Resultados: eleição Sobrac 2020



acustica.org.br

 @sobrac_acustica

Eleições Sobrac 2020

Biênio 2021–2022

Resumo: Em setembro de 2020 aconteceu a eleição da Sociedade Brasileira de Acústica referente ao biênio 2021–2022. O processo eleitoral aconteceu entre os meses de setembro e dezembro, de maneira totalmente remota. Foram eleitos a nova diretoria nacional, membros dos conselhos deliberativo e fiscal, bem como seus suplentes, além das diretorias regionais Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Rio de Janeiro, São Paulo e Rio Grande do Sul. A plataforma de votação escolhida foi o Limesurvey, de custo reduzido e que propiciou segurança e confiabilidade ao processo de votação. O resultado da eleição foi homologado em Assembleia remota aberta a todos os associados.

Sobrac Elections 2020 (2021–2022 Biennium)

Abstract: The election of the Brazilian Acoustic Society for the 2021–2022 biennium took place from September, 2020 to December, 2020. The electoral process was completely remote, using online technology. The new national board, members of the deliberative and fiscal councils, as well as their alternates, were elected, in addition to the North, Northeast, Midwest, Rio de Janeiro, São Paulo and Rio Grande do Sul regional boards. Limesurvey, a cost-effective and reliable research survey online program, was the voting platform chosen. Results of the election were homologated in a remote meeting among all associates.

1. Introdução

No mês de setembro de 2020 iniciou-se um novo processo eleitoral da Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac). Assim como na eleição anterior, de 2018, o processo aconteceu de forma remota. A Comissão Eleitoral foi composta pelo Prof. Dr. Alexandre Maiorino, Eng^a. Civil Maira Janaina Ott e Eng. Marcos Roberto Barbiere Junior. O processo durou ao todo 4 meses, desde seu início até a homologação do resultado, no dia 18 de dezembro de 2020, em Assembleia Geral da Sobrac realizada virtualmente pela plataforma Zoom. A chapa vencedora aos cargos de diretoria da Sobrac de 2020 contou com Krisdany Vinícius Santos de Magalhães Cavalcante como Presidente e Elcione Maria Lobato de Moraes como Vice-Presidente (veja a Figura 1). A seguir, consta um breve relato de todo o processo eleitoral, como uma forma de garantir transparência e auxiliar novas Comissões Eleitorais em todo o processo.



Figura 1: Diretoria eleita para o biênio 2021–2022 das eleições Sobrac 2020.

2. Breve relato

O processo eleitoral de 2020 da Sociedade Brasileira de Acústica elegeu uma nova Diretoria composta por presidente, vice-presidente, 1º e 2º secretários e 1º e 2º tesoureiros. Elegeu também parte dos conselhos deliberativo e fiscal, sendo 5 membros titulares e 5 membros suplentes do conselho deliberativo além de 3 membros titulares e 3 membros suplentes do conselho fiscal. Foram eleitas também novas diretorias regionais da Sobrac de acordo com as chapas inscritas durante o processo eleitoral (vejam os PDFs anexados a este documento).

A abertura do processo eleitoral de 2020 se iniciou no dia 9 de setembro com a comunicação, por meio de e-mail, a todos os associados cadastrados na Sobrac, incluindo ainda aqueles que não estavam com suas anuidades em dia. A comunicação a todos os sócios teve como objetivo incentivar a regularização da anuidade com a Sobrac, para que pudessem se candidatar a cargos eletivos ou mesmo participar da votação, uma vez que apenas membros efetivos ou institucionais, cuja associação se encontrasse ativa, seriam permitidos ao voto, segundo o estatuto da Sobrac. Na mesma oportunidade, a comissão eleitoral elaborou um texto com instruções para inscrição de candidatos e chapas nas eleições de 2020. O texto pode ser conferido na íntegra no endereço eletrônico <http://acustica.org.br/2020/09/instrucoes-para-inscricao-nas-eleicoes-2020-bienio-20212022/> (ou anexo a este PDF).

O prazo dado para as inscrições das chapas da diretoria nacional, coordenações regionais e conselhos deliberativo e fiscal foi de 9 de setembro a 9 de outubro, sendo prorrogado até o dia 16 de outubro de 2020. O prazo estabelecido para regularização da anuidade dos membros da Sobrac, para que fosse permitido o voto nas eleições, foi de 9 de setembro a 19 de outubro, sendo prorrogado até 5 de novembro. A divulgação das chapas e candidatos inscritos ocorreu por e-mail a todos os sócios da Sobrac no dia 19 de outubro de 2020. O período de votação ocorreu entre 26 de outubro e 6 de novembro, totalmente online, com a divulgação dos resultados no dia 9 de novembro por meio de uma reunião virtual, divulgada a todos os sócios pela plataforma Zoom e transmitida pelo YouTube. A íntegra da apuração dos votos pode ser conferida pelo *link*: <https://www.youtube.com/watch?v=dZPVrzv6nM0>.

Foi dado um prazo de 10 dias, ou seja, até o dia 19 de novembro, para que pudessem haver recursos em relação ao resultado das eleições, divulgado no dia 9 de novembro. Em seguida, a diretoria da Sobrac convocou uma assembleia geral para a homologação do resultado das eleições para o dia 18 de dezembro de 2020. A Assembleia geral aconteceu de forma remota pela plataforma Zoom e foi retransmitida para o YouTube, podendo ser vista na íntegra pelo *link*: <https://www.youtube.com/watch?v=JDgqcUFsAgY>. Os slides da apresentação do processo eleitoral mostrados pela Comissão Eleitoral na assembleia geral do dia 18 de dezembro podem ser visualizados em sua integralidade nas Figuras 2 (a) a 2 (o).

Nas eleições da Sobrac de 2018, o processo de votação aconteceu de forma remota por meio do uso de um sistema de votação desenvolvido pela ABNT em parceria com a Sobrac. Em 2020, por razões técnicas, de tempo e financeiras, não foi possível utilizar o mesmo sistema de votação. Além disso, em 2018, a Comissão Eleitoral enfrentou desafios relacionados à comunicação direta com os associados por problemas ocorridos com o sistema de envio de e-mails gerenciados pelo site da Sobrac. Muitos associados não recebiam os e-mails informativos referentes às eleições, dificultando o processo de comunicação.

Em 2020, a comissão eleitoral optou por um sistema próprio de e-mails utilizando a plataforma [Mailchimp](#). Os e-mails dos associados foram importados do banco de dados da Sobrac diretamente para o Mailchimp, possibilitando que a própria comissão gerenciasse o envio de informações diretamente aos associados e melhorando consideravelmente o tempo de gerenciamento das informações, bem como o controle dos recebimentos pelos associados. Para realizar o sistema de votação, a comissão eleitoral contou com o conhecimento prévio da eleição anterior no que se refere ao modelo de necessidades para a votação. Assim, foi possível a escolha de um sistema que atendesse todas as necessidades

de criação das cédulas eleitorais, gerenciamento da votação e imediata contabilização dos votos ao final do período de votação. Outro fator importante na escolha do sistema foi a segurança dos dados e garantia de votação única por meio de chaves geradas automaticamente pelo sistema e entregues apenas ao e-mail cadastrado dos sócios que estavam habilitados a votar. O sistema escolhido foi o [Limesurvey](#), uma plataforma de baixo custo voltada à criação de questionários para pesquisa acadêmica. O sistema permite a segurança das informações por meio de *link* único para votação recebido no e-mail cadastrado, criptografia dos dados de resposta dos formulários criados, gerenciamento de votação, lembrete de votação no período eleitoral para os associados que ainda não haviam efetuado seu voto, verificação dos votos após a eleição, apuração imediata dos votos e geração de relatório ao final do período estabelecido para votação.

3. Desdobramento

Como resultado, a comissão eleitoral avalia que as eleições de 2020 foram bem sucedidas. Não houve qualquer problema com o sistema de votação ou mesmo com o sistema de envio de e-mails. A plataforma Limesurvey se mostrou segura e confiável a um baixíssimo custo de implementação. As ações promovidas pela comissão eleitoral em 2020 aumentaram o número total de 95 cédulas enviadas em 2018, para 104 em 2020. A adesão à votação subiu de 72,6% em 2018 para 92,3% em 2020.

A seguir, o resultado das eleições de 2020 da [Sociedade Brasileira de Acústica \(Sobrac\)](#):

- **Diretoria:** Chapa Sintonia, presidente: Krisdany Cavalcante.
- **Conselho Deliberativo:** Maria Fernanda de Oliveira, William D'Andrea Fonseca, Gilberto Fuchs de Jesus, Paulo Medeiros Massarani e Roberto Jordan.
- **Suplentes do Conselho Deliberativo:** Fabiana Curado Coelho, Newton Sure Soeiro, Gustavo da Silva Vieira de Melo, Sérgio Luiz Garavelli e Julio Cesar Boscher Torres.
- **Conselho Fiscal:** Felipe Barreiros Paim, Danielly Borges Garcia Macedo e Ítalo César Montalvão Guedes.
- **Suplentes do Conselho Fiscal:** Otávio Joaquim da Silva Júnior, Vinicius Cunha Prado e Alex Sandro Gonçalves.
- **Foram eleitas também as chapas:** Uníssona da regional norte; Integração e Adaptação da regional nordeste; Reverbera da regional centro-oeste; Sintonia RIO da regional Rio de Janeiro; RegionalSP21 da regional São Paulo e Continua Regional RS da regional do Rio Grande do Sul.

Os nomes de todos os candidatos à chapa da diretoria nacional, aos conselhos deliberativo e fiscal e às regionais podem ser vistos nas Figuras 2 (a) a 2 (n), bem como a quantidade de votos de cada chapa ou candidato aos cargos de conselho.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Figura 2: Processo e resultados das eleições Sobrac 2020 (Biênio 2021/2022) — Parte 1/2.

Resultados – REGIONAL NORTE

| Chapas | Contagem | Percentagem |
|---|----------|-------------|
| Chapa 1: Unissona Coordenador Geral Regional: Paulo Chagas Rodrigues Vice Coordenador Regional: Antonio Carlos Lobo Soares Coordenadora Secretária Regional: Mindyara Uakli Pimentel Freitas Vice Secretário Regional: Regis Brito Nunes Coordenadora Tesoureira Regional: Izabel Bianca Araújo Lopes Vice Tesoureira Regional: Filipe Menezes de Vasconcelos | 9 | 100,00% |
| Em branco | 0 | 0,00% |

(i)

Resultados – REGIONAL NORDESTE

| Chapas | Contagem | Percentagem |
|---|----------|-------------|
| Chapa 1: Integração e Adaptação Coordenadora Geral Regional: Débora Miranda Barretto Vice Coordenadora: Maria Lúcia Gondim da Rosa Olíptica Coordenador Secretário Regional: Italo César Montalvão Guedes Segundo Secretário: Otávio Joaquim da Silva Junior Coordenadora Tesoureira Regional: Bianca Carla Dantas de Araújo Segundo Tesoureira: Gleidson Martins Pinheiro Comunicação e Relacionamento: Rafaella Estevão da Rocha | 14 | 87,50% |
| Em branco | 2 | 12,50% |

(j)

Resultados – REGIONAL CENTRO-OESTE

| Chapas | Contagem | Percentagem |
|--|----------|-------------|
| Chapa 1: Reverbera Coordenador Geral Regional: Ludmila de Araújo Correia Coordenadora Secretária Regional: Ludmila Rodrigues de Moraes Coordenador Tesoureira Regional: Jheniffer Loyane Gama Pires | 7 | 87,50% |
| Em branco | 1 | 12,50% |

(k)

Resultados – REGIONAL RIO DE JANEIRO

| Chapas | Contagem | Percentagem |
|--|----------|-------------|
| Chapa 1: Sintonia RIO Coordenador Geral Regional: Maria Lygia Alves de Niemeyer Vice Coordenador Regional: Marta Ribeiro Valle Macedo Coordenadora Secretária Regional: Daniel Ferreira de Panta Pazos Coordenador Tesoureira Regional: Marina Medeiros Cortés | 9 | 56,25% |
| Chapa 2: RIO Coordenador Geral Regional: Maria Lúcia Grillo Perez Baptista Vice Coordenador Regional: Fernando Augusto de Noronha Castro Pinto Coordenadora Secretária Regional: Marilda Duboc | 7 | 43,75% |
| Em branco | 0 | 0,00% |

(l)

Resultados – REGIONAL SÃO PAULO

| Chapas | Contagem | Percentagem |
|---|----------|-------------|
| Chapa 1: Regional SP11 Coordenador Geral Regional: Stelamaris Rolla Bertoli Coordenadora Secretária Regional: Davison Cardoso Pinheiro Coordenador Tesoureira Regional: Maria Luiza Rocha Beldeirain | 24 | 100,00% |
| Em branco | 0 | 0,00% |

(m)

Resultados – REGIONAL RIO GRANDE DO SUL

| Chapas | Contagem | Percentagem |
|--|----------|-------------|
| Chapa 1: Continua Regional RS Coordenador Geral Regional: Rafael Ferreira Heisser Coordenadora Secretária Regional: Marcela Alvares Maciel Coordenador Tesoureira Regional: William D'Andréa Fonseca Vice coordenadora Tesoureira Regional: Maria Fernanda de Oliveira | 14 | 100,00% |
| Em branco | 0 | 0,00% |

(n)

CONTINUE CONOSCO!

SOBRAC
Sociedade Brasileira de Acústica

www.acustica.org.br
sobrac_acustica

(o)

Figura 2: Processo e resultados das eleições Sobrac 2020 (Biênio 2021/2022) — Parte 2/2.

(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)

Alexandre Maiorino 

Universidade Federal do
Rio Grande do Norte
Campus Universitário
Lagoa Nova
CEP 59078-970
Caixa postal 1524
Natal - RN
{alexandre.maiorino}
@musica.ufrn.br

Júlio César de Melo
Colabardini 

Universidade Federal do
Rio Grande do Norte
Campus Universitário
Lagoa Nova
CEP 59078-970
Caixa postal 1524
Natal - RN
{juliomelo10}
@gmail.com

Flavio Gabriel Parro
da Silva 

Universidade Federal do
Rio Grande do Norte
Campus Universitário
Lagoa Nova
CEP 59078-970
Caixa postal 1524
Natal - RN
{contato}
@flaviogabriel.com.br



fimuca.musica.ufrn.br

 @fimuca  /Fimuca

Festival Internacional de Música em Casa Fimuca Áudio

Resumo: Em razão da pandemia do coronavírus no ano de 2020, praticamente todas as atividades educativas foram canceladas no primeiro semestre, incluindo atividades culturais, como os festivais de música. Nesse contexto, nasceu o Festival Internacional de Música em Casa - Fimuca, que reuniu, em três edições, profissionais, professores de música e mais de 36 mil participantes para compartilhar experiências e conhecimentos. O Fimuca proporcionou um momento ímpar de imersão, interação e criação, atualização e compartilhamento de conhecimentos que, em meio à pandemia da COVID-19, gerou possibilidades de diálogos e reflexões sobre as formas contemporâneas de se apreciar, consumir, criar, compartilhar, aprender e ensinar música. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é relatar as atividades desenvolvidas durante o Fimuca, por meio do olhar dos coordenadores dessa ação.

International Music Festival at Home – Fimuca Audio

Abstract: Due to the coronavirus pandemic in 2020, practically all educational activities were cancelled in the first half of the year, including cultural activities such as music festivals. In this context, the International Music Festival at Home (Fimuca) was born. Over three editions Fimuca brought together, in three editions, professionals, music teachers and more than 36 thousand participants together to share experiences and knowledge about music. Fimuca provided a unique moment of immersion, interaction and creation, updating and sharing knowledge, which in the midst of the COVID-19 pandemic generated possibilities for dialogues and reflections on contemporary ways of enjoying, consuming, creating, sharing, learning and teaching music. In this context, the objective of this work is to report the activities developed during Fimuca, through the eyes of the coordinators of this action.

1. Introdução

Em março de 2020 a pandemia do novo coronavírus se alastrou rapidamente por todo o mundo e, em função do isolamento físico imposto, as práticas educativas presenciais foram deslocadas abruptamente e emergencialmente para os mais diversos cenários e ambientes virtuais de aprendizagem, demandando estratégias para a atuação no ciberespaço. O momento era de incertezas quanto à doença e suas consequências. Hoje, no momento da escrita deste relato, o mundo passa pela terceira onda de uma variante altamente contagiosa.



Figura 1: Festival Internacional de Música (em Casa) – Fimuca Áudio.

Dentro do contexto inicial da pandemia, muito se discutiu a respeito do futuro dos processos de ensino e aprendizagem, a possibilidade do ensino remoto emergencial como alternativa, e iniciativas nesse sentido começaram a ser tomadas. Um dos grandes desafios era o ensino de música, uma vez que instrumentos musicais, especialmente os de sopro, eram potenciais propagadores do vírus.

Além disso, a maioria das práticas musicais em conjunto acontecem em ambientes fechados, isolados e com ventilação mecânica. É importante, ainda, destacar que tocar um instrumento musical envolve conhecimento procedimental. Para ensinar e aprender um instrumento, as ações do corpo — postura, gesto e empunhadura — fazem parte dos conhecimentos que queremos construir. Dessa forma, no âmbito do ensino-aprendizagem de instrumentos a distância, ou do ensino remoto emergencial (ERE), surgem diversas necessidades de construção e atualização de conhecimentos sobre metodologias de aprendizagem, sobre a utilização de recursos tecnológicos, mas talvez, seja ainda mais importante destacar as diversas reestruturações cognitivo-afetivas necessárias para lidar com esse cenário. Em 2020, a educação musical a distância, apesar de contar com pesquisas, estratégias metodológicas e com cursos estabelecidos em âmbito público e privado, ainda era uma temática considerada periférica em se tratando das discussões sobre música e seu ensino. Embora muito antes da pandemia houvessem ações de educação musical a distância, como os exemplos de Gohn [1], Penalba et al. [2], Riley [3] e Salvadori [4], o sentimento geral, em particular sentido pelos autores diante da experiência na Escola de Música da UFRN (EMUFRN), era de total paralisação das atividades musicais. Tradicionalmente, o mês de julho é um mês importante de festivais musicais, como por exemplo o [Festival de Inverno de Campos do Jordão](#), e em 2020 os festivais não iriam acontecer. Muitas universidades e escolas iniciaram experiências de ensino por meio remoto e a [UFRN](#) iniciou um semestre opcional para que professores e alunos pudessem explorar possibilidades do ensino remoto emergencial. Em geral, muitos professores de instrumento optaram por não oferecer disciplinas remotas, focando em conteúdos teóricos.

Ainda no mês de abril, o professor de trompete da EMUFRN, Flávio Gabriel, iniciou os contatos e discussões para viabilizar o que viria se tornar uma iniciativa pioneira e, que, de certa forma, possibilitou um suspiro de alívio a muitos músicos durante o período inicial da pandemia. Assim nasceu o Festival Internacional de Música em Casa, mais conhecido como **Fimuca**, veja a Figura 1. A seguir, traremos uma pequena discussão que enfocará educação musical, tecnologias e educação a distância, temas que ajudam a compreender o contexto em que o Fimuca está inserido e trazem um olhar para as discussões que permeiam esse cenário. Em seguida, será apresentado um breve relato sobre as três edições do festival no ano de 2020, com ênfase na sua última edição, o Fimuca Áudio, e em especial sobre as palestras voltadas à acústica de salas e acústica musical.

2. Tecnologias e educação musical a distância

A pesquisa em educação musical brasileira, voltada para o uso de tecnologias digitais e da Internet, se divide em vários assuntos. Alguns autores abordam como ela pode ser usada na Educação Musical a Distância [5, 6]; outros mencionam a importância da internet e das comunidades virtuais [7, 8][9]; ou aspectos da tecnologia que podem ser utilizados em sala de aula por professores e alunos [10–12]. Isso mostra que o assunto apresenta inúmeras maneiras de ser estudado e que as implicações nas práticas musicais são as mais diversas.

Um tema muito recorrente nos artigos é o domínio das ferramentas tecnológicas pelos profissionais da Educação Musical [5–8, 11]. Isso fica claro quando os autores defendem que o estudo desse tipo de tecnologia deveria estar presente na universidade, nos cursos superiores de música, não apenas em disciplinas ou conteúdos específicos, mas de forma transversal, em atividades de ensino, pesquisa e extensão.

No Brasil, atualmente, a Educação a Distância (EaD) encontra-se em relativa expansão, apesar de essa

modalidade não ser nova no país, tendo dado seus primeiros passos até os anos de 1970, passando, depois, por uma estagnação. Apenas na década de 1990 iniciativas foram retomadas com o incentivo de políticas públicas [13]. Essa expansão, sobretudo no ensino superior, ocorreu nos primeiros anos do século XXI em universidades públicas — atualmente parece haver um certo desinvestimento — e, nos últimos anos, há uma expansão clara nas universidades privadas. Porém, há de se ressaltar que foi a implantação do sistema de formação superior da Universidade Aberta do Brasil, criado pelo Ministério da Educação (MEC) em 2005, que impulsionou as instituições de ensino superior (IES) federais a aderirem efetivamente à modalidade a distância. Outras iniciativas ainda merecem destaque como a Fundação Cecierj (Centro de Ciências e Educação Superior a Distância do Estado do Rio de Janeiro) e o Prolicenmus (vinculado ao Programa Pró-Licenciaturas do MEC, estabelecido pela Resolução CD/FNDE 34 de 9 de agosto de 2005). Na área da Educação Musical a Distância, temos a implantação, entre 2005 e 2007, dos três primeiros cursos de Música do Brasil ministrados na modalidade EaD — UFSCar, UnB e UFRGS — que fazem parte das iniciativas do MEC para expansão do ensino superior, estando UFSCar e UnB inseridas no âmbito do Sistema da Universidade Aberta do Brasil e UFRGS no âmbito do PROLICENMUS.

Mas não é apenas nos cursos formais a distância, ofertados pelas universidades, que se encontram as formas de construção online de conhecimentos na contemporaneidade. Entendemos nesse cenário que a internet deu origem a diversas possibilidades para a aprendizagem e trabalhos diversos com música, gerando uma grande quantidade de oportunidades que potencializam a criação, edição e educação musical.

Nos últimos anos, temos observado o surgimento de novas plataformas para aprendizagem musical. Com enfoques diferenciados, muitos desses sites funcionam como “pontos de encontro” para alunos que desejam conhecer o trabalho de professores que oferecem cursos online; outros, disponibilizam vídeos pré-gravados, com acompanhamento de tutores que indicam materiais e dão *feedback* para vídeos enviados pelos alunos; existem ainda outros modelos, como plataformas que não contemplam a possibilidade de *feedback*, mas apresentam um vasto repositório de videoaulas.

Em um mundo no qual o contato com a música está facilitado, devemos trabalhar a qualidade desses contatos, desenvolver e incentivar escutas ativas, atentas e críticas, valorizando e buscando a compreensão da diversidade, de culturas e características de cada estilo musical. Há um certo grau de exigência de se admitir que é necessária a criação de filtros individuais e coletivos para selecionar o que pode ser realmente importante, pois há um grande risco de se perder o foco do que se deseja conhecer.

Uma questão muito importante nesse contexto é o acesso a ambientes online e atividades ou cursos desenvolvidos por universidades e institutos federais, o que demonstra a necessidade de ocupação dos espaços online por instituições como escolas, centros de formação e principalmente por universidades e institutos federais. Essas são instituições reconhecidas pela qualidade de suas atividades de ensino, pesquisa e extensão e, ao ocupar também o ciberespaço, elas podem ofertar conteúdos de qualidade, confiáveis e com metodologias adequadas, atuando em duas frentes que nos parecem urgentes na atualidade: o trabalho com a seleção de materiais disponíveis, caminhos de aprendizagem e filtros possíveis no ciberespaço; e o estabelecimento de metodologias que levem a uma práxis educativa nos espaços online e que sirvam de base para concepções de educação musical online a serem desenvolvidas nos mais diversos espaços formativos possíveis, que não obedeçam apenas aos interesses mercantilistas de exploração econômica mas caminhem no sentido de uma educação musical ativa, crítica e libertadora.

2.1 Sobre a extensão universitária

É possível caracterizar o Fimuca como uma atividade de extensão universitária que, por sua vez, pode ser entendida como uma das dimensões acadêmicas que, indissociável do ensino e da pesquisa, sedimenta a universidade. Podemos caracterizar a extensão como a necessidade de aproximação com as demandas sociais, educativas, culturais e tecnológicas que se fazem presentes. É nessas demandas que a universidade encontra o estímulo e o motivo para produzir “ciências” que sejam respostas aos problemas da sociedade. Nessa interação dialógica, docentes, técnicos e estudantes com os diferentes saberes, conceitos e experiências dos mais diversos grupos, aprendem e ensinam em um movimento constante, o que Santos [9] denomina de “ecologia de saberes”.

Nesse sentido, compreendemos que o Fimuca fez extensão, buscando a construção, ampliação e atualização de conhecimentos junto com os grupos que a universidade dialoga, valorizando todo o conhecimento historicamente construído, mas também aquilo que possa vir a ser produzido, difundido, refletido ou reinventado, o que é bem diferente de transpor para tais grupos um saber hierarquizado e já denunciado por Paulo Freire nos moldes de uma “educação bancária”.

3. Breve relato

O Festival Internacional de Música em Casa - Fimuca, foi idealizado pelo Prof. Flávio Gabriel e contou com a colaboração na coordenação geral do festival dos professores Júlio César de Melo Colabardini e Alexandre Maiorino, todos da Escola de Música da UFRN. O Festival também só foi possível graças à colaboração de dezenas de professores, músicos e artistas, que gentilmente cederam seu tempo e conhecimento sem qualquer tipo de remuneração. Fez parte de um projeto de extensão da Escola de Música da UFRN e contou com o suporte institucional no uso da estrutura de informática da universidade, que possibilitou a participação online simultânea de um grande número de participantes.

O Fimuca teve três edições. A primeira, entre os dias 29 de junho a 3 de julho de 2020, foi uma tentativa de replicar um grande festival de música (observe a Figura 3 (a)). Nessa edição, foram oferecidas 21 salas simultâneas de aulas e palestras: composição, regência, canto, piano, harpa, violão, violino, viola, violoncelo, contrabaixo, flauta, oboé, clarinete, fagote, saxofone, trompete, trompa, trombone, eufônio, tuba e percussão. Essa edição, carinhosamente chamada de Fimuca Erudito, contou com a participação de grandes nomes da música de concerto, ministrando aulas de instrumento, aulas teóricas, palestras, conversas e muita troca de informação e experiência. Foram também oferecidas mesas-redondas no período da noite com temas da atualidade do universo musical e do ensino de música. A ideia era a mesma dos festivais presenciais, a de uma imersão profunda no universo da música por uma semana inteira: o dia se iniciava com a transmissão do *podcast* [Música Viva](#), produzido pela Escola de Música da UFRN e se encerrava à noite com as mesas-redondas do festival. Em todas as edições foram designados coordenadores de sala, que eram responsáveis por convidar e montar o calendário de atividades específicas de cada classe oferecida. Para auxiliar os coordenadores durante o festival, foram selecionados diversos alunos, da EMUFRN e de outras instituições. Os coordenadores de sala eram em geral professores e músicos de cada área específica, que montaram as atividades, convidando professores e palestrantes que apresentaram durante o festival temáticas pertinentes aos assuntos abordados.

Em todas as edições as aulas aconteceram pela plataforma *Zoom* e foram transmitidas para o YouTube. Apenas os alunos inscritos possuíam acesso aos links, mas a organização estava ciente que especialmente os links do YouTube certamente seriam vazados para não inscritos. Entretanto, isso de fato não seria um problema, pelo contrário, o número de visualizações das aulas na plataforma do YouTube mostra o enorme alcance obtido pelo festival. Vale destacar que em se tratando da plataforma *Zoom*, a escolha se deu devido a algumas possibilidades interessantes, como a alternativa de retirar a compressão

sonora automática, transmitindo a sonoridade “real” do microfone utilizado, o que amplia o espectro de frequências sonoras e aumenta a qualidade. Há a possibilidade ainda de compartilhamento sonoro de qualquer áudio, em estéreo, podendo o mesmo estar disponível em qualquer endereço da internet, sendo acessado em qualquer navegador. É possível também compartilhar áudios disponíveis apenas no computador do ministrante de uma aula. Nesse sentido, há grande diferença para outras plataformas que permitem o compartilhamento sonoro apenas de determinados navegadores ou conteúdos *online*. Destacamos a importância dessas questões, sendo esse um recurso essencial para aulas de música via Internet. Um *print* da tela da plataforma Zoom com participantes do Fimuca pode ser visto na Figura 2.



Figura 2: Tela do Zoom mostrando participantes do Fimuca.

A EMUFRN disponibilizou também a plataforma Moodle, instalada em seus servidores, para propiciar um ambiente virtual de ensino e aprendizagem, em que eram disponibilizados os *links* das aulas, materiais de apoio ao ensino como *links* de vídeos, materiais escritos, exercícios, entre outros. Pelo Moodle foram feitas também as listas de presença e emissão dos certificados de participação do festival. Outro fato importante a ser mencionado é que todas as edições do Fimuca foram gratuitas aos participantes, mostrando a importância do ensino público de qualidade e a enorme generosidade dos professores e músicos que colaboraram com o festival. Para uma visão completa das classes oferecidas na primeira edição do Fimuca e ainda a oportunidade de assistir a transmissão das mesas redondas, acesse o *link*: <https://fimuca.musica.ufrn.br/fimuca-2020-erudito/>.

A segunda edição do Fimuca aconteceu entre os dias 27 e 31 de julho de 2020. Essa edição, carinhosamente chamada de Fimuca Pop, teve foco especial na música popular (veja a Figura 3b). Ao todo foram 23 classes oferecidas. Pela manhã, o participante poderia escolher entre quatro classes: Composição e Arranjo; Harmonia e Improvisação; Teoria Musical e Música Popular. Pela tarde, foram oferecidas 18 classes: canto, piano, guitarra, baixo elétrico e acústico, violão e 7 cordas, viola brasileira, bandolim e cavaquinho, cordas populares, harmônica, acordeom, flauta, clarinete, saxofone, trompete, trombone, bateria, percussão e música eletrônica. Pela noite, foi oferecida a classe de produção musical e em seguida aconteceram as mesas-redondas do festival. Nessa edição, participaram também na coordenação do festival os professores da Escola de Música da UFRN Pollyana Guimarães, Anderson Pessoa e Mário Cavalcanti Jr. As mesas-redondas da segunda edição do Fimuca podem ser vistas no *link*: <https://fimuca.musica.ufrn.br/mesas/>. Para conhecer cada uma das classes oferecidas na segunda edição acesse a aba Fimuca → 2020.2. Nela aparecerá o caminho para todas as classes ofertadas no Fimuca Pop.



Figura 3: Material de divulgação das duas primeiras edições do Fimuca.

Desde a segunda edição do Fimuca pensamos em abordar a área de áudio como uma classe. Entretanto, entendemos que a área de áudio é ampla, e colocá-la na segunda edição do festival iria deixar a coordenação geral ainda mais complexa, além de não trazer todo o espectro de temáticas que a envolve. Assim, a projeção de uma terceira edição era quase inevitável. Por ser uma área bastante específica, a coordenação geral da terceira edição ficou a cargo do Prof. Alexandre Maiorino, que coordena o Estúdio Ritornello e é professor do curso técnico em Processos Fonográficos na Escola de Música da UFRN. Tendo em vista uma colaboração interinstitucional, cinco professores do curso de Produção Fonográfica da Fatec Tatuí em São Paulo foram convidados para pensar a estrutura do Fimuca Áudio e atuarem como coordenadores de classe: Luana Muzille, José Carlos Pires Jr., Davison Pinheiro, Fabrizio di Sarno e Lucas Meneguetti (Figura 4 (a)). O Fimuca Áudio também firmou uma parceria com a Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac) e com isso foi cadastrado como um evento oficial da programação do Ano Internacional do Som (IYS), promovido pelo International Commission for Acoustics (ICA).

Assim, entre os dias 5 e 9 de outubro de 2020, aconteceu a terceira edição do Festival Internacional de Música em Casa, desta vez em sua edição focada nos estudos em áudio. O Fimuca Áudio ofereceu pela manhã a classe “Primeiros Passos com Áudio”, cujo objetivo era o de atrair o público de músicos que não possuíam ou possuíam pouco conhecimento sobre o universo do áudio. A sala contou com palestras na área de acústica, gravação, mixagem, técnicas de microfonação, produção e criação de *beats*, operação de programas de áudio, técnicas de edição de áudio, gravação e mixagem específicas para voz e dicas para se montar um *home estúdio*. Os palestrantes procuraram mostrar conceitos de produção de áudio e acústica de maneira simples, clara e objetiva a todos os inscritos. Pela tarde, foram oferecidas classes de: Acústica de Salas e Acústica Musical, coordenadas pelos professores Alexandre Maiorino e Davison Pinheiro (Figura 4 (b)); Audiovisual e Games, coordenada pelo Professor Lucas Meneguetti; Produção Cultural e Mídias, coordenada pela Professora Luana Muzille; Som ao vivo, coordenado pelo Professor Fabrízio di Sarno; e Gravação, Mixagem e Masterização, coordenado pelo Professor José Carlos Pires Jr.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 4: Coordenadores do Fimuca Áudio e Palestrantes sobre o tema acústica — Parte 1/2



(g)



(h)



(i)



(j)



(k)



(l)

Figura 4: Coordenadores do Fimuca Áudio e Palestrantes sobre o tema acústica — Parte 2/2

A classe de Acústica priorizou assuntos relativos à acústica de salas e acústica musical, abordando uma série de temas relevantes e atuais. Para iniciar as atividades da semana, a arquiteta e diretora da consultoria acústica AcustikaR, Rafaella Estevão da Rocha (Figura 4 (c)), abriu a classe de “Primeiros Passos com Áudio” com a palestra “Espuma não isola, caixa de ovo não funciona — uma introdução à acústica arquitetônica”. Rafaella abordou de maneira dinâmica e em linguagem acessível os erros comumente encontrados sobre diversos materiais como espumas e caixa de ovo, destacando a importância de se distinguir condicionamento e isolamento, além de entender o projeto acústico como apenas especificação de materiais. Em seguida, o Prof. Davison Pinheiro (Figura 4 (d)), da Fatec Tatuí, palestrou sobre “Acústica de Home Estúdio”. Davison abordou as questões de isolamento e condicionamento acústico, necessidades específicas de estúdios de gravação, além de exemplos práticos. Importante ressaltar que ambas as palestras foram as que tiveram maior visualização medida pela plataforma do YouTube, mostrando o enorme interesse pelos temas abordados.

No período da tarde, a Profa. da Unicamp, Stelamaris Rolla Bertoli (Figura 4 (e)), então presidente da Sobrac, palestrou sobre a “História da Sobrac e Publicações de Acústica no Brasil”. A Profa. Stelamaris relatou um pouco da história da Sociedade Brasileira de Acústica e mostrou um levantamento das publicações em acústica ao longo dos anos em congressos e revistas brasileiras. Em seguida, a Profa. Maria Fernanda de Oliveira (Figura 4 (f)), do ITT Performance/Unisinos abordou o tema “Ensaio Acústico e a necessidade de avaliação multicritérios de materiais acústicos”. Maria Fernanda discorreu sobre ensaios acústicos e a importância em aferir outros critérios, que não apenas o acústico, em materiais utilizados na construção civil, visando especialmente às questões de segurança, como por exemplo o desempenho anti-chamas dos materiais.

Na tarde do segundo dia, a Profa. Viviane Melo (Figura 4 (g)), da UFSM, palestrou sobre “As diferenças entre Psicoacústica e Acústica Subjetiva” e comentou, além do tema proposto, a respeito de aspectos importantes sobre métodos de medição de limiares e supra limiares dentro da área da psicofísica, característica sonora, qualidade sonora e projeto sonoro de um produto, funcionamento da audição binauricular, entre outros temas importantes sobre o assunto.

No terceiro dia da classe de acústica, foram apresentadas duas palestras. O Prof. Bruno Masiero (Figura 4 (h)), da Unicamp, ministrou a palestra “O que é som imersivo? Uma introdução ao Áudio 3D – localização do som, estéreo, ambisonics e binaural”, em que introduziu conceitos sobre o assunto, abordou a sensação da espacialidade sonora, gravação e reprodução de áudio imersivo, além de comentar sobre pesquisas em andamento sob sua orientação. Em seguida, o Prof. Roberto Tenenbaum (Figura 4 (i)), da UFSM, palestrou sobre “Aurilização: tornando audível a acústica de uma sala virtual”, em que abordou conceitos importantes sobre o tema e comentou sobre programas de simulação acústica, o uso de *machine learning* e a geração de respostas impulsivas binauriculares no programa RAIOS 7.

No quarto dia, o Fimuca Áudio contou com a participação internacional do Prof. Tapio Lokki (Figura 4 (j)), da Aalto University na Finlândia, que ministrou a palestra “*Loudspeaker orchestra and spatial impulse response measurements for concert hall characterization*”. Foram abordados temas relacionados à medição de resposta impulsiva espacial em salas de concerto utilizando uma série de caixas de som localizadas no palco, simulando a posição e a direcionalidade de instrumentos de uma orquestra sinfônica. Com esta abordagem, o Prof. Lokki mostrou principalmente como é possível avaliar uma série de parâmetros acústicos, mostrando a direção da energia sonora que chega ao ouvinte. Também abordou pesquisas subjetivas que podem ser realizadas utilizando os dados coletados.

No último dia, foram apresentadas duas palestras. A primeira, do consultor acústico Renato Cipriano (Figura 4 (k)), diretor da Sonic Arts, consultoria em acústica no Brasil, que apresentou a palestra “Acústica Arquitetônica para Estúdios de Produção Musical”. Foram discutidos temas relacionados às necessidades acústicas de estúdios de gravação, além de mostrados diversos estudos de caso em

que o palestrante participou como consultor em estúdios nacionais e internacionais. Para encerrar a classe de acústica do Fimuca Áudio, o Prof. Leonardo Fuks (Figura 4 (1)), da UFRJ, ministrou a palestra “Instrumento, Espaço, Corpo e Sentido: a Acústica aplicada à Música”. O Prof. Fuks abordou temas relacionados à acústica musical como a construção de instrumentos musicais, acústica aplicada à teoria musical como formação de escalas, harmonia, entre outros, acústica aplicada à ciência da voz, especialmente relacionada ao canto, além de uma abordagem sobre sentido e significado dentro da música sob a ótica da acústica musical. Com a palestra do Prof. Fuks foi encerrada a classe de acústica e a terceira e última edição do Festival Internacional de Música em Casa, o Fimuca. As mesas-redondas do Fimuca Áudio podem ser acessadas pelo link: <https://fimuca.musica.ufrn.br/mesas-redondas/>.

4. Desdobramentos

Entendemos que o Festival Internacional de Música em Casa - Fimuca - trouxe desdobramentos relevantes ao panorama do ensino e aprendizagem da música e do áudio no Brasil. Em meio a um momento de incertezas e ansiedades relacionadas à pandemia do coronavírus, o Fimuca proporcionou um momento de união, diálogo, construção, ampliação e atualização de conhecimentos — além de partilha de experiências em torno da paixão de seus participantes, a música. Mostrou também possibilidades, potencialidades e possíveis limites para uma educação musical a distância, que carece e merece pesquisas e iniciativas sérias. Proporcionou a diversos profissionais experientes da área o contato com a tecnologia, seus benefícios e possibilidades, criando novas oportunidades de ensino e aprendizagem.

O Fimuca Áudio, em particular, reuniu profissionais que são referências em suas atividades, proporcionando uma imersão no universo do áudio, da acústica e da produção musical sem precedentes. Com a sala “Primeiros passos com áudio” foi possível oferecer aos participantes uma introdução e uma nova perspectiva de conhecimentos em tecnologia de uma área que aos poucos vem se solidificando no Brasil. Com as demais salas foi possível proporcionar momentos únicos de interatividade entre profissionais que, de certa maneira, podem parecer intangíveis e que estavam ali, dialogando e relatando suas experiências, seu trabalho e conhecimento. A classe de acústica, especificamente, reuniu uma comunidade de profissionais, alunos e professores discutindo e aprendendo sobre temas atuais e relevantes dentro do universo da acústica de salas e acústica musical, expandindo o público interessado no assunto e reunindo a comunidade da acústica, mesmo que de forma remota.

Outro desdobramento importante de registro foi a parceria com o Sistema Nacional de Orquestras Sociais do Brasil (Sinos) com a organização do Fimuca. Dessa parceria, foi proposto o “Concurso Sinos Jovens Solistas do Festival Internacional de Música em Casa”, no qual jovens solistas de todo o Brasil puderam participar de maneira virtual, com premiações em dinheiro em 20 categorias, em que alunos oriundos de projetos sociais e escolas públicas também receberam premiações específicas. O Fimuca, ao todo, teve mais de 36 mil inscritos e mais de 320 mil visualizações no YouTube nas suas três edições. Apenas no Fimuca Áudio foram 3.500 inscritos e mais de 20 mil visualizações. O Fimuca certamente deixou marcado seu lugar na história, além de orientar e incentivar diversas outras ações semelhantes no país, contribuindo ainda mais para a consolidação do conhecimento sobre ensino e aprendizagem musical no Brasil.

Referências

1. GOHN, Daniel Marcondes. A internet em desenvolvimento: vivências digitais e interações síncronas no ensino a distância de instrumentos musicais. *Revista da ABEM*, v. 21, n. 30, p. 25–34, dez. 2013. ISSN 2358-033X. Disponível em: <http://www.abemeducacaomusical.com.br/revistas/revistaabem/index.php/revistaabem/article/view/79>.
2. PENALBA, Francisco Alpiste; ROJAS-RAJS, Teresa; LORENTE, Pedro; IGLESIAS, Francisco; FERNÁNDEZ, Joaquín; MONGUET, Josep. A telepresence learning environment for opera singing: distance lessons implementations over Internet2. *Interactive Learning Environments*, v. 21, n. 5, p. 438–455, out. 2013. ISSN 1049-4820. doi: [10.1080/10494820.2011.584322](https://doi.org/10.1080/10494820.2011.584322).
3. RILEY, Patricia E. Video-conferenced music teaching: challenges and progress. *Music Education Research*, v. 11, n. 3, p. 365–375, set. 2009. ISSN 1461-3808. doi: [10.1080/14613800903151580](https://doi.org/10.1080/14613800903151580).

4. SALVADORI, P. R. Educação musical à distância: um estudo de caso sobre o ensino de flauta doce à distância mediado pela videoconferência. In: *X ANPED SUL*. Florianópolis: [s.n.], 2014. p. 1–19. Disponível em: http://xanpedsul.faed.udesc.br/arq_pdf/1283-0.pdf.
5. KRÜGER, Susana Ester. Educação musical apoiada pelas novas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC): pesquisas, práticas e formação de docentes. *Revista da ABEM*, v. 14, n. 14, p. 75–89, 2006. ISSN 2358-033X. Disponível em: <http://www.abemeducacaomusical.com.br/revistas/revistaabem/index.php/revistaabem/article/view/314>.
6. GOHN, Daniel. Tendências na educação à distância: os softwares on-line de música. *OPUS*, v. 16, n. 1, p. 113–126, maio 2010. ISSN 1517-7017. Disponível em: <http://www.anppom.com.br/revista/index.php/opus/article/view/228>.
7. GOHN, Daniel. Um breve olhar sobre a música nas comunidades virtuais. *Revista da ABEM*, v. 16, n. 19, p. 113–119, 2008. ISSN 2358-033X. Disponível em: <http://www.abemeducacaomusical.com.br/revistas/revistaabem/index.php/revistaabem/article/view/265>.
8. WEBER, Fátima Rosas. O uso de tecnologias digitais no desenvolvimento de competências tecnológico-musicais para a educação. In: *Simpósio brasileiro de pós-graduandos em música (SIMPOM)*. Rio de Janeiro: [s.n.], 2012. p. 374–383. Disponível em: <http://www.seer.unirio.br/simpom/article/download/2458/1787/12381>.
9. SANTOS, L.G. Cultura Digital.br. In: SVAZONI, R.; COHN, S. (Ed.). *Cultura Digital.br*. Rio de Janeiro: Azougue Editorial, 2009. p. 312. ISBN 978-8579200083. Disponível em: <https://www.procomum.org/wp-content/uploads/2018/01/cultura-digital-br.pdf>.
10. JESUS, Elieser Ademir de; URIARTE, Mônica Zewe; RAABE, André Luís Alice. Zorelha: utilizando a tecnologia para auxiliar o desenvolvimento da percepção musical infantil através de uma abordagem construtivista. *Revista da ABEM*, v. 16, n. 20, p. 69–78, 2008. ISSN 2358-033X. Disponível em: <http://www.abemeducacaomusical.com.br/revistas/revistaabem/index.php/revistaabem/article/view/250>.
11. GALIZIA, Fernando Stanzione. Educação musical nas escolas de ensino fundamental e médio: considerando as vivências musicais dos alunos e as tecnologias digitais. *Revista da ABEM*, v. 17, n. 21, p. 76–83, 2009. ISSN 2358-033X. Disponível em: <http://www.abemeducacaomusical.com.br/revistas/revistaabem/index.php/revistaabem/article/view/238>.
12. PEREIRA, Sarita Araujo. Ensino Musical para surdos: um estudo de caso com utilização de tecnologia. *Anais do Simpósio brasileiro de pós-graduandos em música (SIMPOM)*, n. 3, p. 445–452, 2014. ISSN 2317-398X. Disponível em: <http://www.seer.unirio.br/simpom/article/view/4579>.
13. ROSSIT, Fernando Henrique Andrade. *Educação musical a distância: base de conhecimento docente para o ensino de teclado*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), fev. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/2696>.

(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)

Roberta Smiderle 

Universidade Estadual de
Campinas - Unicamp

Rua Saturnino de Brito, 224
Cidade Universitária
Zeferino Vaz
CEP 13083-889
Campinas - SP

{ro.smiderle}
@gmail.com

Workshop online: Planejamento urbano acústico em zonas culturais

Inter-relações entre a cidade e o som

Resumo: Estimulando discussões sobre desdobramentos dos impactos do urbanismo em zonas de cenário cultural, foi realizado de forma virtual o *workshop online sobre planejamento urbano acústico em zonas culturais*. Um dia de conversa promovido pela Sociedade Brasileira de Acústica, Regional São Paulo, no qual reuniram-se virtualmente profissionais, pesquisadores, professores e também estudantes de áreas correlatas para discutir acerca do tema.

Online Workshop: Acoustic urban planning in cultural zones

Abstract: A virtual meeting was set in order to provide an open space to discuss about urban planning at regions in which the cultural scenario is present. Organized by the São Paulo branch of Sobrac, the “online workshop: acoustic urban planning in cultural zones” merged together researchers, professionals, students and professors from different areas to discuss the relation between these specialties, the city and the sound.

1. Introdução

Ante ao cenário atual e à impossibilidade de encontros presenciais devido às restrições advindas da pandemia da COVID-19, foi realizado de forma remota o *workshop online sobre planejamento urbano acústico em zonas culturais*, em 23 de setembro de 2021, no canal do YouTube da Sobrac Regional São Paulo. A Figura 1 mostra o cartaz do evento.

Workshop no



[Link](#)

Realização



 @Sobrac.sp

Apoio



Fatec
Tatuí



Figura 1: Workshop online: Planejamento urbano acústico em zonas culturais.

O evento teve por intuito estimular a discussão sobre temas pertinentes à acústica e os desdobramentos dos impactos do urbanismo em zonas onde há grande presença do cenário cultural, como é o caso da cidade de Tatuí, no estado de São Paulo, sede da Fatec Tatuí, uma das apoiadoras do evento. Nele reuniram-se profissionais, pesquisadores, professores e também estudantes de áreas correlatas para discutir acerca do tema. O *workshop* foi realizado pela Sociedade Brasileira de Acústica, Regional São Paulo, organizado pela Prof.^a Dr.^a Stelamaris Rolla Bertoli e pelo Prof. Davison Cardoso Pinheiro, que atuou como coordenador do evento. Contou com o apoio da Sobrac Nacional, da Unicamp, da Fatec Tatuí, do Instituto dos Arquitetos do Brasil (SP) e da Federação Ibero-americana de Acústica (FIA). O seminário contou com seis palestras e duas apresentações musicais, além das mesas redondas ao findar de cada turno de palestras, veja a programação na Figura 2.

REALIZAÇÃO
SOBRAC
Sociedade Brasileira de Acústica
Regional São Paulo

ORGANIZAÇÃO
STELAMARIS ROLLA BERTOLI
DAVISON CARDOSO PINHEIRO

PLANEJAMENTO URBANO ACÚSTICO EM ZONAS CULTURAIS

PROGRAMAÇÃO

9:00 - Abertura
Davison Pinheiro (Coordenador do evento)
Rafael Ferreira Alves (CPS)
Stelamaris Rolla Bertoli (SOBRAC Regional SP)
Cláudia Pires (IAB),
Krisdany Cavalcante (SOBRAC Nacional),
Júlio Cordioli (FIA)

Apresentação musical

09:35 - Motivações do evento - Davison Pinheiro
10:15 - Zoneamento Urbano - Camila Maleronka e Flávio Tavares
10:55 - Sonorização e saúde pública - Alexandre Maiorino
11:35 - Mesa redonda

12:00 ~ 14:00 - Intervalo

14:00 - Apresentação musical + Estúdio

14:30 - Normalização Acústica: destaque para a ABNT NBR 10151 - Krisdany Cavalcante
15:10 - Soluções construtivas e o mapeamento acústico - Stelamaris Rolla Bertoli
15:50 - O olhar jurídico sobre a poluição sonora - Kenio Pereira
16:30 - Mesa redonda

INSCRIÇÕES
bit.ly/wpuazcSP

APÓIO

SOBRAC
Sociedade Brasileira de Acústica

UNICAMP

Fatec
Tatuí

IB
SP

FIA
IBEROAMERICANA DE ACÚSTICA

Figura 2: Programação do *workshop* online: Planejamento urbano acústico em zonas culturais.

2. O Workshop

As palestras foram divididas em dois grandes blocos, sendo um no período matutino e outro no vespertino. Cada um deles contou com uma apresentação musical e ambos foram separados por temáticas e com a condução de um dos organizadores.

O coordenador do evento deu abertura ao *workshop*, explicando brevemente a iniciativa e dando a vez ao Prof. Rafael Ferreira Sales, que proferiu algumas palavras a respeito do Centro Paula Souza e do evento, seguido por Krisdany Cavalcante, presidente da Sobrac Nacional, Prof.^a Dr.^a Stelamaris Rolla Bertoli, diretora da Sobrac Regional SP, e Prof. Dr. Julio Apolinário Cordioli, representando a FIA, dando início assim ao ciclo de palestras, veja a Figura 3.

O primeiro bloco teve início com uma apresentação musical da Camerata de Violões do Conservatório de Tatuí.

A palestra inicial foi feita pelo organizador do evento, Prof. Davison Cardoso Pinheiro. Ele abordou as motivações do evento, contando sobre sua vivência na área e as inter-relações que notou necessárias para fazer com que a cidade conseguisse ser planejada e construída com um processo de inteligência coletiva.

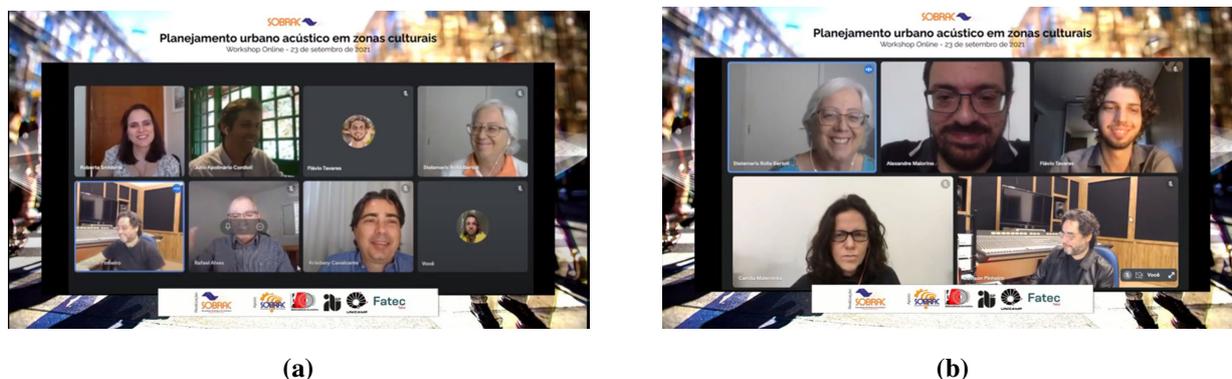


Figura 3: Prints de tela da realização do *workshop* no YouTube.

Na sequência, a urbanista e consultora em planejamento de financiamento urbano Camila Maleronka, junto ao também urbanista Flávio Tavares, abordaram as temáticas do zoneamento urbano, Estatuto das Cidades e legislações que geram programas de regularização fundiária, principalmente de assentamentos informais, além da problematização da criação de condomínios que priorizam o privado e tiram espaço de equipamentos culturais.

A terceira palestra da manhã teve como cerne sonorização e saúde pública e foi ministrada pelo professor da Escola de Música da UFRN, Prof. Dr. Alexandre Maiorino. Abordou a distinção entre as problemáticas comuns de sonorização, como grandes shows e eventos, e as mais usuais e não contempladas pelas cartas de ruídos, como bares, igrejas e casas noturnas, e que geralmente possuem projetos inadequados de sistemas de som e geram maior incomodidade, além da falha no procedimento de fiscalização pelo poder público.

O bloco inicial foi encerrado com uma mesa redonda formada pelos palestrantes e guiada pela Prof.^a Dr.^a Stelamaris Rolla Bertoli.

O período da tarde foi iniciado com uma apresentação do estúdio de produção fonográfica da Fatec Tatuí, proferida pelo coordenador José Carlos Pires, seguida por outro número musical executado pela Camerata de Violões do Conservatório de Tatuí. Esse bloco foi guiado pelo organizador Prof. Davison Cardoso Pinheiro.

A primeira palestra, “Normalização Acústica: destaque para a ABNT NBR 10151”, foi apresentada pelo presidente da Sobrac, Krisdany Cavalcante. Ele mostrou um histórico da normalização brasileira que acabou por contribuir para legislações sobre ruído e seu processo de revisões, propondo uma política nacional de controle de ruído, além das alterações na última revisão da norma para alcançar maior aderência ao poder público quanto à sua regulação.

A Prof.^a Dr.^a Stelamaris Rolla Bertoli, na sequência, falou sobre soluções construtivas e o mapeamento acústico, e o quão importante é levantar os impactos de ruído para a vida humana e mesmo de animais, com o auxílio de ferramentas para avaliar o ruído, como medições acústicas e a geração de mapas de ruído.

Para encerrar o ciclo de palestras, o olhar jurídico sobre a poluição sonora foi a temática abordada por Kenio Pereira, presidente da Comissão de Direito Imobiliário da OAB/MG.

O fechamento do *workshop* se deu com mais uma mesa redonda composta pelos palestrantes da tarde.

O evento contou ainda com o suporte dos alunos de pós-graduação da FECFAU (Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp) e pesquisadores do LaCAF (Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada) Roberta Smiderle e Marcos Roberto Barbieri Júnior, orientandos de doutorado e mestrado, respectivamente, da Prof.^a Dr.^a Stelamaris.

3. Alcance

Como vantagem do evento online, foi facilitada a participação de pessoas de diversos estados. O público participante foi de cerca de 150 pessoas. Caso seja de interesse do caro leitor, o “*Workshop* online: Planejamento urbano acústico em zonas culturais” está integralmente disponível para acesso no [YouTube da Sobrac SP](#).

Rafaella Estevão da Rocha 

Consultora AcústikaR &
Colaboradora
Universidade Federal de
Pernambuco (UFPE)

Av. da Arquitetura, s/n -
Cidade Universitária
CEP 50740-550
Recife, PE

{contato.acustikar}
@gmail.com

{rafaella.darocha}
@ufpe.br



Seminário online no @sobrac.ne



1º Colóquio virtual da Sobrac NE

Arquitetura e Acústica no Ambiente Construído: a receita do 1º Colóquio Virtual “Cuscuz com Acústica” da Sobrac NE

Resumo: Este documento registra brevemente o contexto de realização do 1º Colóquio Virtual Cuscuz com Acústica da Regional Nordeste da Sobrac. Desse modo, a seguir são discutidas as interfaces sobre o surgimento do evento e sobre o processo de apoio dos Conselhos de Arquitetura e Urbanismo regionais. Apresentam-se as temáticas debatidas no colóquio e são relatados os desafios para seu planejamento e execução. Por fim, encerra-se o documento com um relato de curiosidades sobre o nome do colóquio, informando também o alcance obtido.

1st Virtual Colloquium of Sobrac NE

Abstract: This document briefly records the context of the 1st Virtual Colloquium Couscous with Acoustics in the Northeast Region of Sobrac. Thus, in the following paragraphs, the interfaces on the emergence of the event and on the support process from the Regional Councils of Architecture and Urbanism are discussed. The themes discussed at the Colloquium are presented and the challenges faced in its planning and execution are as well reported as well. Finally, the document concludes with a report on curiosities about the name of the colloquium, as well as informing the scope obtained.

1. Introdução e contexto do evento

O 1º Colóquio Virtual Cuscuz com Acústica - CCA foi uma resposta rápida, eficiente e inovadora para continuidade das ações da Sobrac Nordeste 2021–2022 diante do contexto que inviabilizou a realização presencial de eventos, a pandemia da COVID-19. O objetivo do CCA foi levar virtualmente conscientização sobre o impacto das relações sonoras na qualidade de vida, orientando sobre as soluções acústicas no ambiente construído, veja a Figura 1.



Figura 1: 1º Colóquio virtual da Sobrac NE: Cuscuz com Acústica.

De modo a alinhar o objetivo com a temática “ambiente construído”, foram acionados os Conselhos de Arquitetura e Urbanismo - CAUs de todos os estados do nordeste. Pela primeira vez a Sociedade Brasileira de Acústica, aqui representada por sua regional Nordeste, reuniu todos os Conselhos estaduais de uma classe representativa em um único evento. Para tanto, cada membro da Sobrac Nordeste estreitou relações e conduziu carta de apresentação pormenorizada do evento para cada CAU, que por sua vez apoiou o Colóquio Virtual indicando, para composição dos debates, arquitetos e urbanistas representantes ou membros de seus respectivos conselhos estaduais.

O 1º Colóquio Virtual Cuscuz com Acústica - CCA foi estruturado para ser realizado inteiramente online durante todo o mês de setembro. A cada semana, dois temas acústicos foram debatidos em conversas ricas em conteúdo, mas conduzidas com leveza, por meio de *lives* no Instagram da Sobrac Nordeste e nas contas oficiais dos CAUs participantes.

Foram nove debates que abordaram as seguintes questões: (1) como incorporar acústica em edificações históricas?; (2) Mapas acústicos e políticas urbanas: qual a importância no controle da poluição sonora?; (3) Como amenizar conflitos entre os confortos térmico e acústico em épocas de pandemia?; (4) Qual a relação entre arquitetura e norma de desempenho?; (5) Por que e como adequar acusticamente um *home office*?; (6) Como obter conforto acústico em ambientes de saúde?; (7) Como solucionar problemas acústicos em áreas comuns de condomínios, como academias e salões de festas?; (8) Como evitar que igrejas proporcionem poluição sonora?; e (9) Qual a importância da acústica em salas de aula com metodologia híbrida?. Veja a Figura 2 com a agenda e os palestrantes do evento.

Pelo conteúdo prolífico dos debates, em oposição às suas descrições detalhadas, o Quadro 1 apresenta os *links* de acesso para cada um, disponíveis no Instagram oficial da Sobrac Nordeste: [@sobrac.ne](https://www.instagram.com/sobrac.ne).

Quadro 1: Temas, palestrantes e *links* do “Cuscuz com Acústica” 2021.

| Estado | Temas e <i>links</i> para as <i>lives</i> | Palestrantes Diretoria Sobrac NE | Palestrantes CAU |
|--------|---|---|---|
| BA | Edificações históricas e acústica | Débora Barreto (com participação do Presidente da Sobrac Krisdany Cavalcante) | Conselheiro Nivaldo Andrade |
| SE | Planejamento urbano e mapas acústicos | Ítalo Montalvão | Conselheiro Federal Ricardo Mascarello |
| AL | Relações de conforto e a pandemia | Maria Lúcia Oiticica | Presidente Fernando Cavalcanti |
| PE | Arquitetura e a norma de desempenho | Otávio Júnior | Membro Elka Porciuncula |
| PB | Home office e acústica | Rafaella Estevão da Rocha | Conselheira Camila Sales |
| RN | Ambientes de saúde e acústica | Bianca Araújo | Membro Maria Alice Lopes |
| CE | Condomínios e acústica | Gleudson Martins | Conselheira Ticiane Sanford |
| PI | Igrejas e acústica | Rafaella Estevão da Rocha | Conselheira Patrícia Mendes |
| MA | Salas de aula híbridas e a acústica | Sérgio Silva (2º Secretário Sobrac Nacional) | Membro Sanadja Medeiros |

QUARTAS DE SETEMBRO
TODOS OS ESTADOS DO NORDESTE, JUNTOS NO

1º COLÓQUIO VIRTUAL DA SOBRAC.NE

CUSCUZ COM ACÚSTICA

UMA CONVERSA GOSTOSA SOBRE A ARQUITETURA E SUAS RELAÇÕES SONORAS
NO INSTA DA @SOBRAC.NE

REALIZAÇÃO: SOBRAC.NE

APOIO: CAU's do NE, SOBRAC

(a)

QUARTAS DE SETEMBRO

CUSCUZ COM ACÚSTICA

01 EDIFICAÇÕES HISTÓRICAS E A ACÚSTICA
SET | 19H | COM O CAU BAHIA

08 URBANISMO E OS MAPAS ACÚSTICOS
SET | 17H30 | COM O CAU SERGIPE

08 RELAÇÕES DE CONFORTO E A PANDEMIA
SET | 19H | COM O CAU ALAGOAS

15 ARQUITETURA E A NORMA DE DESEMPENHO
SET | 17H30 | COM O CAU PERNAMBUCO

15 HOME OFFICE E ACÚSTICA
SET | 19H | COM O CAU PARAÍBA

22 AMBIENTES DE SAÚDE E ACÚSTICA
SET | 17H30 | COM O CAU RIO GRANDE DO NORTE

22 CONDOMÍNIOS E ACÚSTICA
SET | 19H | COM O CAU CEARÁ

29 IGREJAS E ACÚSTICA
SET | 17H30 | COM O CAU PIAUÍ

29 SALAS DE AULA HÍBRIDAS E A ACÚSTICA
SET | 19H | COM O CAU MARANHÃO

UMA CONVERSA GOSTOSA SOBRE A ARQUITETURA E SUAS RELAÇÕES SONORAS

REALIZAÇÃO: SOBRAC.NE

APOIO: CAU's do NE, SOBRAC

(b)

SPEAKERS SOBRAC.NE

SÉRGIO SILVA MARANHÃO

GLEIDSON MARTINS CEARÁ

BIANCA ARAÚJO RIO GRANDE DO NORTE

RAFAELLA ESTEVÃO DA ROCHA PARAÍBA & PIAUÍ

OTÁVIO JÚNIOR PERNAMBUCO

MARIA LÚCIA OITICICA ALAGOAS

ITALO MONTALVÃO SERGIPE

DÉBORA BARRETTO BAHIA

REALIZAÇÃO: SOBRAC.NE

APOIO: CAU's do NE, SOBRAC

(c)

SPEAKERS CAU

SANADJA MEDEIROS CAU/MA

TICIANA SANFORD CAU/CE

PATRICIA MENDES CAU/PI

CAMILA SALES CAU/PB

MARIA ALICE LOPES CAU/RN

ELKA PORCIUNCUCA CAU/PE

FFERNANDO CAVALCANTI CAU/AL

RICARDO MASCARELLO CAU/SE

NIVALDO ANDRADE CAU/BA

REALIZAÇÃO: SOBRAC.NE

APOIO: CAU's do NE, SOBRAC

(d)

Figura 2: Agenda e palestrantes do Cuscuz com Acústica 2021.

2. Dois desafios e uma curiosidade

Contextos inovadores trazem desafios e, apesar da experiência dos membros da diretoria da Sobrac Nordeste enquanto participantes, palestrantes e debatedores em eventos virtuais, a condução das *lives* via Instagram, em que o debatedor é também o executor-condutor dos procedimentos operacionais da plataforma, representou um desafio.

Enquanto alguns membros eram habituados com a plataforma, para outros o contexto era incomum. Assim sendo, para aperfeiçoar o domínio na condução virtual do colóquio foram realizados treinamentos e lives-testes para prática dos pormenores operacionais do aplicativo. Além disso, a coordenação de Comunicação & Relacionamento da Sobrac Nordeste elaborou uma cartilha tutorial¹ para que o registro do “como fazer” fosse revisitado sempre que necessário. Diante da oportunidade de tal elaboração, a cartilha foi compartilhada tanto com a Diretoria Nacional da Sobrac quanto com as Regionais, intencionando facilitar a otimização de processos em eventos futuros.

Mas, certamente, o maior desafio para realização do 1º Colóquio Virtual Cuscuz com Acústica foi conciliar o elevado número de CAUs participantes. Predominantemente, três instâncias dos Conselhos de Arquitetura e Urbanismo participaram das conduções para apoio ao Colóquio Virtual: (1) a presidência; (2) os conselheiros/conselho; e (3) o setor de imprensa/comunicação de cada estado. Foram, portanto, nove presidências, nove conselhos e nove assessorias de comunicação sendo articuladas pela Sobrac Nordeste, em forma e intensidade diversificadas, para viabilizar a realização do evento. Ao confirmar o apoio ao colóquio, foram solicitadas a cada Conselho: a indicação de um Arquiteto e Urbanista, membro ou representante do CAU para participação em cada debate; a utilização da conta oficial do Instagram de cada CAU para as *lives*; e a ampla divulgação do evento nos meios de comunicação e redes oficiais do CAU.

De modo geral, a participação dos CAUs Nordestinos foi engajada e aderente. Acredita-se que a cooperação, dedicação e entusiasmo dos CAUs em discutir o impacto das relações sonoras na qualidade de vida reflita o esforço continuado da Sobrac Nordeste em levar conscientização sobre as soluções acústicas no ambiente construído.

Quanto à curiosidade, um interesse agradável se formou quanto ao nome do Colóquio durante sua divulgação, o “Cuscuz com Acústica”. Assim sendo, considera-se relevante registrar nesse documento o desdobramento do processo para chegar até ele.

Materializado em uníssono com esforço e dedicação de todos os membros da Regional Nordeste, o evento foi idealizado pela coordenação de Comunicação e Relacionamento, gerida pela arquiteta e urbanista Rafaella Estevão da Rocha, que retornava à sua região natal depois de anos morando no Sudeste. Em seu retorno, houve a percepção da necessidade de discussões envolvendo a acústica e o ambiente construído com quem de fato intervém no espaço, atuando localmente, considerando as particularidades individuais de cada estado. Afinal, por mais que a abrangência da Sobrac Nordeste seja regional, são as ações com agentes locais que impulsionam e iniciam as mudanças dos processos vigentes. Daí a relevância da colaboração dos conselhos representativos locais² que compreendem as demandas próprias de cada estado, ao mesmo tempo que integram as interfaces político-administrativas de uma única região.

O nome do evento, então, deveria agregar a diversidade de cada estado e, ao mesmo tempo, caracterizar a conexão regional. Inicialmente pensou-se em nomear o Colóquio de “Café com Acústica”, nome esse que não agrega a identidade da região Nordeste. Até que em um dos *brainstorms* surgiu o “cuscuz”. Um

¹ROCHA, Rafaella Estevão da; MARTINS, Gleidson. **Tutorial lives Instagram**. Comunicação e Relacionamento. Sociedade Brasileira de Acústica Regional Nordeste, 2021.

²Nesse 1º Colóquio a participação foi dos Conselhos de Arquitetura e Urbanismo do NE.

alimento que, ao mesmo tempo, é imbuído de pluralidade em seu preparo e amplamente reproduzido em todos os estados do nordeste, caracterizando então a união na diversidade. Surgiu, então, o 1º Colóquio Virtual Cuscuz com Acústica.

3. Números e considerações finais

Num contexto em que a inovação era uma necessidade, a realização do Cuscuz com Acústica trouxe números prodigiosos viabilizados pela ousadia de se aventurar no mundo virtual: foram 1820 contas alcançadas, 17 palestrantes, 9 CAUs para UMA Sobrac NE.

O caminho e o aprendizado para extrapolar as fronteiras virtuais estão estabelecidos, sendo apenas o início. Dessa vez o diálogo foi estabelecido entre Arquitetura & Urbanismo e a Acústica, evidenciando a responsabilidade sonora do arquiteto em intervir no ambiente construído, seja ele interno ou externo. Mas a acústica é uma área do conhecimento interdisciplinar. Não é uma profissão, mas um campo de atuação de várias formações. É essa pluralidade que contribui para a construção continuada e para o fortalecimento da acústica no Brasil. E assim sendo, a conclusão é de continuidade: levar conscientização sobre os impactos das relações sonoras a partir da diversidade de outras formações e seus respectivos conselhos representativos. Engenheiros, músicos, fonoaudiólogos, entre outros. Há ainda muitas receitas de **Cuscuz com Acústica** para serem preparadas.

(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)

Shaliny Denardi
Vattathara 

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

{shaliny.vattathara}
@eac.ufsm.br

II Mês Acadêmico da Engenharia Acústica (Universidade Federal de Santa Maria)

Oportunidade livre para aprender sobre acústica e outros temas

Resumo: Eventos acadêmicos são importantes por promoverem espaços de aprendizado que constituem o compartilhamento de informações sobre determinados temas. O II Mês Acadêmico da Engenharia Acústica (II MAEAC) foi uma alternativa ao evento presencial no contexto de isolamento social devido à pandemia. O evento foi organizado pelo Diretório Acadêmico da Engenharia Acústica (DAAC) com apoio da empresa júnior Acústica Jr, ambas entidades integradas à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Dessa maneira, o II MAEAC propiciou um ambiente para o atendimento aos interesses de acadêmicos das diversas áreas de conhecimento, interessados na resolução de problemas vinculados às áreas de atuação do profissional de engenharia acústica.

II Academic Month of Acoustical Engineering (UFSM)

Abstract: Academic events are important for promoting learning spaces that focus on sharing knowledge about certain topics. The “II Academic Month of Acoustical Engineering” (II MAEAC) was a substitute for the in-person event, considering the social distancing scenario caused by the pandemic. The event was organized by the Acoustic Engineering Academic Directory (DAAC) with the junior enterprise Acústica Jr’s assistance, both entities affiliated with the Federal University of Santa Maria (UFSM), Brazil. Thus, the II MAEAC provided an environment that enabled the attending of interests of academics from different areas of knowledge, interested in the resolution of problems that are linked to the fields of the acoustic engineering professional.

1. Introdução

O II Mês Acadêmico da Engenharia Acústica (II MAEAC) ocorreu entre os dias 15 de outubro e 13 de novembro de 2021, totalmente gratuito e online, sendo transmitido pelo canal do [YouTube do DAAC](#). O foco principal dessa edição foi trazer temas relacionados à acústica abordados com pouca frequência ou profundidade no curso de graduação em Engenharia Acústica da UFSM — a Figura 1 mostra o logo do evento.



II Mês acadêmico Engenharia Acústica 2021

Figura 1: Logo do II Mês Acadêmico da Engenharia Acústica (II MAEAC).

O Diretório Acadêmico da Engenharia Acústica (DAAC) liderou o desenvolvimento do evento com o apoio da Acústica Jr. e alunos voluntários do curso — mais informações encontram-se no [site do evento](#).

Durante o mês foram apresentados 6 minicursos, 7 rodas de conversa e 7 palestras, conforme cronograma organizado por semana. Além da Comissão Organizadora, composta por 13 estudantes, o evento também contou com mais 31 colaboradores, sendo eles professores, arquitetos, engenheiros, egressos e alunos do curso.

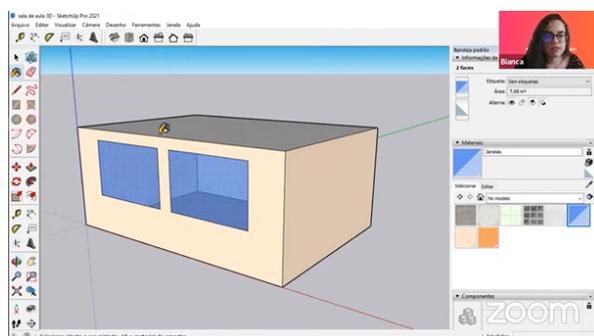
2. Breve relato

O primeiro dia do evento iniciou com uma roda de conversa de abertura especial do **Dia do Professor**, que contou com os docentes das disciplinas específicas do curso de Engenharia Acústica (EAC) da UFSM, cujo tema foi intitulado “Nossa comunidade acústica: passado, presente e futuro”. Os discentes Shaliny D. Vattathara, Karina Porto e Rafael David abriram o evento prestando agradecimentos a todos os convidados e participantes. Em seguida, o convidado Prof. Me. Rafael Heissler (Unisinos), coordenador da regional RS da Sobrac, proferiu algumas palavras a respeito da importância do Mês Acadêmico e do curso. Por fim, o Prof. Dr. William D’Andrea Fonseca deu início à roda de conversa e guiou a discussão entre os convidados Prof. Dr. Eric Brandão, Prof. Dr. Paulo Henrique Mareze, Prof. Dr. Christian dos Santos, Profa. Dra. Dinara Xavier da Paixão e Profa. Dra. Viviane Melo — todos da EAC/UFSM. Neste mesmo dia, as aulas gravadas do primeiro minicurso foram liberadas para os inscritos.

As atividades do evento foram palestras, rodas de conversa e minicursos. As palestras abrangeram alguns temas da área da acústica, como acústica nas edificações, psicoacústica no cinema e controle de ruídos. As rodas de conversa foram discussões acerca de temas que tangem à área da acústica, focando em tópicos menos técnicos como o ensino inclusivo e igualitário na acústica, audiodescrição e a importância sonora no cinema nacional. Os minicursos foram ministrados em sua maioria por alunos do curso e egressos, com um foco em *software* que são comumente utilizados na graduação, considerando também os níveis de dificuldade dos diversos semestres. Um exemplo foi o minicurso de Python que teve duas versões, uma mais básica e introdutória e outra mais focada para a resolução de problemas encontrados nas disciplinas finais do curso. As Figuras 2 (a) e 2 (b) apresentam capturas de tela das transmissões ao vivo da palestra “Acústica Aplicada – Condicionamento e tratamento de ambientes” e do minicurso “Introdução ao I-Simpa”, respectivamente. O Quadro 1 apresenta todas as atividades organizadas pela Comissão, os temas apresentados e seus respectivos apresentadores/ministrantes e convidados (com *link* para o YouTube, quando disponível).



(a) Palestra “Acústica Aplicada – Condicionamento e tratamento de ambientes”, apresentada por Fernando Neves.



(b) Minicurso “Introdução ao I-Simpa”, apresentado por Bianca Kemerich.

Figura 2: Prints de tela da realização do II MAEAC no YouTube.

Quadro 1: Conteúdos do II Mês Acadêmico da Engenharia Acústica.

| Atividade | Tema | Apresentador(a)/Convidados |
|-------------------|--|--|
| Palestras | Engenharia Acústica e a rotina de um egresso | Luiz Dorneles |
| | Engenharia de Mixagem e Acústica – Do projeto à entrega | Beto Neves |
| | Kuba Áudio: trajetória e desafios de uma marca nacional em ascensão e as perspectivas e inovações no mercado global de <i>headphones</i> de alta qualidade | Leonardo Drummond |
| | A psicoacústica aplicada à produção audiovisual | Luiz Kruszielski |
| | A participação brasileira na Young Acoustician Network (YAN) da Associação Europeia de Acústica (European Acoustics Association – EAA) | Margret Sibylle Engel |
| | Soluções <i>open-source</i> na Engenharia – PNoise e Acústica de Aero geradores | Alexandre Martuscelli |
| | Acústica Aplicada – Condicionamento e tratamento de ambientes | Fernando Neves |
| Rodas de conversa | A acústica é igualitária? | Iam Kim Hermont Nayara Dutra Marselle Barbo |
| | A eletroacústica no cinema | Henrique Pellin |
| | A importância sonora nos filmes e o cinema nacional | Luiz Kruszielski Débora Opolski |
| | Acústica é luxo? | Pedro Chagas Caroline Plech Isabela Kuniyoshi Andréa Destefani |
| | Audiodescrição × Áudio drama: qual a diferença? | João Pontalti Jorge de Oliveira |
| | O ensino inclusivo na acústica | Andréa Menêzes Gabriel Regattieri Núbia Bernardi Gláucio Castro |
| | Paisagem sonora histórica | Marcela Alvares Maria Fernanda de Oliveira |
| Minicursos | Introdução ao Python | Michael Markus Ackermann |
| | Python aplicado em acústica nas edificações e acústica de salas | João Paes Matheus Lazarin |
| | Introdução ao Revit | Sofia de Oliveira |
| | Um olhar arquitetônico para a comunicação técnica do projeto acústico | Rafaella Estevão da Rocha |
| | Introdução ao Overleaf | Shaliny Denardi Vattathara |
| | Introdução ao I-Simpa | Bianca Kemerich |

2.1 Palestras

A primeira palestra, “Engenharia Acústica e a rotina de um egresso”, ocorreu no dia 19 de outubro, apresentada pelo egresso de Engenharia Acústica e atual engenheiro-chefe no setor de projetos acústicos na empresa Silenkar, Luiz Dorneles. Ele relatou sobre o período da sua formação e a rotina na sua área de atuação.

No mesmo dia, a palestra “Acústica Aplicada – Condicionamento e tratamento de ambientes” foi transmitida ao vivo às 13h30 e apresentada pelo arquiteto integrante do grupo Saint-Gobain, Fernando Neves. Inicialmente, apresentou algumas informações básicas utilizando como referência a norma ABNT NBR 12.179 e, após, abordou diferentes *cases* de condicionamento acústico. Por fim, apresentou as oportunidades que o portfólio *Acústica & Design* da Saint-Gobain Brasil proporciona.

Finalizando o dia 19, a palestra “Engenharia de Mixagem e Acústica – Do projeto à entrega”, transmitida às 19h, foi apresentada pelo engenheiro de gravação e mixagem da empresa Mix2go, Beto Neves. Ele relatou sua rotina e descreveu os desafios no áudio médio e final da indústria musical.

A quarta palestra, “Kuba Áudio: trajetória e desafios de uma marca nacional em ascensão e as perspectivas e inovações no mercado global de *headphones* de alta qualidade”, ocorreu no dia 26 de outubro às 12h. O *designer* de produtos e sócio fundador da Kuba Áudio, Leonardo Drummond, apresentou a palestra e descreveu um pouco do processo de criação da empresa e as inovações em tecnologia no mercado de *headphones*.

Ainda no mesmo dia, às 19h foi apresentada a palestra “A psicoacústica aplicada à produção audiovisual”, pelo pesquisador e produtor de áudio na Rede Globo, Dr. Luiz Kruszielski. Na palestra, ele apresentou um pouco da sua trajetória e descreveu alguns exemplos de aplicações de psicoacústica nas produções audiovisuais da Globo.

A sexta palestra, “Soluções *open-source* na Engenharia – PNoise e Acústica de Aerogeradores”, ocorreu no dia 9 de novembro às 19h e foi apresentada pelo engenheiro mecânico Alexandre Martuscelli. Ele apresentou o desenvolvimento da primeira extensão do modelo PNoise, que trata do ruído provocado pela interação entre determinada seção da pá de uma turbina eólica e o escoamento turbulento incidente.

A última palestra, “A participação brasileira na Young Acousticians Network (YAN) da Associação Europeia de Acústica (European Acoustics Association – EAA)”, ocorreu às 11h no dia 11 de novembro e foi apresentada pela pesquisadora em paisagem sonora e conforto acústico, Dra. Margret Sibylle Engel. Ela apresentou a iniciativa e contou um pouco sobre a representação brasileira da rede.

2.2 Minicursos

Os minicursos foram realizados em formato de aulas gravadas, liberadas para os inscritos em datas previamente divulgadas. Aproximadamente após uma semana da liberação das aulas, em quase todos os minicursos, foram definidos encontros *online* transmitidos ao vivo.

O minicurso “Introdução ao Python” foi liberado no dia 15 de outubro e teve um encontro síncrono no dia 25 de outubro às 19h30, sendo ministrado pelo graduando em Engenharia Acústica, Michael Markus Ackermann.

No dia 22 de outubro às 15h30, ocorreu o minicurso “Python aplicado em acústica nas edificações e acústica de salas”, transmitido ao vivo e ministrado pelos egressos do curso Matheus Lazzarin e João Vitor Gutkoski Paes. No mesmo dia, as aulas gravadas do minicurso “Introdução ao Revit” foram liberadas e no dia 27 de outubro ocorreu um encontro síncrono transmitido ao vivo e ministrado pela arquiteta e mestranda em conforto ambiental na UFSM, Sofia de Oliveira.

O quarto minicurso, “Um olhar arquitetônico para a comunicação técnica do projeto acústico”, ocorreu de forma síncrona nos dias 4 e 5 de novembro às 14h e foi ministrado pela arquiteta e sócia diretora da AcústikaR, Rafaella Estevão da Rocha.

O quinto minicurso, “Introdução ao Overleaf”, foi liberado no dia 29 de outubro e no dia 5 de novembro às 19h ocorreu um encontro síncrono, ministrado pela graduanda em Engenharia Acústica, Shaliny Denardi Vattathara. O encontro transmitido ao vivo também contou com a participação do Prof. Dr. William D’Andrea Fonseca que auxiliou na apresentação e mostrou alguns *templates* desenvolvidos por ele na plataforma.

O sexto minicurso, “Introdução ao I-Simpa”, foi liberado no dia 5 de novembro e no dia 12 de novembro às 18h ocorreu um encontro síncrono, ministrado pela graduanda em Engenharia Acústica, Bianca Kemerich.

2.3 Rodas de conversa

As rodas de conversa contaram com discussões a respeito de diversos temas pertinentes que tinham alguma relação com a temática da acústica.

A primeira roda de conversa, “Acústica é luxo?”, aconteceu no dia 18 de outubro às 19h. Formaram a roda a fonoaudióloga e vice-coordenadora nacional do INAD Brasil Profa. Dra. Isabel Kuniyoshi, o engenheiro civil e mestre em conforto ambiental Paulo Chagas, a arquiteta urbanista e sócia da Ca2 Consultores Andrea Destefani e a arquiteta e urbanista Caroline Plech Gomes de Barros.

No dia 25 de outubro às 17h ocorreu a roda de conversa “A acústica é igualitária?”, formada pelos convidados Marselle Barbo, arquiteta urbanista e doutoranda em conforto ambiental, Nayara Dutra, cantora e compositora, e o egresso da Engenharia Acústica Iam Kim Hermont.

A terceira roda, “A eletroacústica no cinema”, aconteceu no dia 27 de outubro às 19h30 e foi conduzida pelo especialista em educação musical Henrique Pellin.

A roda de conversa “O ensino inclusivo na acústica” ocorreu no dia 3 de novembro às 19h. A discussão foi conduzida pelos mestre em linguística Gláucio Castro, a arquiteta e urbanista Profa. Dra. Núbia Bernardi, o graduando em Engenharia Acústica Gabriel Braga Regattieri Sampaio e a Profa. Andréa Menêzes.

A quinta roda aconteceu no dia 4 de novembro às 19h e teve como tema “Paisagem sonora histórica”. A conversa foi conduzida pelas arquitetas e urbanistas Profa. Dra. Marcela Alvares Maciel e Profa. Dra. Maria Fernanda de Oliveira, que também coordena o Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil (itt Performance) na Unisinos.

A roda de conversa “A importância sonora nos filmes e o cinema nacional” ocorreu no dia 10 de novembro às 19h30 e teve como convidados a Profa. Dra. Débora Opolski e o pesquisador e produtor de áudio na rede Globo Dr. Luiz Kruszielski.

A última roda de conversa ocorreu no dia 8 de novembro às 19h30 e teve como tema “Audiodescrição × Áudio Drama: qual a diferença?”. A conversa foi conduzida pelo professor em história e membro fundador do Clube Literário Tolkieniano de Brasília Jorge de Oliveira e pelo produtor fonográfico e graduando em Engenharia Acústica João Pontalti.

3. Encerramento

No dia 12 de novembro ocorreu o encerramento do evento (Figura 3), que contou com uma breve apresentação de dados coletados ao longo do mês, baseando-se no total de inscritos do evento. Em seguida, foi reproduzido um vídeo parabenizando a Profa. Dra. Dinara Xavier da Paixão pela sua aposentadoria e agradecendo-a por todas as oportunidades que ela proporcionou aos estudantes do curso de Engenharia Acústica da UFSM. Logo após a homenagem, foi reproduzido um vídeo desenvolvido por alguns alunos que compuseram uma música instrumental em comemoração ao encerramento do evento.

A Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac) presenteou o evento com três associações estudantis para serem sorteadas na conclusão do evento. Foram sorteadas duas das associações para participantes, e a terceira para um membro da Comissão Organizadora. Os ganhadores foram os estudantes Gustavo Neto, William Santana Sena e Michael Markus Ackermann.

Em relação aos resultados gerais, foram ao todo 144 inscritos, em sua maioria estudantes (54,3%). A palestra com maior número de inscritos contou com 97 pessoas, o minicurso com 81 e a roda de conversa com 77.

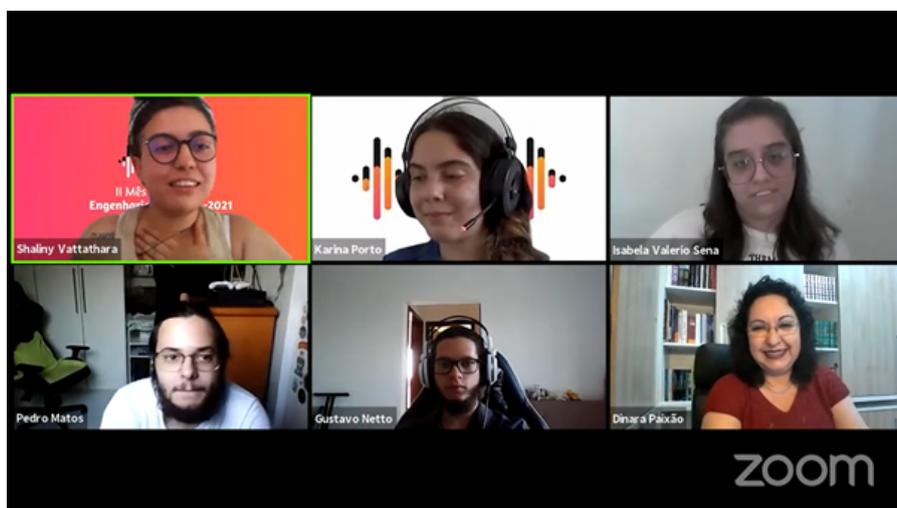


Figura 3: Print de tela do encerramento do II MAEAC.

O Diretório Acadêmico da Engenharia Acústica agradece a todos os participantes que prestigiaram o evento, aos voluntários e profissionais colaboradores que ajudaram a organizar todas as atividades e à Sobrac pelas associações estudantis cedidas.

O II Mês Acadêmico da Engenharia Acústica¹ foi um sucesso e teve uma ampla abrangência de participantes, contando com pesquisadores da área, professores e estudantes de diferentes universidades e regiões do Brasil. Caso tenha interesse em assistir, as transmissões de todos os espaços estão disponíveis no canal do [YouTube do DAAC](#) (basta clicar no link).

¹O evento é apoiado e registrado na UFSM como um projeto de ensino (n. 057150).

Denison Oliveira ,
Elvis Gouveia &
Fernando Diaz 

HBK – Hottinger
Brüel & Kjær

Rua Laguna, 276
São Paulo - SP

{denison.oliveira,
elvis.gouveia,
fernando.diaz}
@hbkworld.com

HBK 2245 Product Noise e 2245 Open API

O sonômetro B&K 2245 tem inovações para consultores, pesquisadores e desenvolvedores de sistemas

Resumo: A exigência dos consumidores por produtos silenciosos está aumentando. Para garantir essas exigências de qualidade, os fabricantes precisam aprimorar seus procedimentos de avaliação de produtos, seja no desenvolvimento ou na linha de produção. Tendo isso em vista, a HBK lançou uma nova aplicação para o Sonômetro B&K 2245 chamada Product Noise Partner que torna a medição de potência sonora muito mais fácil. O B&K 2245 também é capaz de auxiliar no processo de controle de qualidade, integrando-se ao sistema de controle/gestão da produção por meio de sua interface de programação API.

Abstract: Consumer demand for noiseless products is increasing. To ensure these quality requirements, manufacturers need to improve their product evaluation procedures, whether in the development process or on the production line. With this in mind, HBK has launched a new application for the B&K 2245 Sound Level Meter called Product Noise Partner that makes measuring sound power much easier. The B&K 2245 is also able to assist in the quality control process, integrating itself with the production control/management system through its open API.

1. Introdução à potência sonora

Potência sonora é a energia total do som aéreo irradiada por uma fonte sonora por unidade de tempo, expressa em watts (W) — podemos lembrar que W é J/s. A pressão sonora (em Pa), por outro lado, é o resultado de fontes sonoras que irradiam energia sonora que é transferida para um ambiente acústico específico e medida em um local típico. Sendo assim, podemos dizer que a potência sonora é a causa, e a pressão sonora é o efeito.



Figura 1: B&K 2245 oferece uma solução para medição de potência sonora que atende diversos tipos de produtos.

HBK 
HOTTINGER BRÜEL & KJÆR


HBM


Brüel & Kjær

Expressamos a potência sonora também como um nível em decibel (dB). Isso às vezes pode ser uma fonte de confusão, particularmente quando o valor de referência é omitido. O valor de referência para níveis de pressão sonora é de $20 \mu\text{Pa}$, enquanto o valor de referência para níveis de potência sonora é de 1 pW . Os valores de referência foram determinados de tal forma que em um campo livre perfeito, a uma distância onde a área de propagação é de 1 m^2 , o nível de pressão sonora e o nível de potência sonora são iguais [1].

Determinar o nível de potência sonora de um produto permite comparar objetivamente a emissão de ruído de diferentes produtos, sem qualquer conhecimento do ambiente em que ele será utilizado ou da distância em que se está dele. Ou seja, a potência sonora é totalmente inerente ao objeto sob teste.

Isso torna os níveis de potência sonora ideais para rotulagem de produtos, para especificar limites de emissão de ruído de tais produtos e para verificar a conformidade com os limites pré-estabelecidos em normativas. Como os níveis de potência sonora são independentes do ambiente acústico e do local de medição, eles também nos permitem calcular emissões de nível de pressão sonora de um produto para locais específicos em um ambiente acústico conhecido.

Como citado, ao contrário do nível de pressão sonora, o nível de potência sonora é, em princípio, independente das propriedades acústicas da sala em que está localizado o produto. Em muitos casos, o nível de potência sonora dependerá drasticamente das condições de montagem e operação. Assim, para comparação de emissão de ruído de produtos similares de diferentes fabricantes, as condições de ensaio devem ser padronizadas.

2. Medindo potência sonora

Existem dois métodos para determinar a potência sonora a partir de medições de pressão sonora, o método direto e o método de comparação [2, 3]. O método direto é amplamente utilizado em ambientes essencialmente de campo livre, mas pode ser utilizado também em campo sonoro reverberante. O método de comparação, no entanto, é usado exclusivamente em campos sonoros reverberantes.

No método direto, uma superfície imaginária envolvendo o produto em ensaio é definida, e medições de nível de pressão sonora são realizadas em várias posições da superfície. Essas medições de nível de pressão sonora são geralmente corrigidas considerando a influência do ambiente acústico, por exemplo, o ruído de fundo.

Determinado o nível médio de pressão sonora para a superfície de medição, o nível de potência sonora pode ser calculado ajustando-se para a razão da área da superfície com a área de superfície de referência de 1 m^2 . Nessa condição, o nível de potência sonora é aproximadamente igual ao nível de pressão sonora.

No método de comparação é utilizada uma fonte sonora de referência com um nível de potência sonora conhecido. As medições de nível de pressão sonora são feitas na sala de teste em duas condições: com a fonte sonora de referência e com o produto. O nível de potência sonora do produto em ensaio pode então ser calculado comparando os níveis de pressão sonora medidos em cada situação.

3. Visão geral de normativas de medição de potência sonora

Para a determinação de potência sonora, existem normas gerais que guiam o procedimento de medição básica, como a ISO 3744:2010 e a ISO 3746:2010 [2, 3]. A partir dessas normas são criados procedimentos específicos para determinados produtos que podem ser chamados de “códigos de teste de ruído”. As normas ISO especificam métodos para determinar a potência sonora para todos os tipos de produtos em uma variedade de ambientes acústicos e níveis de precisão. Como resultado, eles

fornecem informações gerais sobre condições de operação e montagem para o produto em ensaio.

Os códigos de teste de ruído, por outro lado, são específicos para determinados tipos de produto e especificam requisitos detalhados para condições de montagem e operação, bem como identificam quais padrões básicos devem ser usados. Geralmente, caso exista um código de teste de ruído para determinado produto, ele deve ser usado.

No Brasil, temos as Portarias Inmetro nº 430, de 16 de agosto de 2012 [4] e nº 388, de 6 de agosto de 2013 [5] com o objetivo de estabelecer as diretrizes e critérios para a atividade de avaliação da conformidade da potência sonora de produtos eletrodomésticos, para a utilização do selo ruído, veja Figura 2, com foco no desempenho de produto.

Nestas portarias são adotados documentos complementares específicos para diversas metodologias de medição de potência sonora, sendo comumente utilizado o método da norma ISO 3744:2010 [2].



Figura 2: Modelo do selo ruído de identificação de conformidade.

4. Conhecendo o sonômetro 2245-P com o aplicativo Product Noise Partner

O sonômetro B&K 2245-P foi projetado para atender a especificações de Classe 1 da família de normas internacionais vigentes para sonômetros e filtros de oitava e terço de oitava, sendo elas a IEC 61672-1:2013 [6] e IEC 61260-1:2014 [7] com faixa de medição de níveis de 16 – 141 dB(A) e com faixa de frequência de 6 Hz a 20 kHz. As demais informações relevantes podem ser encontradas na folha de dados (*datasheet*) [8] do sonômetro.

Em conjunto ao sonômetro B&K 2245-P, temos o microfone B&K Type 4966, projetado conforme a norma IEC 61094-4:1995 [9], pré-polarizado e para campo-livre, com faixa de frequência de 5 Hz a 20 kHz e com alta sensibilidade de 50 mV/Pa. Esse microfone é robusto e projetado para medições acústicas de alta precisão. Informações adicionais podem ser encontrados na sua folha de dados [10].

Com a utilização do sonômetro B&K 2245-P juntamente com o aplicativo Product Noise Partner é possível medir os níveis de potência sonora para máquinas ou equipamentos eletrodomésticos a fim de cumprir os requisitos normativos nacionais e internacionais.

O aplicativo permite de forma facilitada a medição e a criação de relatórios de níveis de potência sonora de acordo com as normas ISO, determinação das emissões de ruído de máquinas e equipamentos, determinação dos níveis de pressão sonora em estações de trabalho, determinação dos níveis sonoros em brinquedos e avaliação comparativa de ruídos de máquinas e equipamentos. Estão disponíveis os métodos de medição de potência sonora conforme as normas ISO 3744:2010 [2] e ISO 3746:2010 [3].

A interface com o usuário foi desenvolvida para o padrão normativo com um conjunto simples de procedimentos que guiam nas etapas necessárias para o cumprimento dos requisitos das normas. O padrão de cores fornece uma visão geral sobre o *status* de medição com avisos, caso falte informação ou não cumpra os requisitos.

A utilização do aplicativo em PC permite aos usuários inserir metadados e especificar medições para um produto em ensaio ou em uma gama de produtos, veja a Figura 3 (a). Possibilita ainda que os usuários possam repetir e comparar os ensaios conforme necessário. Com um modelo de teste padrão, o usuário pode utilizar o aplicativo no computador ou em um dispositivo móvel — observe a Figura 3 (b) com o Product Noise Partner instalado. Tanto o aplicativo de PC quanto o aplicativo móvel permitem controlar mais de um sonômetro B&K 2245-P simultaneamente, obtendo assim um sistema multicanal. Essa interface de usuário fornece estrutura para determinar, armazenar e relatar os dados de emissão de ruído em um padrão de tarefas.

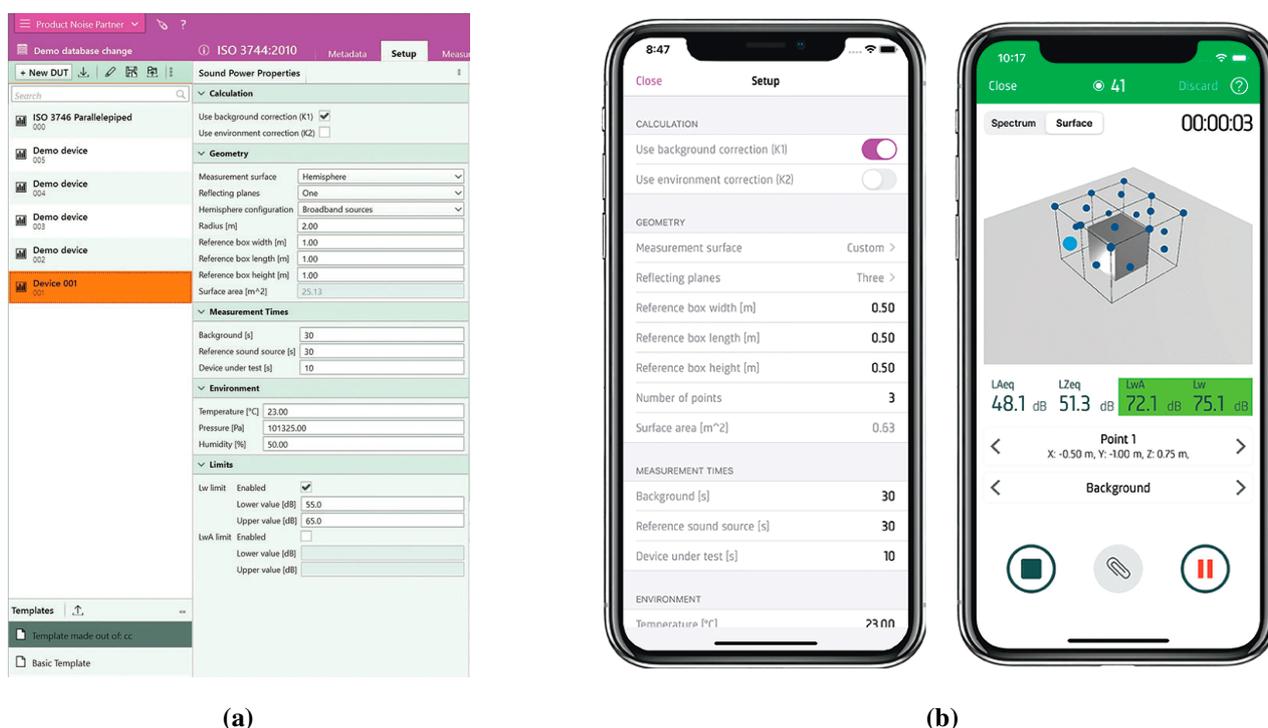


Figura 3: (a) Modelo de medição; e (b) Controle e edite suas medições diretamente do dispositivo móvel.

5. Protocolo de programação aberto — Open API

A interface aberta de programação (ou API, ou ainda *Application Programming Interface*) permite que qualquer aplicativo controle e receba dados de medição de um B&K 2245, utilizando o protocolo de

comunicação Web-Xi desenvolvido pela Brüel & Kjær. Esse protocolo de comunicação está presente na maioria das plataformas de aquisição da empresa com o LAN-XI (plataforma multicanal) e a outra plataforma de sonômetro 2250/70.

O protocolo de Web-Xi é utilizado para comunicação entre produtos desenvolvidos pela HBK, podendo ser estes dispositivos de aquisição de dados como os sonômetros ou produtos de *software* como o BK Connect. O protocolo é dividido em duas partes, um protocolo de comando (que é utilizado para verificar o estado, configurar e comandar um instrumento) e um protocolo de *streaming* de dados (utilizado para enviar e receber um ou mais fluxos de dados). Este último é muito útil para aplicações de monitoramento ou outra situação que demande uma contínua comunicação com o instrumento.

O protocolo de comando é baseado em um protocolo REST (*Representational State Transfer* ou em português Transferência Representacional de Estado) aplicado em HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*), em que os dados são codificados como JASON (*JavaScript Object Notation*). Usando comandos GET, PUT, POST e DELETE, é possível editar as configurações do sonômetro, buscar parâmetros, resultados e configurar o WebSocket para *streaming* de dados. Na Figura 4 podemos observar exemplos de comandos do protocolo Web-Xi utilizando o *software* Postman [11].

Figura 4: Exemplos de comandos Web-Xi utilizando o Postman.

A licença de interface aberta de programação BZ-7400 em si não altera quais parâmetros estão disponíveis no B&K 2245, apenas possibilita que um aplicativo não assinado pela HBK use quaisquer recursos

disponíveis de outras licenças instaladas no sonômetro. Em outras palavras, caso um proprietário do 2245 deseje desenvolver um *software* especializado, basta adicionar a licença BZ-7400 que terá acesso aos parâmetros já disponíveis por licenças anteriores em seu equipamento. No caso em que se deseje integrar o 2245 a um *software* já existente (ou desenvolver um *software* com finalidade específica), pode-se utilizar licenças focadas nos recursos necessários para a dada aplicação, sendo estas:

- BZ-7401 - Acesso a parâmetros de banda larga;
- BZ-7402 - Acesso a parâmetros de registro (1, 5, 10, 30 e 60 segundos);
- BZ-7403 - Acesso a parâmetros em bandas de oitavas (1/1 ou 1/3); e
- BZ-7404 - Acesso a áudios gravados (formato MP3).

Para mais informações, documentação e exemplos de códigos em linguagens como C#, Python ou Matlab, acesse nosso repositório no GitHub por meio do *link* <https://github.com/hbk-world/Open-Interface-for-Sound-Level-Meter>. Você pode assistir também uma demonstração realizada por Troels Dalsgaard Hoffmeyer (desenvolvedor de *firmware* na HBK) acessando o *link* <https://hbm.wistia.com/medias/m53t97owck>.

Referências

1. Brüel & Kjær. *Sound Power*. Acessado em jan. 2022. Disponível em: <https://www.bksv.com/en/knowledge/applications/product-noise/sound-power>.
2. ISO 3744:2010 Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane. Genebra, Suíça, 2010. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/52055.html>.
3. ISO 3746:2010 Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane. Genebra, Suíça, 2010. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/52056.html>.
4. INMETRO. *Portaria Inmetro n° 430*. 2012. Disponível em: http://inmetro.gov.br/legislacao/detalhe.asp?seq_classe=1&seq_ato=1891.
5. INMETRO. *Portaria Inmetro n° 388*. 2013. Disponível em: http://inmetro.gov.br/legislacao/detalhe.asp?seq_classe=1&seq_ato=2002.
6. IEC Central Secretary. *IEC 61672-1:2013 - Electroacoustics – Sound level meters –Part 1: Specifications*. Genebra, Suíça, 2013. Edition 2.0. Disponível em: <https://webstore.iec.ch/publication/5708>.
7. IEC Central Secretary. *IEC 61260-1:2014 - Electroacoustics - Octave-band and fractional-octave-band filters - Part 1: Specifications*. Genebra, Suíça, 2014. Edition 1.0. Disponível em: <https://webstore.iec.ch/publication/5063>.
8. Brüel & Kjær. *Datasheet: B&K 2245 Sound Level Meter with Product Noise Partner*. Acessado em jan. 2022. Disponível em: <https://www.bksv.com/-/media/literature/Product-Data/bp2643.ashx>.
9. IEC Central Secretary. *IEC 61094-4:1995 - Measurement microphones - Part 4: Specifications for working standard microphones*. Genebra, Suíça, 1995. Edition 1.0. Disponível em: <https://webstore.iec.ch/publication/4488>.
10. Brüel & Kjær. *Datasheet: 1/2 Prepolarized Free-field Microphone Type 4966*. Acessado em jan. 2022. Disponível em: <https://www.bksv.com/-/media/literature/Product-Data/bp2536.ashx>.
11. Brüel & Kjær. *Datasheet: Open Interface for B&K 2245*. Acessado em jul. 2020. Disponível em: <https://www.bksv.com/-/media/literature/Product-Data/bp2635.ashx>.

**William D'Andrea
Fonseca** 

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

{will.fonseca}
@eac.ufsm.br

Márcio Avelar 

*Universidade Tecnológica
Fed. do Paraná - UTFPR*
Av. Sete de Setembro, 3165
Rebouças, Curitiba - PR

{marciogomes}
@utfpr.edu.br

**Roberto A.
Tenenbaum** 

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

{roberton.tenenbaum}
@eac.ufsm.br

Julio Torres 

*Universidade Federal do
Rio de Janeiro - UFRJ*
Av. Pedro Calmon, 550
Cidade Universitária
Rio de Janeiro - RJ

{julio}
@poli.ufrj.br

Eric Brandão 

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

{eric.brandao}
@eac.ufsm.br

Simulações de Acústica de Salas desenvolvidas nas universidades do Brasil

Brasil conta com poderosas ferramentas de simulação que nasceram dentro de universidades

Resumo: Simulação em acústica de salas tem um importante papel para pesquisadores e consultores do ramo. No Brasil, existem diversas iniciativas de *software* para essa finalidade. Logo, nesta seção, trazemos uma pequena revisão sobre o assunto, além dos *software* que nasceram nas universidades brasileiras, frutos de pesquisa e desenvolvimento. Embora apresentando etapas distintas de maturidade, eles têm funcionalidades sofisticadas e profissionais, são eles RAIOS, BRASS e Trem.

Room Acoustics simulations developed at Brazilian universities

Abstract: Simulation in room acoustics has an important role for researchers and consultants in the field. In Brazil, there are several software initiatives for this purpose. Thus, in this section, we bring a short review of the topic as well as the software born in Brazilian universities, the fruits of research and development. Although presenting different stages of maturity, they have sophisticated and professional features; they are RAIOS, BRASS, and Trem.

1. Introdução

O projeto acústico de ambientes fechados, em especial a partir de meados do século XX, vem sendo frequentemente feito com o auxílio de alguma forma de simulação^a, em especial quando a finalidade é proporcionar um espaço onde a informação sonora é parte essencial do contexto, senão a protagonista da cena, veja o exemplo de *traçado de raios* da Figura 1.

No caso das salas de concerto, tomando o exemplo mais clássico, percebemos que músicas de diferentes épocas podem exigir características específicas. Atualmente salas de cinema que recebem sistemas de som de empresas como Dolby, THX ou DTS, por exemplo, exigem projetos mais cuidadosos. Assim como as salas de aula, visto que uma

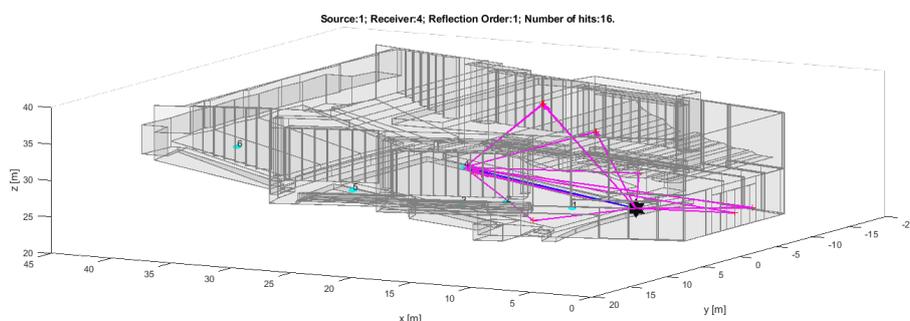


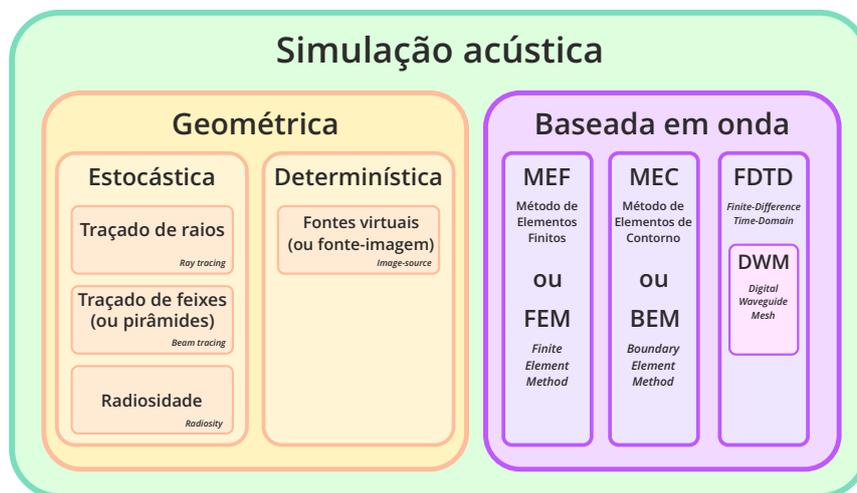
Figura 1: Exemplo de *traçado de raios* do *software* Trem (Seção 25).

^aAs simulações físicas foram as primeiras a serem realizadas, através de maquetes. E a ideia de auralização já era propagada naquela época, como descrito por Spandöck, em 1934 [1].

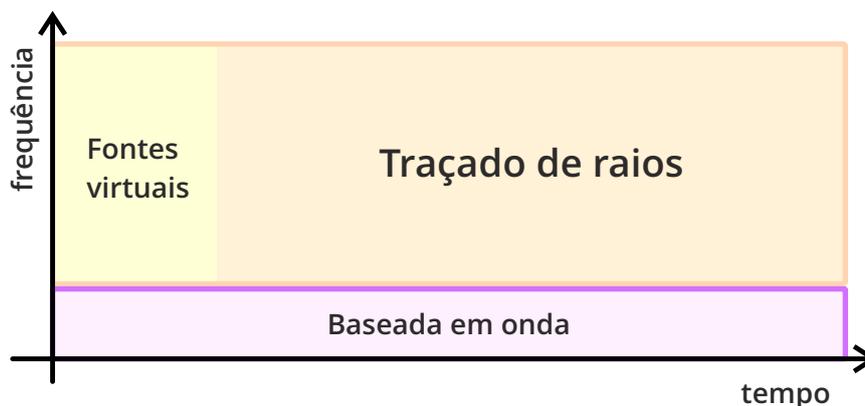
quantidade relevante de pesquisas identificou a falta de adequação para a inteligibilidade da fala em várias situações e que podem depender de ajustes mais finos em relação à absorção sonora.

Já há alguns anos os modelos computacionais são mais utilizados, não apenas pela facilidade e possibilidade de realizar análises mais amplas e minuciosas, mas também por conta da possibilidade de criar amostras sonoras por meio de técnicas de auralização. Em projetos mais delicados, além dos modelos computacionais, utiliza-se também a técnica mais antiga, construindo-se maquetes.

O trabalho considerado pioneiro no emprego de computadores para simular o comportamento acústico de um ambiente fechado é o de Krokstadt, Strom e Sorsdal [2], que reportaram a implementação do método do *traçado de raios* em 1968 (também utilizado para simular iluminação e propagação de ondas eletromagnéticas). Esse método é classificado como “geométrico”, adequado para situações nas quais o comprimento de onda sonora é bem menor do que as dimensões da sala (também ditas “acusticamente grandes”). Nos métodos geométricos assume-se, a princípio, que a propagação sonora ocorre no sentido das frentes de onda e que os fenômenos de difração e refração são considerados pouco significativos. Para estimar a frequência a partir da qual essas premissas são válidas, utiliza-se a conhecida “fórmula de Schroeder”. A Figura 2 ilustra essa ideia de forma resumida.



(a) Métodos de simulação de acústica de salas



(b) Métodos ótimos por tempo e frequência

Figura 2: Métodos de simulação de acústica de salas, recomendados para cada caso (extraído de Fonseca [3]).

Após a implementação do método do traçado de raios, Allen e Berkley implementaram o método das fontes virtuais, ainda para salas retangulares [4]. Alguns anos depois, Borish reportou a implementação desse método para salas com geometria arbitrária [5]. Já nessa época havia no horizonte a possibilidade de realizar a auralização a partir de simulações computacionais. Acreditava-se que o método das fontes virtuais (*image-sources*, em inglês) seria mais adequado à auralização do que o do traçado de raios, pois permite uma melhor estimativa da resposta ao impulso. A resposta ao impulso mais detalhada seria importante principalmente em seu trecho inicial. No entanto, o método das fontes virtuais exigia um tempo de computação proibitivo para a maioria das salas. Os motivos para isso eram: o aumento exponencial do número de fontes virtuais a serem encontradas, em função do número de paredes e do tempo de reverberação; e o custo computacional do teste de “visibilidade” dessas imagens.

Para resolver essa questão, Vorländer publicou, em 1989, uma ideia desenvolvida em seu doutorado que evitava o teste de visibilidade em sua forma tradicional [6]. As fontes virtuais “visíveis” a um determinado receptor poderiam ser encontradas facilmente (e mais rapidamente) a partir de uma simulação feita por meio do método do traçado de raios.

Um outro método, também adequado para salas acusticamente grandes, foi adaptado da área de transferência de calor e é conhecido como método da radiosidade. Lewers apresentou seu algoritmo em 1993, combinado com uma variação do método do traçado de raios, chamado de método dos feixes de raios (*beam tracing*) [7].

Muitas variações surgiram a partir dessas e podem ser conferidas no artigo de revisão de Savioja e Svensson, de 2015 [8]. A Figura 2 (a) sintetiza os principais métodos utilizados a partir da geometria, ao lado esquerdo. A separação entre estocásticos e determinísticos é ilustrativa das implementações mais frequentemente reportadas. Seria possível implementar o traçado de raios de forma determinística, por exemplo. No entanto, o mais comum é que haja um sorteio em relação às direções de propagação a partir da fonte sonora ou à direção de uma reflexão.

Encerrando o período de desenvolvimento dos métodos geométricos, observamos que, enquanto a possibilidade de realizar a auralização foi um tema importante na década de 1990, aproximadamente a partir de 2000, os grupos mais avançados começaram a implementar códigos que poderiam ser utilizados em sistemas de realidade virtual, capazes de atualizar a simulação e os resultados audíveis em tempo real.

No Brasil, um dos primeiros trabalhos foi realizado na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), sob a coordenação e orientação do Prof. Roberto Tenenbaum [9]. Esse grupo específico gerou um programa computacional eficiente que usa não apenas o traçado de raios, mas também o método da radiosidade, de forma híbrida, aproveitando as vantagens de cada método. Anos de desenvolvimento geraram, como “*spin-off*”, o programa comercializado com o nome de RAIOS (Seção 25).

Entre 2003 e 2006, um grupo da Universidade Estadual de Campinas implementou o método do traçado de raios, o método das fontes virtuais e um módulo para auralização, em cooperação com o projeto temático AcMus, financiado pela FAPESP e sediado na Escola de Comunicação e Artes da Universidade de São Paulo. O resultado pode ser conferido em um artigo publicado em 2007 [10].

A partir de 2014, o Prof. Júlio Torres, também na UFRJ, implementou métodos geométricos para simulação de salas com o objetivo de testar rotinas e modelos computacionais. Atualmente essa iniciativa é batizada sob o nome BRASS (Seção 25).

Mais recentemente, professores e pesquisadores da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) vêm desenvolvendo o programa de simulação chamado *Trem* (Seção 25), em alusão às origens de seu principal desenvolvedor, Prof. Eric Brandão. Vale observar que, com a recente estadia do Prof.

Tenenbaum na UFSM, esforços se somaram e deram origem ao desenvolvimento de programas de simulação baseados em métodos numéricos adequados também para salas "acusticamente pequenas", ou seja, frequências também abaixo daquela estimada pela formulação de Schroeder [11].

Além desses, outros grupos implementaram métodos para a simulação acústica de salas, como reportado pelo Prof. Aloísio Schmid, da Universidade Federal do Paraná [12] e em dissertações sob a orientação de professores da Universidade Federal de Uberlândia, como aquela de autoria de Henrique Gomes de Moura [13]. Essa última, defendida em 2005, implementou o método das guias de onda, também adequado para salas acusticamente pequenas.

Há, muito provavelmente, implementações que desconhecemos, até o momento da redação deste artigo, e seus autores são convidados a entrar em contato para que possamos divulgá-los. O Quadro 1 mostra uma relação de programas de simulação de diversas origens e baseados em diversos métodos, para que o leitor possa ter uma primeira orientação e, eventualmente experimente programas comerciais, por meio das suas versões demonstrativas, ou use aqueles gentilmente disponibilizados por seus criadores.

Confira a seguir entrevistas com os Professores Roberto Tenenbaum, Eric Brandão e Júlio Torres, nas quais nos dão mais detalhes sobre seus programas e contam sobre as motivações para seus respectivos desenvolvimentos.

Quadro 1: *Software* para simulação de acústica de salas (extraído de Fonseca [3] e citado por Brandão, Morgado e Fonseca [14]).

| | Nome | Tipo | Disponibilidade | Link |
|----|----------------------|---------------------------------|----------------------------|---|
| 1 | RAIOS | Geométrico + Radiosidade | Comercial |   |
| 2 | BRASS | Geométrico | Livre para pesquisa |   |
| 3 | Trem | Geométrico | Livre para pesquisa |   |
| 4 | Odeon | Geométrico | Comercial |   |
| 5 | COMSOL | Geométrico + BEM/FEM | Comercial |   |
| 6 | CATT-Acoustic | Geométrico | Comercial |   |
| 7 | Olive Tree Lab | Geométrico | Comercial |   |
| 8 | EASE | Geométrico | Comercial |   |
| 9 | Auratorium | Geométrico | Comercial |   |
| 10 | Ramsete | Geométrico | Comercial |   |
| 11 | ICARE | Geométrico + Radiosidade | Comercial |   |
| 12 | CadnaR | Geometric | Comercial |   |
| 13 | SoundPlan (interior) | Geometric | Comercial |   |
| 14 | RAVEN | Geométrico | Livre para pesquisa |   |
| 15 | RoomWeaver | Guia de onda | Nenhum |   |
| 16 | EAR | Geométrico | Livre |   |
| 17 | PachydermAcoustic | Geométrico | Livre |   |
| 18 | Parallel FDTD | Guia de onda | Livre |   |
| 19 | i-Simpa | Geométrico (expandível) | Livre |   |
| 20 | Wayverb | Geométrico + Guia de onda | Livre |   |
| 21 | Gypsilab | Geométrico + FEM | Livre |   |
| 22 | EVERTims | Geométrico | Livre |   |
| 23 | Amray | Geométrico | Livre |   |

Nota: o termo *auralização* significa *tornar audível*, podemos dizer que é um análogo à *visualização* (tornar visível). Essa palavra é empregada na língua portuguesa ao fazer-se um neologismo da palavra em inglês *auralization* — e ainda não consta no rol de *palavras oficiais* do português. Todavia, o prof. Tenenbaum costuma empregar *aurilização*, seguindo a lógica empregada nas palavras *auricular* (ou *biauricular*). Ainda, há outras propostas como *audibilização*, também empregada pelo prof. Julio Torres, nesse caso, busca-se uma aproximação com o significado de *tornar audível*. Caro leitor, embora não exista ainda uma *versão oficial*, essas três versões costumeiramente são tratadas como sinônimos.

2. RAIOS

O programa computacional de simulação de acústica de salas RAIOS — um acrônimo para *Room Acoustics Integrated and Optimized Software* ou, em tradução livre, programa integrado e otimizado de simulação acústica de salas — é um código computacional desenvolvido no ambiente acadêmico ao longo de várias décadas que evoluiu a ponto de despertar o interesse de diversos agentes na área de acústica no Brasil. O programa foi pensado de forma a tornar sua utilização fácil e prática para o projetista acústico de salas — normalmente um profissional sem conhecimentos de linguagens de programação ou de algoritmos de simulação — com a possibilidade de inserir modificações geométricas e/ou acústicas (materiais) e re-simular a sala quantas vezes necessário com facilidade.

Em sua atual versão, o RAIOS 7 apresenta uma interface gráfica com estrutura lógica bastante intuitiva. Os dados de entrada do programa são, essencialmente: a geometria da sala, que pode ser importada de arquivos .dxf (*Drawing eXchange Format*); informações diversas sobre fontes e receptores, incluindo suas direcionalidades; materiais que compõem as superfícies de contorno da sala, podendo ser atribuídos livremente coeficientes de absorção e espalhamento; e condições atmosféricas. Como saída, o programa fornece: as respostas impulsivas monoauriculares (RIRs) para cada par fonte-receptor; as curvas de decaimento por bandas de oitava entre 63 Hz e 16 kHz; 14 principais parâmetros de qualidade acústica, segundo a norma ISO 3382 [15–17], também filtrados por banda; as respostas impulsivas biauriculares (BRIRs) para cada par fonte-receptor (com a possibilidade de rotação da cabeça em relação ao torso); os principais parâmetros biauriculares da família das IACFs (*Inter-Aural Cross-Correlation Functions*); e gera a *aurilização* na posição dos receptores a partir de um sinal anecoico arbitrário escolhido. Além disso, possui recursos para editar pequenas modificações geométricas na sala e um utilíssimo módulo para editar sinais acústicos.

O programa RAIOS foi testado nas duas últimas intercomparações internacionais de programas de simulação de acústica de salas, conhecidas como *Round-Robins* (RRs): o RR3, que ocorreu em 2001–2002; e o RR4 que foi lançado em 2016. Esses resultados são discutidos adiante. Para informações adicionais, acesse a página do pesquisador em <https://ratenenbaum.wixsite.com/acustica> e/ou a página do representante comercial do programa RAIOS 7, a GROM Acústica & Vibrações, em <https://www.grom.com.br>. Publicações completas sobre o programa podem ser encontradas em <http://lattes.cnpq.br/1161317972489632>.

2.1 Prof. Roberto A. Tenenbaum (pequena biografia)

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1972), especialização em Metodologia do Ensino Superior pela Fundação Getúlio Vargas (1976), mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1975) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1987). Foi docente e pesquisador por mais de 30 anos do Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da COPPE, na Universidade Federal do Rio de Janeiro. Foi também Professor Associado da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, atuando no Departamento de Engenharia Mecânica e Energia e na Pós-Graduação em Modelagem Computacional do Instituto Politécnico (IPRJ), Campus Regional de Nova Friburgo, RJ, por mais de 12 anos. Atua na área de Dinâmica, Acústica e Vibrações. Tem seis livros publicados na área de Dinâmica, sendo dois no exterior, e dois livros publicados na área de acústica, além de mais de 250 artigos científicos publicados. É membro emérito e fundador da Associação Brasileira de Ciências Mecânicas (ABCM) e membro fundador da Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac), além de membro da Acoustical Society of America (ASA). É bolsista de produtividade em pesquisa do CNPq desde 1990 e foi Procientista da UERJ entre 2006 e 2018. Foi, por três mandatos, membro da Comissão de Pós-Graduação em Modelagem Computacional do IPRJ. Foi o criador e coordenador do Laboratório de Instrumentação em Dinâmica,

Acústica e Vibrações (LIDAV), também do IPRJ, de 2007 até 2018. Atualmente é Professor Visitante Permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Suas principais linhas de pesquisa atuais são: vibroacústica e identificação de fontes sonoras; realidade virtual acústica e modelagem de funções de transferência relativas à cabeça humana; aurilização de salas e realidade virtual acústica; simulação numérica de campo acústico em salas; qualidade acústica de salas de aula; avaliação acústica de salas de concerto; identificação de dano estrutural a partir de ensaios de propagação de ondas acústicas e de vibrações; e problemas inversos em dinâmica, acústica e vibrações.

2.2 Entrevista com o criador do RAIOS

Nesta seção temos uma pequena entrevista com perguntas e respostas com o Professor Roberto A. Tenenbaum.

1. Como foi a motivação para começar o projeto e o nascimento do programa?

No início da década de 1990, os programas de simulação em acústica de salas estavam começando a despontar. Do então Grupo de Acústica e Vibrações atuando no Programa de Engenharia Mecânica da COPPE, UFRJ, o colega Jules Slama e eu tínhamos particular interesse em acústica de salas e surgiu, na ocasião, um estudante de mestrado que se interessou pelo tema e gostava de programação. Daí resultou a primeira versão do programa RAIOS, objeto de uma dissertação de mestrado [9]. Essa primeira versão, ainda bem rudimentar, calculava exclusivamente o campo sonoro em regime permanente em um recinto. Com o meu contínuo interesse em estudar acústica de salas, orientei individualmente outros trabalhos de pesquisa envolvendo simulação. Todavia, somente em 2003, uma excelente dissertação de mestrado resultou na Versão 3 do programa RAIOS [18]. Essa versão já incorporava o método das *matrizes de transição* [19] — também conhecido como *método da radiosidade* — que foi desenvolvido por nós em uma profícua colaboração internacional com pesquisadores do Instituto Superior Técnico de Lisboa [20], visando incorporar o cálculo das reflexões difusas. O programa RAIOS 3 participou do *Round-Robin 3* (RR3) [21, 22] alcançando excelentes resultados comparativos aos demais programas de simulação participantes, como reportado em Tenenbaum *et al.* [23].

Posteriormente, outros trabalhos de mestrado [24] e doutorado [25–27] deram continuidade ao desenvolvimento do programa RAIOS. A pesquisa concentrou-se, nessa fase, na simulação das respostas impulsivas biauriculares (BRIRs), que trazem desafios bastante interessantes. Ao final de 2018, o desenvolvimento do programa chegou à sua Versão 7, que incorpora uma técnica original de inteligência artificial — única entre os *software* de simulação de acústica de salas de que tenho conhecimento — que modela as HRIRs/HRTFs de modo que as computacionalmente custosas operações de convolução entre as HRIRs e os raios acústicos que atingem o receptor são contornadas [28], resultando em uma redução de tempo de cálculo das BRIRs de cerca de 90%, ou seja, estas são calculadas em cerca de um décimo do tempo despendido no método clássico das convoluções [29]. O programa RAIOS 7 participou ativamente do *Round-Robin 4* (RR4), o primeiro que envolveu respostas impulsivas mono e biauriculares. Os dados de entrada para os simuladores estão disponíveis em Aspöck *et al.* [30]. O número de salas, configurações destas, fontes sonoras direcionais e receptores dão uma ideia do grande esforço empreendido pelos participantes nas simulações. A principal publicação relativa ao RR4 é [31] e os resultados obtidos pelo programa RAIOS 7 no certame estão reportados em Melo *et al.* [32] e Carneiro *et al.* [33].

2. Como foi a decisão sobre os métodos empregados?

De início, a opção pelo método de traçado de raios se apresentou como natural, por sua simplicidade e eficiência. Ao considerar a possibilidade de agregar o método das fontes virtuais, verificou-se que haveria um incremento significativo do custo computacional — e, conseqüentemente, de tempo de cálculo — e a opção de hibridização entre esses dois métodos foi abandonada. Em seguida, convencidos da importância de simular a difusão em salas [34], passou-se a estudar a melhor forma de levar em conta o fenômeno de espalhamento. Chegou-se, então, ao método da radiosidade — basicamente, o mesmo utilizado classicamente em problemas de condução de calor [35] — que foi implementado com sucesso a partir de matrizes de transição, como mencionado. O que se observa é que, efetivamente, as respostas impulsivas obtidas ficam como que mais “preenchidas” dando uma impressão mais realística, principalmente nas aurilizações.

Contudo, ainda restava uma questão importante para ser resolvida. O cálculo das RIRs, utilizando o método híbrido acima descrito, é executado em tempos de cálculo considerados como razoáveis, variando, naturalmente, com a complexidade geométrica da sala. Mas o cálculo das BRIRs — que são obtidas *após* a propagação na sala ter sido simulada, fazendo-se a convolução entre as HRIRs e os raios acústicos que chegam a cada receptor —, mostrou-se bastante demorado, principalmente se há um número significativo de receptores biauriculares na sala. Investigou-se, então, a possibilidade de modelar o banco de dados das HRIRs por meio de inteligência artificial, o que resultou na Versão 7 do programa RAIOS, com a significativa redução do tempo de cálculo das BRIRs, como já mencionado.

3. Em que etapa de evolução o *software* se encontra? E quais os planos futuros?

Como objeto de pesquisa em acústica de salas, o programa de simulação RAIOS constitui um desafio permanente. Tendo sido desenvolvido inicialmente no âmbito do PEM, COPPE, UFRJ e, posteriormente, no LIDAV, Instituto Politécnico, UERJ, atualmente é desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSM. Todavia, como toda a programação é feita na linguagem C++, há necessidade de haver estudantes de mestrado ou doutorado que dominem a linguagem — além de, naturalmente, terem boas noções de acústica de salas. Por essa razão, o desenvolvimento tem sido feito, por assim dizer, “aos soluços”.

Atualmente, temos dado atenção a duas vertentes de desenvolvimento do programa. A primeira diz respeito ao estudo dos fenômenos de baixa frequência. Abaixo da frequência de corte de uma sala, os métodos de acústica geométrica [8] sabidamente não funcionam bem, o que é crucial em salas de pequeno porte. Atualmente, em cooperação com o Prof. Eric Brandão, da UFSM, venho desenvolvendo uma metodologia para realizar simulação em baixa frequência via método dos elementos de contorno (BEM), que tem apresentado bons resultados, levando a uma dissertação de mestrado [36] e duas publicações internacionais [11, 37]. O próximo passo, nessa vertente, é incorporar o modelo modal já desenvolvido ao código computacional RAIOS, possivelmente gerando uma Versão 8 do programa. A segunda vertente diz respeito à utilização de técnicas de inteligência artificial para produzir *aurilização dinâmica*, ou seja, para gerar aurilização com o receptor biauricular em movimento no interior de uma sala. Essa pesquisa está atualmente em desenvolvimento a partir de uma colaboração internacional envolvendo a UFSM e a Escuela Politécnica Nacional, Equador, onde um doutorando em Engenharia da Computação está sendo coorientado por mim e pelo Prof. José F. L. Naranjo. Um primeiro resultado parcial foi publicado no final do ano passado [38].

As discrepâncias ainda encontradas após quatro intercomparações internacionais (RRs) entre os valores simulados pelos diversos programas e os dados medidos parecem indicar que, por um lado, os algoritmos ainda necessitam de aperfeiçoamentos e, por outro, ainda há muita incerteza nos dados de entrada nos programas (basicamente, coeficientes de absorção e de espalhamento),

principalmente em baixa frequência, e que as técnicas de medição *in loco* desses coeficientes também necessitam ser melhor investigadas.

4. O *software* é comercial? É aberto ou aberto para pesquisa?
Quais são os desafios para atrair usuários?

Quando o programa RAIOS estava ainda em sua Versão 6, a empresa GROM Acústica & Vibrações mostrou-se interessada em comercializar o *software*. A razão principal, creio eu, foi o fato de o programa possuir uma excelente interface gráfica e uma lógica de operação muito simples e ser bastante estável, além, naturalmente, de ter apresentado excelentes resultados comparativos no RR3, como já mencionado. A GROM, portanto, é o distribuidor exclusivo do *software* RAIOS. A ideia básica foi poder oferecer à comunidade dos acústicos do Brasil um programa intuitivo, de fácil utilização, boa estabilidade, confiável e, principalmente, de baixo custo. Para se ter uma ideia comparativa, o custo de comercialização de uma licença do RAIOS 7, é cerca de 12% do preço de uma licença de um *software* correspondente (Auditorium) do fabricante mais famoso, no câmbio atual.

O programa sempre foi aberto para os estudantes da universidade onde este pesquisador está atuando. Assim foi na UFRJ e na UERJ e, atualmente, o programa está disponível para uso dos alunos da Graduação em Engenharia Acústica (EAC) e dos mestrandos e doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFSM, onde atuo. Diversos desses alunos vêm utilizando o programa em suas pesquisas acadêmicas, o que fornece um importante retorno para seu contínuo desenvolvimento.

Além disso, o programa RAIOS 7 possui um *demo* disponível para qualquer interessado que o solicite (ver página do pesquisador em <https://ratenenbaum.wixsite.com/acustica>). Esse *demo* possui todas as funcionalidades do programa RAIOS 7 com a única restrição de que só pode rodar as (muitas) salas nele incluídas, inclusive salas dos RR3 e RR4. Isso permite que o usuário se habitue aos comandos do programa e, efetivamente, aprenda a utilizá-lo.

2.3 Funcionalidades do RAIOS

As funcionalidades do programa RAIOS 7 são inúmeras e seria impraticável apresentá-las todas aqui. Para bem compreendê-las e melhor dominá-las, minha sugestão ao interessado é testar diretamente o programa, utilizando para tal o seu *demo*. Todavia, tentaremos apresentar aqui um apanhado geral das principais ferramentas disponíveis no programa e suas funcionalidades. A Figura 3 apresenta a tela padrão do RAIOS 7 ao ser aberto no computador. Vê-se uma linha superior com a Barra de Menus e logo abaixo uma Barra de Ferramentas, utilizada na edição de modificações da sala. A janela central, em cinza mais escuro, é onde a sala a ser simulada é visualizada, mostrando o *logo* do programa ao centro. À direita, tem-se o campo de entrada de dados, descrito mais adiante, onde são inseridos os dados de fontes sonoras, receptores, superfícies de contorno e condições atmosféricas.

A Figura 4 mostra a Barra de Menus do programa. Esta contém os menus: *File*, onde salas podem ser abertas, fechadas ou salvas e resultados de simulação podem ser importados ou exportados; *Edit*, onde superfícies, fontes sonoras e receptores podem ser inseridos ou modificados; *View*, em que se pode escolher os tamanhos e disposição das janelas do programa; *Materials*, onde se pode acessar uma ampla lista de materiais de contorno, importar ou exportar materiais e editar valores de coeficientes de absorção ou espalhamento; *Monaural*, onde os resultados monauriculares de simulação são acessados; *Binaural*, com o qual se acessa o módulo de geração das respostas impulsivas binauriculares e o de produção de auralizações; *Tools*, onde se acessa o útil editor de sinais e os resultados dos parâmetros binauriculares; e, finalmente, *Help*, que dá acesso ao Manual do Usuário embarcado.

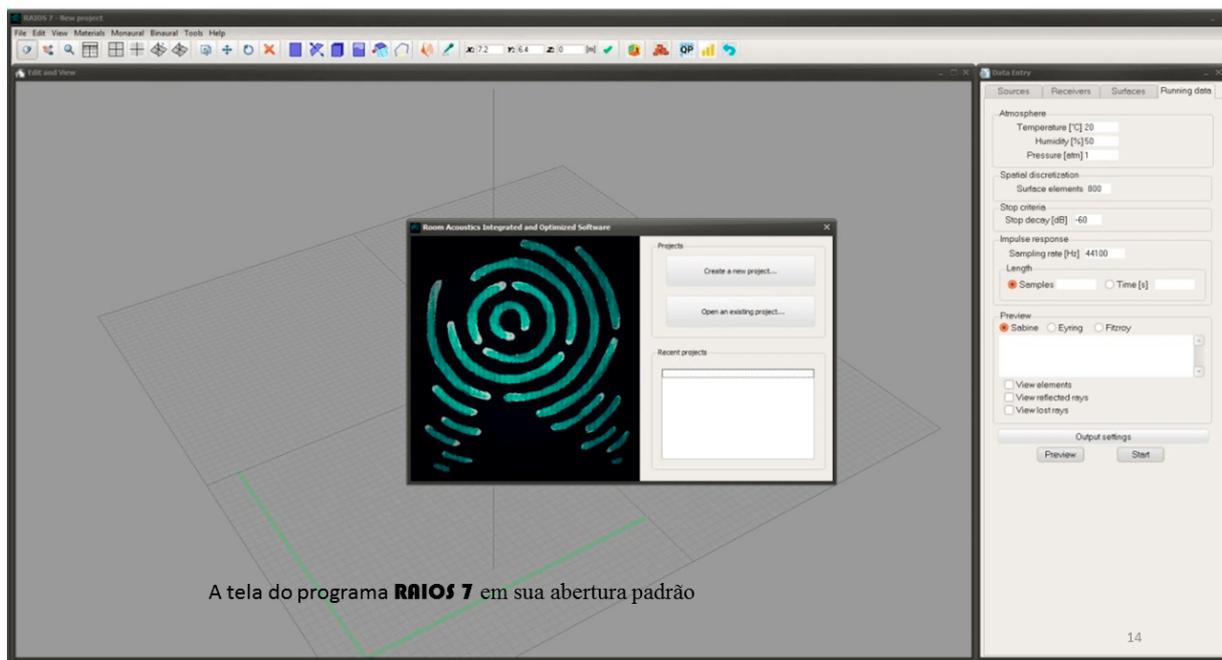


Figura 3: Tela padrão de abertura do programa RAIOS 7.

A BARRA DE MENUS (Os recursos do programa)

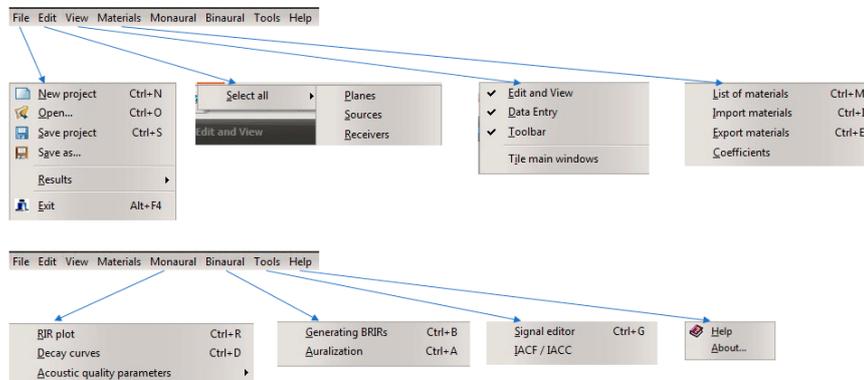


Figura 4: Barra de Menus do programa RAIOS 7.

O menu *Materials* está detalhado na Figura 5. A opção *List of materials* abre uma janela onde uma listagem com mais de mil materiais de acabamento de superfícies está disponível, com seus respectivos coeficientes de absorção e espalhamento, para seleção. A opção *Import materials* permite importar um material pré-editado. A opção *Export materials* permite exportar para a área de trabalho um material não constante da listagem de materiais e editar seus coeficientes de absorção e espalhamento.

A Figura 6 ilustra com algum detalhamento as opções do menu *Monoaural results*. A opção *RIR plot* abre a resposta impulsiva monoauricular para o par fonte-receptor selecionado. São visualizáveis, a RIR global (especular, difusa ou híbrida) ou filtrada por bandas de oitava (63–16 kHz). O botão *Listen* permite ouvir a RIR. A opção *Decay curves* abre a visualização das curvas de decaimento para o par fonte-receptor selecionado. As curvas de decaimento são também visualizadas em valores global e

por bandas de oitava, selecionáveis. Finalmente, a opção *Acoustic quality parameters* abre uma tabela com 14 parâmetros de qualidade acústica (T_{20} , T_{30} , EDT, C_{80} , D_{50} , entre outros), sempre em valores globais e por bandas de oitava. Os parâmetros podem ser visualizados também em forma gráfica, como ilustrado na figura, que mostra o gráfico de T_{30} nas nove bandas.

A BARRA DE MENUS (Detalhando – Materials)



Figura 5: Detalhe do menu *Materials*.

A BARRA DE MENUS (Detalhando – Monoaural results)

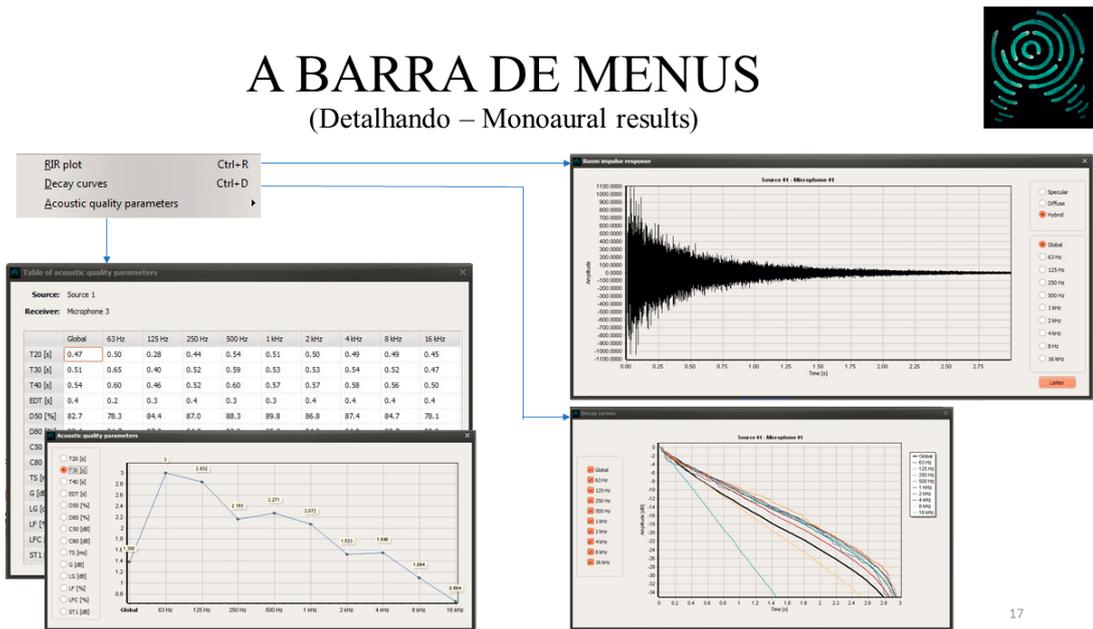


Figura 6: Detalhe do menu *Monoaural results*.

A Figura 7 apresenta, resumidamente, as opções que se abrem no menu *Binaural results*, em particular na opção *Generating BRIRs*. O módulo de geração de BRIRs oferece diversas alternativas. Primeiramente, carregam-se os raios acústicos previamente calculados para o par fonte-receptor selecionado. Marcando-se a opção *Load and view the rays*, abre-se a janela indicada na sub-figura superior direita, que indica a direção de chegada dos raios acústicos (especulares e difusos) que atingem o receptor.

O número de raios é indicado no quadro *Number of rays*. Em seguida, seleciona-se a orientação da cabeça sobre o torso (usualmente, essa rotação é nula e nada precisa ser alterado no quadro HATO [°]). Várias orientações podem ser selecionadas nesse quadro, lembrando que o tempo de cálculo será proporcional ao número de orientações indicadas. O quadro *Output* apresenta as opções de saída, indicando o arquivo e o nome do arquivo onde a BRIR será gravada, o tipo de arquivo de saída (.txt e/ou .wav), seu comprimento e tipo de cálculo.

A BARRA DE MENUS (Detalhando – Binaural results)



Figura 7: Detalhe do menu *Binaural results*.

A BARRA DE MENUS (Detalhando – Auralization)



Figura 8: Detalhe do menu *Auralization*.

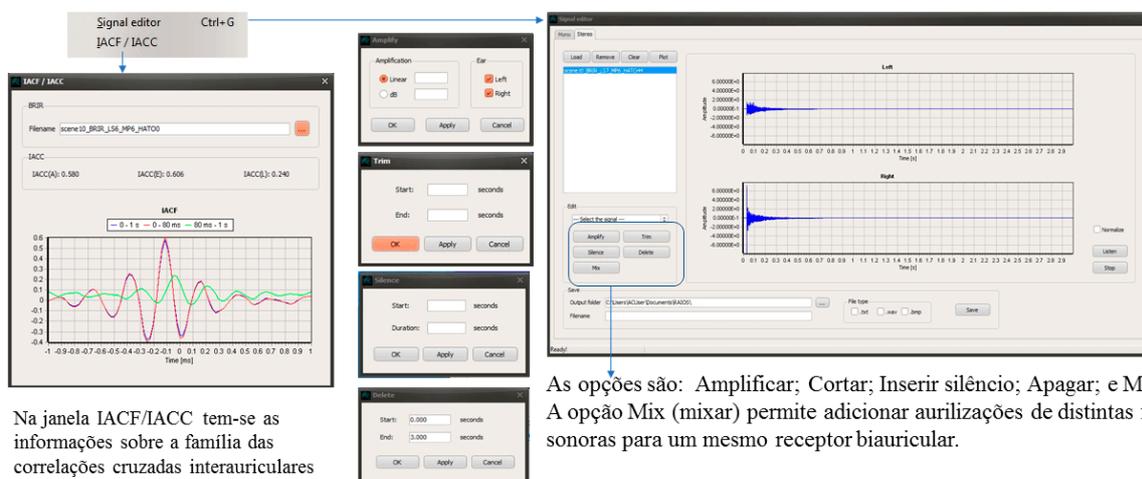
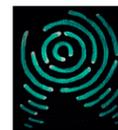
O botão *Run* dá início ao cálculo da(s) BRIR(s) e o andamento é indicado nas barras de evolução inferiores. Finalizado o cálculo, o botão *Plot* é habilitado e pode-se visualizar os gráficos da BRIR

(orelha esquerda em vermelho e direita em azul, na Figura 7) e ouvi-la, preferencialmente com uso de fones, premindo-se o botão *Listen*.

A Figura 8 ilustra a opção *Auralization*, dentro do menu *Binaural results*. A figura é auto-explicativa. Seleciona-se a BRIR e o sinal anecoico a serem utilizados, e roda-se sua convolução, obtendo-se a aurilização. A barra de evolução inferior atualiza o andamento do processo e o quadro *Output* indica onde é gravado o resultado.

A BARRA DE MENUS

(Detalhando – Tools)



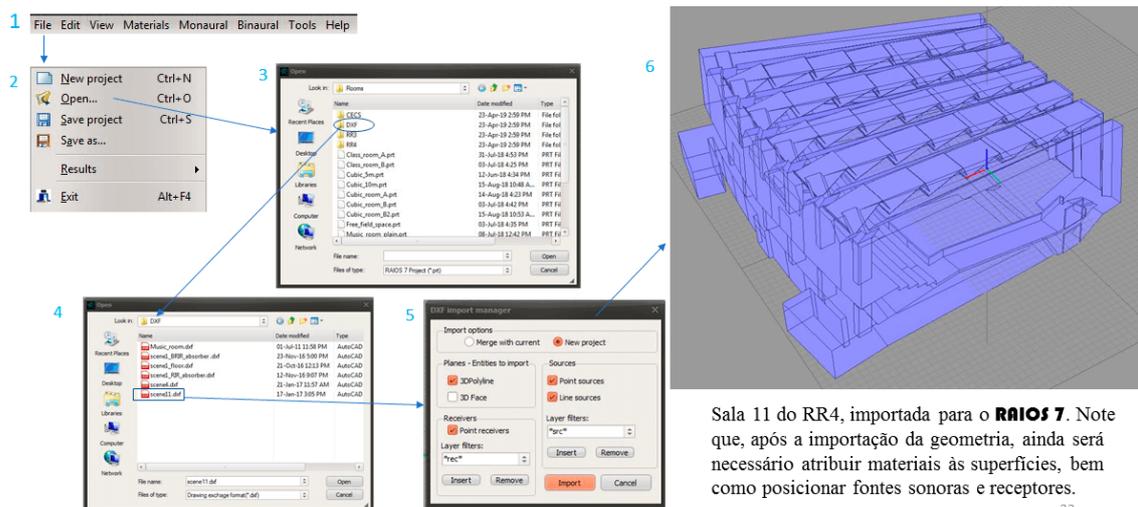
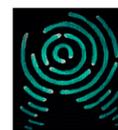
Na janela IACF/IACC tem-se as informações sobre a família das correlações cruzadas interauriculares

As opções são: Amplificar; Cortar; Inserir silêncio; Apagar; e Mixar. A opção Mix (mizar) permite adicionar aurilizações de distintas fontes sonoras para um mesmo receptor biauricular.

20

Figura 9: Detalhe do menu *Tools*.

IMPORTANDO UMA SALA EM DXF



Sala 11 do RR4, importada para o **RAIOS 7**. Note que, após a importação da geometria, ainda será necessário atribuir materiais às superfícies, bem como posicionar fontes sonoras e receptores.

32

Figura 10: Dentro do menu *File* importando uma sala em *.dxf*.

A Figura 9 mostra, no menu *Tools*, alguns recursos da opção *Signal editor* que, como indicado, permite:

amplificar; atenuar; cortar; inserir; apagar parte; e mixar diversos canais. A mixagem é extremamente útil, por exemplo, para avaliar subjetivamente o efeito simultâneo de várias fontes sonoras no interior de uma sala (ver exemplo sonoro na [página do pesquisador](#)).

A Figura 10 ilustra sumariamente o procedimento de importação de uma sala em arquivo .dxf para tornar-se um arquivo .prt (de PROjeTo), proprietário do RAIOS 7. No Menu *File*, seleciona-se a opção *Open*, em seguida a opção *DXF* e, finalmente, escolhe-se um dos arquivos .dxf disponíveis. Isso abrirá a janela *DXF import manager*, em que uma série de opções podem ser selecionadas. Na Figura 10, a Sala 11 do RR4 (a maior e mais complexa do certame) está sendo importada.

E como se faz para executar a simulação de uma sala no programa RAIOS 7? Bem, isso é feito na aba *Running data* dentro da janela *Data entry*, ilustrada na Figura 3. Nessa aba, introduzem-se os parâmetros necessários para a simulação (número de raios, decaimento etc.). Em seguida, aperta-se o botão *Preview* que faz uma prévia da simulação (com cerca de mil raios) para verificar se há algum erro grosseiro na sala (um plano invertido, por exemplo). No *Preview* é também executado o cálculo do volume e da área da superfície da sala, bem como os tempos de reverberação segundo as fórmulas estatísticas de Sabine, Eyring ou Fitzroy. Bem, agora é o momento de realizar a simulação numérica da sala completa, ou seja, utilizando-se o método híbrido do programa RAIOS 7. Aperta-se o botão *Run* e cinco etapas de simulação vão aparecendo na tela, sequencialmente, tal como ilustrado na Figura 11: 1. checagem da sala; 2. alocação de memória; 3. cálculo das reflexões especulares; 4. cálculo das reflexões difusas; e 5. cálculo das respostas impulsivas. Ao final da simulação, o tempo total de cálculo é apresentado.

RODANDO A SIMULAÇÃO

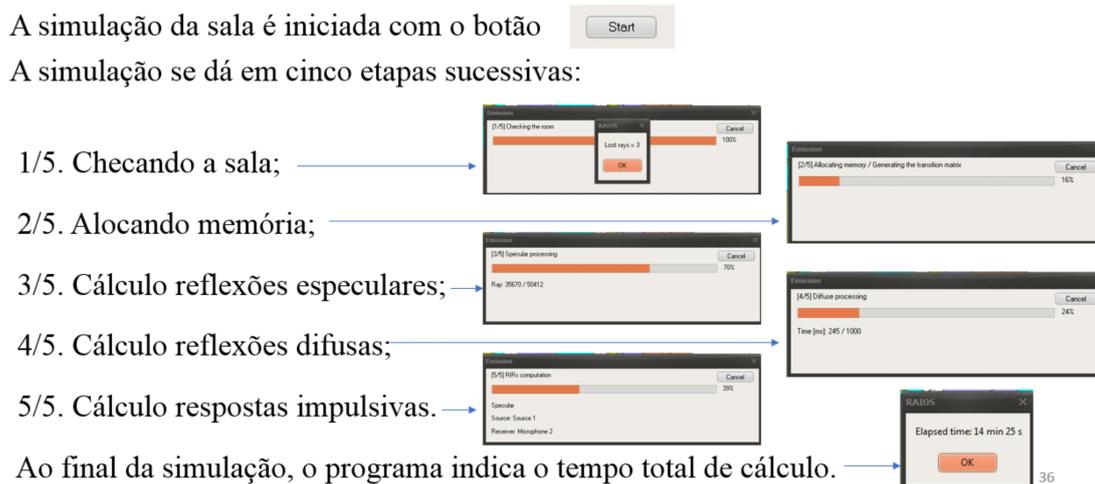
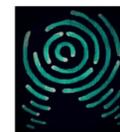


Figura 11: As diversas etapas da simulação.

Um brevíssimo apanhado geral de como opera o código computacional RAIOS 7 e suas principais funcionalidades foram aqui apresentadas. Contudo, como mencionado anteriormente, há um sem-número de detalhes que só o dia a dia da utilização do programa permitirá apreciar. Reitero, portanto, a sugestão de — em havendo real interesse do gentil leitor no programa — solicitar o *demo* na página do pesquisador, usando-o exaustivamente. Quem sabe você se apaixona pelo RAIOS 7?

3. BRASS

O *Brazilian Room Acoustic Simulator* (BRASS) é um programa totalmente desenvolvido na UFRJ pelo Prof. Julio Torres, desde 2014. O BRASS surgiu da necessidade de criar uma ferramenta capaz de produzir respostas impulsivas pelo método do traçado de raios, que fosse independente de uma interface gráfica de programação, para testes de métodos e de implementações.

Atualmente, o BRASS 2.0 é distribuído em duas versões: com e sem interface gráfica. O programa participou da intercomparação internacional mais recente de simulação acústica, o *Round Robin 4*, obtendo resultados muito próximos aos dos demais simuladores — inclusive dos comerciais, que já estão em desenvolvimento há mais de 20 anos — e com diferenças pouco significativas entre os valores obtidos por simulação e por medição.

O BRASS ainda não está sendo comercializado, mas pode ser utilizado gratuitamente por pesquisadores de universidades públicas e privadas, sob demanda. No site www.lisa.poli.ufrj.br/brass é possível baixar a versão de demonstração, que possui apenas restrições na quantidade máxima de planos, fontes e receptores simultâneos, juntamente com o manual de utilização. Maiores detalhes sobre a implementação podem ser obtidos em Torres *et al.* [39, 40].

3.1 Prof. Julio Torres (pequena biografia)

Mestre e doutor em Engenharia Elétrica pela COPPE/UFRJ nos anos 1998 e 2004, respectivamente, ingressou como docente na UFRJ em 2004 e atualmente é Professor Titular, lotado na Escola Politécnica. É também docente do corpo permanente dos Programas de Engenharia Elétrica da COPPE/UFRJ e de Engenharia Urbana da Escola Politécnica. Em 2014, realizou estágio de pós-doutorado no tema de simulação acústica, no Instituto de Acústica Técnica da Universidade RWTH-Aachen, quando iniciou o desenvolvimento do BRASS. Atua nas áreas de acústica, processamento de sinais, desenho e CAD e desenvolve projetos em acústica e sonorização de ambientes, além de coordenar pesquisa em sistemas de realidade virtual acústica, com enfoque em processamento digital de sinais, audibilização, simulação acústica de salas, de ambientes urbanos e da poluição sonora.

3.2 Entrevista com o criador do BRASS

Nesta seção temos uma pequena entrevista com perguntas e respostas com o professor Julio Torres.

1. Como foi a motivação para começar o projeto e o nascimento do programa?

Em experiência prévia no desenvolvimento de módulos de outro simulador, verificou-se que o uso de ambientes para construção de janelas, com botões, caixas de texto e gráficos, por exemplo, dificultava a atualização dos modelos internos, além de criar dependência de licenças e até descontinuidade das interfaces, obrigando muitas vezes a remodelagem do programa, pois partes das variáveis eram componentes dos sistemas de janelas, como, por exemplo, o conteúdo de uma caixa de texto ser o valor de um coeficiente de absorção. Assim, optou-se por desenvolver um simulador cuja entrada e saída de dados e resultados se dessem somente por arquivos em formato texto.

O principal motivador para a criação do BRASS foi desvincular o núcleo central, que implementa o(s) método(s) de simulação, da interface de entrada de dados e de apresentação de resultados. Esse tipo de abordagem de programação permite que, com a mesma interface de apresentação de resultados, diversos métodos possam ser desenvolvidos, testados e sobrepostos, pois os principais “produtos” da simulação são, em geral, respostas impulsivas, das quais se obtém os parâmetros acústicos e a audibilização. Por outro lado, com o mesmo núcleo de simulação, diversas interfaces podem ser desenvolvidas, acompanhando a evolução das ferramentas de

visualização e de processamento de áudio.

O BRASS foi inicialmente desenvolvido sem interface gráfica, de forma que os dados de entrada e de saída são armazenados em arquivos de texto, com uma estrutura em tópicos bastante simples. Dessa forma, qualquer desenvolvedor pode elaborar uma interface em Python ou Matlab, por exemplo, que armazene os dados necessários à simulação em um arquivo com o formato específico do BRASS, executar separadamente o núcleo principal de simulação (através de bibliotecas de *link* dinâmico ou do próprio executável) e, em seguida, apresentar graficamente os resultados que o BRASS gera, também em formato texto. Isso traz bastante versatilidade ao *software* que pode sempre ser atualizado de forma independente, seja no método ou na interface.

Outro aspecto que motivou a adoção de um núcleo separado da interface foi evitar a (re)criação de módulo de edição de superfícies. Como todos os métodos acústicos requerem uma modelagem geométrica das superfícies, não faz sentido desenvolver ou “competir” com programas extremamente avançados de modelagem 3D existentes no mercado.

Após disponibilizar a versão sem interface para pesquisadores, houve a necessidade de criação de uma interface gráfica “mínima” para atender aos usuários que não estão familiarizados com ambientes de programação. Desenvolveu-se então a versão com interface gráfica, que tem evoluído constantemente em função das demandas dos alunos que vêm utilizando o simulador e dos problemas e dificuldades apontados.

2. Como foi a decisão sobre os métodos empregados?

Dentre os diversos métodos, o BRASS utiliza somente o traçado de raios, como mostrado na Figura 12. A opção por esse método deu-se pela facilidade de execução do método e pela possibilidade de aproveitamento do “lançamento” dos raios para outros métodos que podem ser executados em paralelo ou a posteriori, tais como o de radiosidade, o método de difusão e de espalhamento proposto por Dalenback [41] ou mesmo um método modal que estamos desenvolvendo. Métodos de imagens possuem uma limitação muito severa de uso de memória, o que limita a estimativa da parte reverberante das respostas das salas.

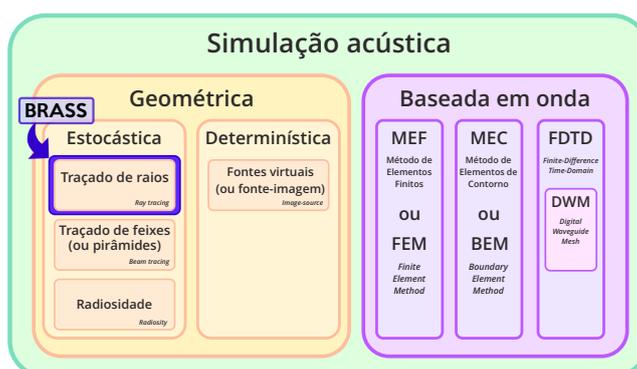


Figura 12: Método utilizado no BRASS.

3. Em que etapa de evolução o *software* se encontra? E quais os planos futuros?

Atualmente, o programa possui um pacote de instalação com dois executáveis: uma versão puramente em linha de comando (*prompt* do Windows) e outra com uma interface de usuário (GUI), desenvolvida, principalmente, para atender a uma demanda dos alunos do curso de arquitetura que têm utilizado o BRASS em suas pesquisas. Porém, mesmo na versão por linha de comando, a visualização do modelo é possível, em que há uma opção para apresentar o modelo. Está em desenvolvimento uma *interface web* que permitirá aos projetistas acessarem um site, com um *login/senha*, fazer a transferência de um arquivo de CAD, em formato DXF, com seu

projeto, já incluindo superfícies, fontes e receptores. Na interface serão vinculadas propriedades acústicas, tais como absorção, difusão ou direcionalidade no caso de fontes e receptores. O núcleo de propagação será então executado no próprio servidor da UFRJ e os dados estarão posteriormente disponíveis para o cliente do site, sejam tabelas ou arquivos de áudio.

4. O *software* é comercial? É aberto ou aberto para pesquisa?
Quais são os desafios para atrair usuários?

O *software* completo atualmente está disponível gratuitamente, em formato de DLLs ou executável, apenas para pesquisadores. Existe uma versão de demonstração para usuários em geral. A versão demonstrativa possui restrições quanto ao número máximo de planos de um modelo, número de fontes e receptores simultâneos. Não creio que o problema seja atrair os clientes, mas sim criar uma estrutura de manutenção e desenvolvimento do *software* que garanta uma excelente “usabilidade”, capaz de prever problemas nos modelos que os usuários elaboram e que possam causar resultados não previstos ou *bugs*. Acredito que um programa de custo médio ou por assinatura e de fácil manuseio seja o caminho para que arquitetos, engenheiros e entusiastas busquem cada vez mais esse tipo de simulador.

3.3 Funcionalidades do BRASS

As etapas comumente seguidas para se obter a simulação acústica de um recinto, na maioria dos simuladores, consistem em: (1) elaborar o modelo geométrico; (2) importar o modelo e associar propriedades acústicas aos elementos geométricos; (3) definir os parâmetros do(s) método(s) e (4) analisar e apresentar os resultados. Todas as configurações do projeto são armazenadas em um único arquivo em formato texto, que pode ser alterado com um editor de texto simples. A Figura 13 apresenta a tela principal da versão com interface gráfica. No lado esquerdo tem-se as abas de controle e de configuração, enquanto, à direita, tem-se as abas de apresentação de resultados e de visualização do modelo. No BRASS não é possível editar as superfícies do modelo geométrico. É possível somente

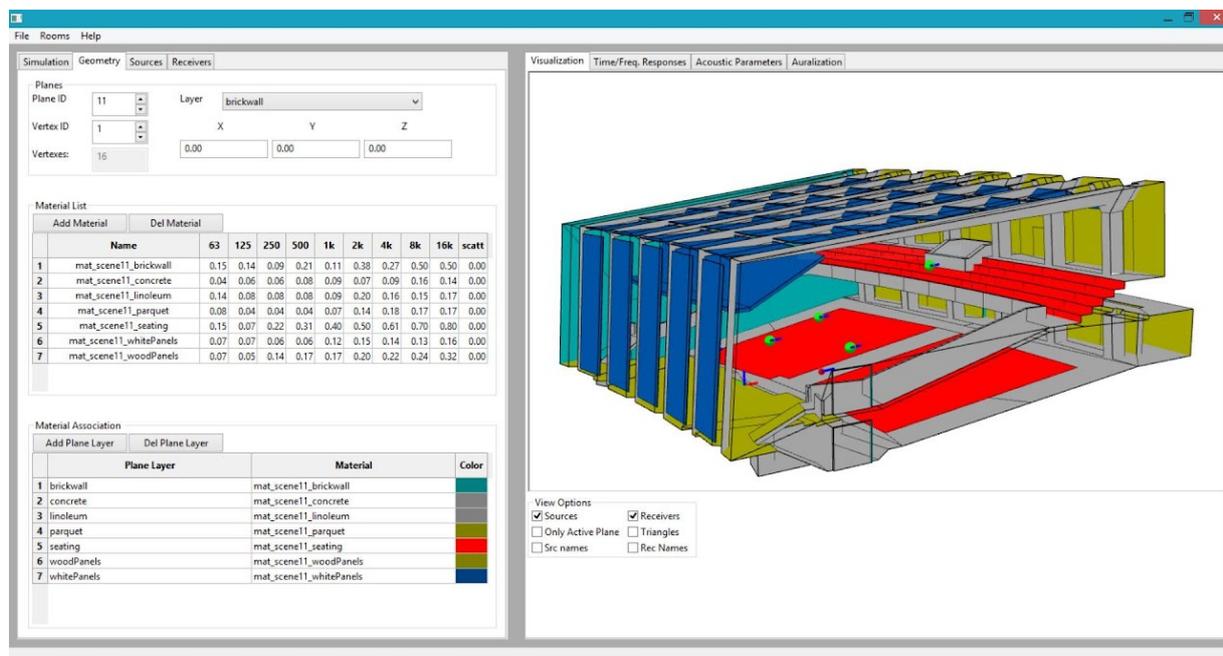


Figura 13: Tela principal do BRASS.

alterar a camada à qual pertence o plano ou o material associado às camadas. Toda a edição na geometria deve ser realizada em *software* de CAD capaz de exportar o modelo em formato DXF. O

BRASS importa planos, receptores e fontes do arquivo DXF, conforme as camadas e os tipos de objetos. A Figura 14 apresenta a tela de importação, após a seleção do arquivo DXF. Na parte central são apresentadas todas as camadas contidas no arquivo DXF e a opção do usuário para separar os elementos das camadas em fontes, receptores e planos. Somente objetos CAD do tipo POINT são reconhecidos como fontes e receptores, demais objetos são ignorados nessa importação. Os objetos reconhecidos pelo BRASS para importar superfícies planas são: 3DPOLYLINE, 3DFACE e 3DPOLYFACEMESH, o que flexibiliza a modelagem. É possível fazer a importação para um projeto já existente, ou seja, que já inclua elementos ou criar um novo projeto.



Figura 14: Tela de importação do BRASS.

Caso o usuário não tenha familiaridade com programas de CAD e deseje fazer simulações de salas com geometrias simplificadas, o BRASS possui um módulo de criação de salas, conforme mostrado na Figura 15, que é acessado no menu superior “Rooms -> Standard Rooms”. Variando as dimensões indicadas, é possível criar diversas combinações de formas. Ao definir o modelo geométrico, os planos são criados e separados em três grupos de *layers*, apenas para facilitar a posterior organização dos materiais.

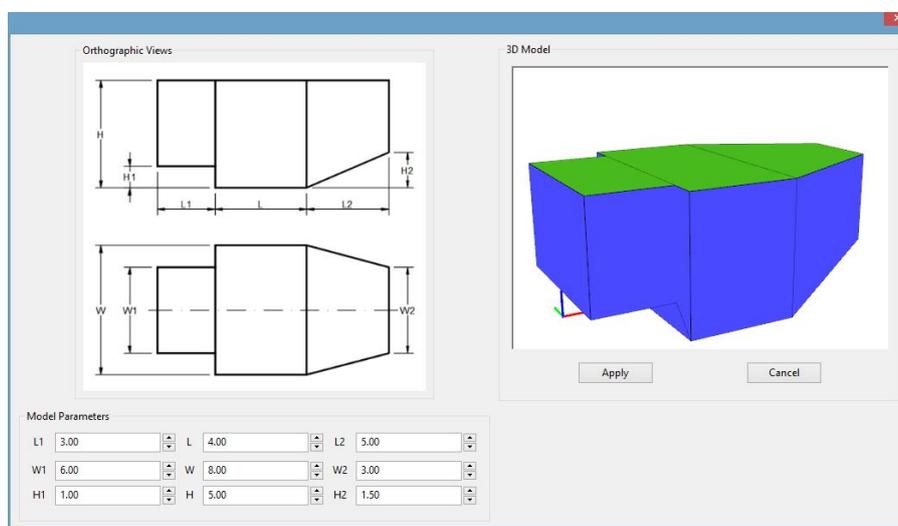


Figura 15: Tela de criação de salas.

Como alternativa à construção do modelo geométrico de forma visual, também é possível entrar com as informações dos planos em formato de texto. Essa opção é útil para pesquisadores e para testes que requerem muitas repetições e/ou criação de muitos modelos, que variem, por exemplo, o comprimento da sala ou que desejem avaliar diferentes opções de materiais, posições de fontes etc. Dessa forma, a entrada de dados dos planos pode ser feita por programação em qualquer linguagem capaz de gerar arquivos texto.

Após a etapa de importação, o usuário pode criar ou alterar camadas e materiais, editando as respectivas tabelas, conforme mostrado na Figura 16. O usuário define então o coeficiente de absorção por banda de oitava e um coeficiente de espalhamento global (aplicado a todas as bandas) para cada material e o associa a uma ou mais camadas. É importante que o projetista, na fase de elaboração do modelo, já separe as superfícies de acordo com seu propósito ou material, para facilitar a posterior associação dos materiais. Na parte da direita é possível visualizar individualmente os planos para conferir detalhes do modelo.

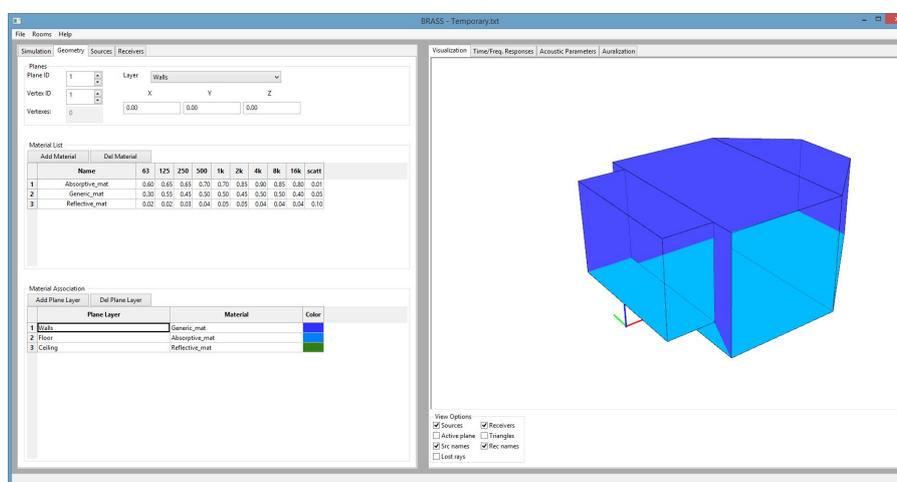


Figura 16: Área de configuração dos planos, camadas e materiais.

Nas abas de fontes e receptores, o usuário pode inserir camadas, que funcionam como “tipos”. Para cada camada é associada uma direcionalidade. A lógica é a mesma para fontes e receptores. É possível, por exemplo, criar uma camada ou tipo de fonte “caixa acústica modelo X” e associar um arquivo no formato OpenDAFF [42] com a medição acústica da referida caixa. Alternativamente, pode-se criar um receptor do tipo “microfone” e associar a ele um padrão onidirecional de captação. No BRASS estão disponíveis os seguintes padrões de direcionalidade: onidirecional, cardióide, supercardióide, hipercardióide e “figura em oito”. Primeiro é necessário criar, no mínimo, uma camada de receptores e de fontes, para então inserí-los. Cada fonte ou receptor pertencerá a uma respectiva camada. No projeto de um cinema, por exemplo, é possível criar uma camada de fontes do tipo “caixas surround” e inserir diversas dessas fontes, que possuem o mesmo padrão de direcionalidade. Caso o projetista deseje alterar o modelo de caixa acústica a ser usado, basta alterá-lo na camada, que todas as fontes dessa camada ficarão automaticamente associadas ao novo padrão de direcionalidade. O posicionamento dos elementos é feito ajustando os valores nas tabelas. Ainda não é possível selecionar com mouse e mover os objetos no modelo geométrico.

Definidos os principais componentes do modelo acústico (planos, fontes e receptores) é necessário configurar os parâmetros da simulação. Além de temperatura, umidade e pressão, pode-se definir a taxa de amostragem, o tempo de duração das respostas ao impulso, o número de raios das fontes, o número máximo de reflexões e a energia mínima relativa de um raio para continuar propagando. São os chamados “critérios de parada” do algoritmo de traçado de raios. A versão atual do BRASS (2.0)

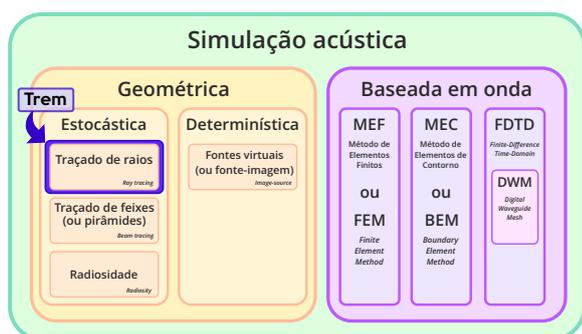
executa somente o traçado de raios, incluindo espalhamento, ou seja, a cada reflexão de um raio, parte de sua energia é transmitida diretamente para os receptores “visíveis” de acordo com o fator de espalhamento da superfície. Para executar essa parte de difusão do som, é necessário marcar a opção “*Diffuse Processing*”, que aumenta consideravelmente o tempo de simulação. Existe também a opção de simular a cauda reverberante em vez de obtê-la puramente pelo traçado de raios. Nesse caso, é feita uma estimativa do decaimento utilizando 10% do número de raios de cada fonte e a cauda é preenchida com um ruído filtrado por bandas. Nesse modo, todos os raios da fonte são lançados, mas somente 10% deles seguem refletindo até que algum critério de parada seja atendido. A propagação dos demais 90% é interrompida quando a distância percorrida pelo raio é superior àquela em que o receptor tem probabilidade de capturar apenas um ou nenhum raio. Isso ocorre nos primeiros milissegundos após o som direto e depende do número de raios lançados pela fonte e do raio de ação do receptor. Durante a simulação, os dados sobre cada raio que atinge o(s) receptor(es) são armazenados em arquivos texto e ficam disponíveis para o usuário. Para cada raio são armazenados: a direção em que este atingiu o receptor, a energia por banda de oitava, o número de reflexões e a direção na qual foi lançado pela fonte. Assim, pesquisadores podem analisar e visualizar os resultados conforme a necessidade. Há opção para armazenar todos os raios refletidos (não somente aqueles capturados pelos receptores), permitindo calcular a resposta ao impulso em qualquer posição da sala, desde que a posição da fonte não seja modificada. Essa bordagem permite armazenar “o campo de raios” e realizar o processamento necessário para movimentar e/ou rotacionar os receptores pelo ambiente. Esse módulo de movimentação e audibilização ainda não está implementado, porém os dados ficam disponíveis para os que desejarem desenvolver.

Por último, é possível habilitar ou desabilitar o processo de audibilização, com fontes e receptores estáticos. Caso seja ativado, as respostas ao impulso de cada par fonte-receptor serão convoluídas com arquivos de áudio em formato exclusivamente WAV. Ficam disponíveis novos arquivos de áudio para cada par e também o somatório das fontes para cada receptor, considerando as potências das fontes. Contudo, cabe ressaltar que se os arquivos de áudio, preferencialmente anecoicos, possuem níveis diferentes, isso alterará a energia total (potência da fonte + energia do sinal), podendo levar a percepções erradas entre as potências das fontes combinadas. Conforme o tipo de arquivo ou padrão de direcionalidade de cada receptor, os arquivos de áudio são gerados com o mesmo número de canais. Assim, se a direcionalidade de um receptor for definida por meio de medições de funções de transferência relativas à cabeça, por exemplo, o áudio para esse receptor será gerado em 2 canais. No caso de um microfone, o áudio será monoauricular. Da mesma forma, um arranjo de microfones pode ser simulado, gerando tantos canais quantos microfones forem configurados no arquivo de direcionalidade (DAFF).

Como resultados, além das informações sobre o traçado de raios, são produzidas tabelas em formato texto para cada par fonte-receptor, contendo os principais parâmetros de qualidade acústica: T_{60} , T_{30} , T_{20} , C_{80} , D_{50} , EDT, Tempo central, Nível de pressão sonora (NPS) por bandas (global e ponderado em A) e o NPS do som direto. Na janela de visualização podem ser apresentadas as respostas ao impulso em escala linear, em Pascal, ou em escala logarítmica, as curvas de decaimento e o módulo da resposta em frequência de cada par fonte-receptor.

4. Trem

O Trem é um algoritmo baseado em traçado de raios clássico (veja a Figura 17 (a)), com algumas melhorias. Ele integra as linguagens Python e C++. A parte em Python é usada como interface com os dados de entrada e saída. A parte em C++ é responsável pela computação mais pesada do método de traçado de raios. Além disso, a linguagem Python pode ser usada para construir uma interface 3D com o *software* Blender. A Figura 17 (b) apresenta uma animação de traçado de partículas (3D *billiard*) como exemplo² — exportar esse tipo de animação ainda não é uma funcionalidade padrão do Trem.



(a)

(b)

Figura 17: (a) Método utilizado no Trem; e (b) Exemplo de traçado de partículas (3D *billiard*).

4.1 Prof. Eric Brandão (pequena biografia)

Graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (Unifei, Itajubá, MG). cursou o mestrado e doutorado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) na área de vibrações e acústica. Atualmente é professor do curso de graduação em Engenharia Acústica (EAC) e do Programa de Pós-Graduação em Eng. Civil (PPGEC) da UFSM. As disciplinas lecionadas são acústica de salas, processamento de sinais e eletroacústica. Sua pesquisa é dedicada a duas linhas principais: a medição *in-situ* das características de absorção e espalhamento de materiais acústicos e a acústica computacional. Na medição *in-situ* da absorção e espalhamento sonoros várias técnicas podem ser usadas, incluindo os arranjos de sensores, técnicas de regularização e aprendizado de máquina. Na acústica computacional, o trabalho de pesquisa foca no desenvolvimento de plataformas *open-source* para a simulação em acústica de salas.

4.2 Entrevista com o criador do Trem

Nesta seção temos uma pequena entrevista com perguntas e respostas com o professor Eric Brandão.

²Utilize o Acrobat PDF Reader para poder ver a animação clicando no botão de play abaixo dela.

1. Como foi a motivação para começar o projeto e o nascimento do programa?

Houve motivações de diferentes naturezas. Primeiramente, a ideia era compreender a fundo e dominar as técnicas de simulação em acústica geométrica, tão utilizadas em acústica de salas. Também identifiquei que havia uma necessidade de aprofundamento nas linguagens de programação Python, Matlab e C++, particularmente na combinação entre elas. Outra motivação é que a implementação de um código de simulação permite a criação de metodologias de pesquisa mais abrangentes, que não seriam possíveis com *software* comerciais, já que eles têm uma interface fechada. Por fim, posso dizer que também houve uma motivação econômica, no sentido de tornar a Engenharia Acústica da UFSM (e outros grupos parceiros) tão independentes quanto possível das licenças comerciais, que podem ter um custo elevado.

2. Como foi a decisão sobre os métodos empregados?

O projeto se iniciou em 2018 usando a linguagem Matlab, que era a que eu mais dominava na época. Como esta é uma linguagem interpretada, ficou claro que seria um *software* muito lento dessa forma. Assim, decidi fazer uma combinação, usando Matlab para a interface de entrada e saída de dados, e a linguagem C++ para a parte computacional mais pesada (observe a Figura 18). Ao fim de 2019, apresentei o projeto a um colega do ramo da engenharia de *software* (Gonçalo Morgado [14]), que sugeriu a migração do projeto para uma linguagem que pudesse ser totalmente *open-source* e integrada ao Blender³ (um *software* também *open-source* para modelagem 3D). A partir daí, migramos para a utilização de Python e C++ com diversas melhorias de processamento em relação à versão anterior (veja a Figura 19).

3. Em que etapa de evolução o *software* se encontra? E quais os planos futuros?

Pode-se dizer que o *software* é composto de dois projetos independentes. O primeiro é o motor de cálculos, o qual descrevi nas perguntas anteriores. Este é inteiramente baseado em traçado de raios, com algumas melhorias discutidas na referência [14]. O segundo projeto é a interface de usuário, implementada por meio de um pacote que pode ser instalado no Blender. Ainda temos muitas limitações em relação aos comerciais e esperamos melhorar o projeto no futuro. A interface com usuário requer um tipo de atenção específica da ergonomia de *software*. Já para o motor de cálculos, pretendemos implementar um modelo híbrido (fontes virtuais e traçado de raios), a renderização de respostas mono e binauriculares, a inclusão de direcionalidade das fontes etc. Na Engenharia Acústica, também temos conduzido pesquisa na implementação de métodos de simulação mais apropriados às baixas frequências e uma integração com acústica geométrica também poderá ocorrer no futuro.

4. O *software* é comercial? É aberto ou aberto para pesquisa?
Quais são os desafios para atrair usuários?

O *software* é livre e o código fonte pode ser obtido no *link*: <https://github.com/gmagno/ra>. Seria muito apreciado de minha parte ouvir os comentários dos usuários e saber que pesquisas vêm sendo desenvolvidas com a ferramenta. Acredito que existam vários desafios aos usuários, no entanto. Temos um investimento severamente limitado e isso faz com que não tenhamos um instalador pra gerenciar os diversos pacotes que usamos. Além disso, nossa documentação ainda é limitada, mas estamos trabalhando pra melhorar isso.

³<https://www.blender.org>.

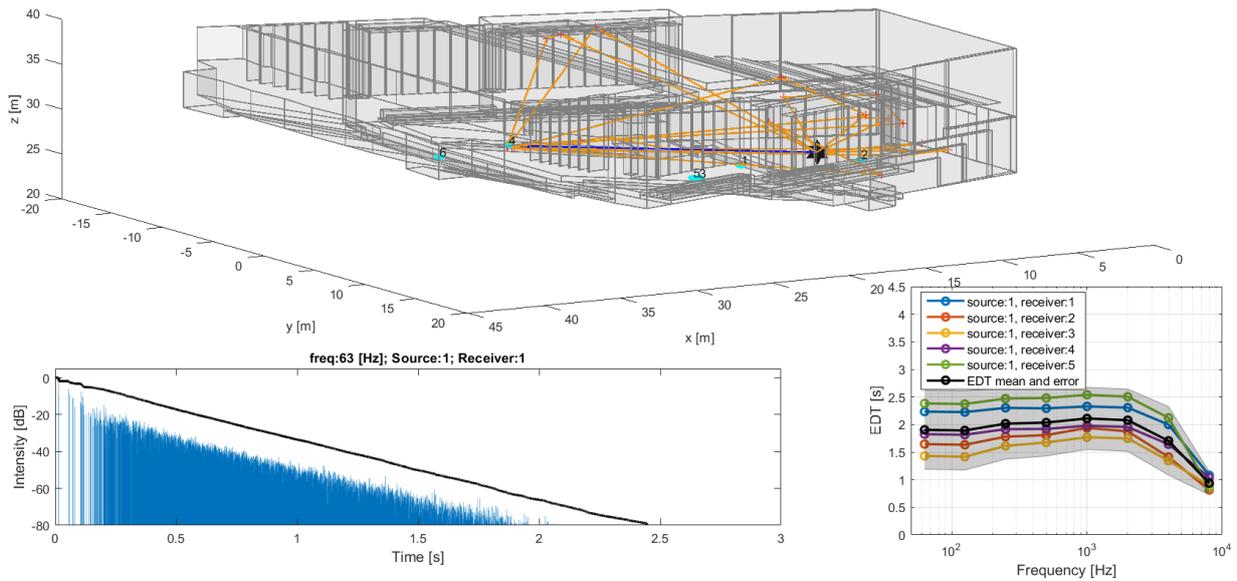


Figura 18: Figuras geradas na saída de dados da versão Matlab e C++.

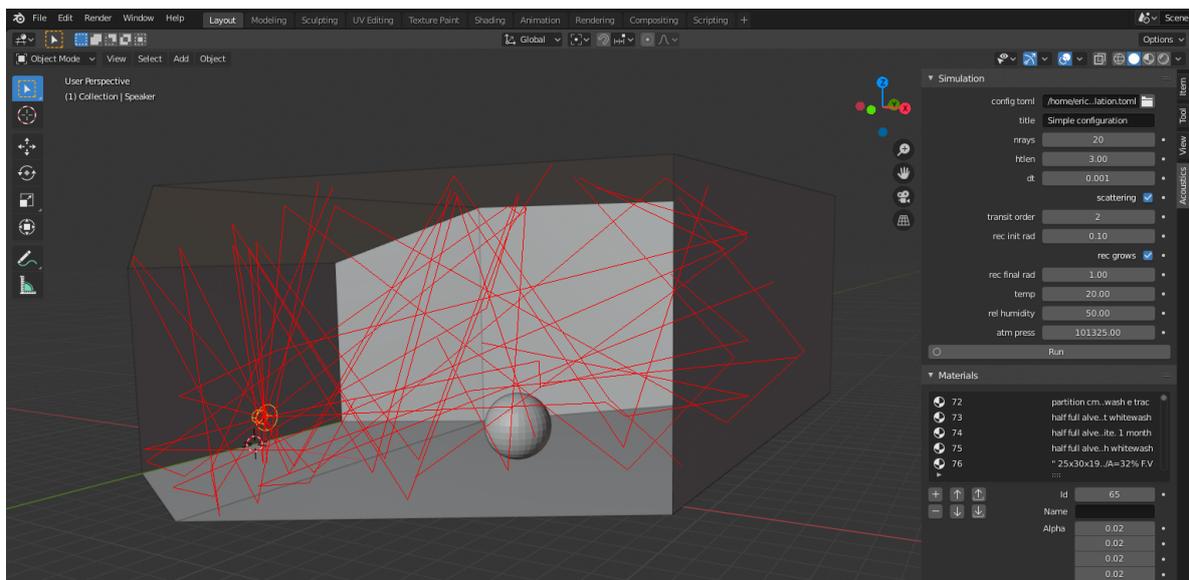


Figura 19: Figuras geradas pela interface do Blender na versão Python e C++.

4.3 Funcionalidades do Trem

As principais funcionalidades podem ser encontradas na referência [14] em detalhes, mas posso citar algumas de forma breve:

- O código é livre, o que implica que você pode fazer várias coisas com ele que não pode fazer em uma *software* que apenas te expõe a interface com o usuário.
- O código tem diversas funções e classes para facilitar a vida do pesquisador. Você não precisa conhecer C++ profundamente para tirar vantagem do código em si, já que as funções e classes implementadas em C++ também recebem um código responsável por expô-las à linguagem Python.
- A computação do traçado geométrico dos raios é desacoplada da computação da energia atingindo cada receptor na sala. Isso implica que, se você troca um material de absorção, pode apenas

rodar a parte do código que calcula a energia, o que é bem mais rápido que calcular o traçado geométrico dos raios.

- O item anterior permite cálculos de incerteza em simulações de acústica geométrica usando o método de Monte Carlo, algo que descrevemos brevemente na referência [14].

5. Considerações finais

Este artigo, em forma de encarte da A&V 53, buscou apresentar de forma abreviada o histórico e contexto de técnicas de simulação para acústica de salas, bem como, a auralização que acompanha tal evolução. Ademais, um dos propósitos foi aclarar o protagonismo de desenvolvimentos brasileiros, fundamentados em pesquisas dentro das universidades.

Com isso, apresentou-se de forma pormenorizada os programas RAIOS, BRASS e Trem, desenvolvidos respectivamente pelos professores Roberto A. Tenenbaum, Julio Torres e Eric Brandão — todos de universidades brasileiras, comprovando capacidade e sucesso, reafirmados por suas publicações na área.

Incentivamos o/a leitor(a) a testar os programas e, eventualmente, tecer cooperações de trabalho e pesquisa com os desenvolvedores.

Referências

1. SPANDÖCK, F. Akustische modellversuche. *Annalen der Physik*, v. 412, n. 4, p. 345–360, jul. 1934. doi: [10.1002/andp.19344120402](https://doi.org/10.1002/andp.19344120402).
2. KROKSTAD, A.; STROM, S.; SØRSDAL, S. Calculating the acoustical room response by the use of a ray tracing technique. *Journal of Sound and Vibration*, v. 8, n. 1, p. 118–125, 1968. ISSN 0022-460X. doi: [10.1016/0022-460X\(68\)90198-3](https://doi.org/10.1016/0022-460X(68)90198-3).
3. FONSECA, William D'Andrea. *Software para simulação de acústica de salas*. Disciplina EAC1032 - Auralização (2021). Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS.
4. ALLEN, Jont B.; BERKLEY, David A. Image method for efficiently simulating small-room acoustics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 65, n. 4, p. 943–950, 1979. doi: [10.1121/1.382599](https://doi.org/10.1121/1.382599).
5. BORISH, Jeffrey. Extension of the image model to arbitrary polyhedra. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 75, n. 6, p. 1827–1836, 1984. doi: [10.1121/1.390983](https://doi.org/10.1121/1.390983).
6. VORLÄNDER, Michael. Simulation of the transient and steady-state sound propagation in rooms using a new combined ray-tracing/image-source algorithm. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 86, n. 1, p. 172–178, 1989. doi: [10.1121/1.398336](https://doi.org/10.1121/1.398336).
7. LEWERS, T. A combined beam tracing and radiatn exchange computer model of room acoustics. *Applied Acoustics*, v. 38, n. 2, p. 161–178, 1993. ISSN 0003-682X. doi: [10.1016/0003-682X\(93\)90049-C](https://doi.org/10.1016/0003-682X(93)90049-C).
8. SAVIOJA, Lauri; SVENSSON, U. Peter. Overview of geometrical room acoustic modeling techniques. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 138, n. 2, p. 708–730, 2015. doi: [10.1121/1.4926438](https://doi.org/10.1121/1.4926438).
9. BALLESTEROS, Marcos L. *Simulação numérica de acústica de salas*. (Dissertação de mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEM/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 1991. Disponível em: https://w1files.solucaoatrio.net.br/atrio/ufrj-pem_upl//THESIS/1660/pemufj1991mscmarcosdelimaballesteros_20150825122313512.pdf.
10. GOMES, Marcio H. A.; BERTOLI, S. R.; DEDECCA, Joao Gorenstein. Implementação de métodos para a simulação acústica e auralização de salas. *Acústica e Vibrações*, v. 23, n. 38, p. 12–24, maio 2007.
11. SOARES, Murilo Cardoso; BRANDÃO, Eric; TENENBAUM, Roberto Aizik; MAREZE, Paulo Henrique. Low-frequency room acoustical simulation of a small room with BEM and complex-valued surface impedances. *Applied Acoustics*, v. 188, p. 108570, 2022. ISSN 0003-682X. doi: [10.1016/j.apacoust.2021.108570](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108570).
12. SCHMID, Aloísio Leoni. Tecnologia nacional em simulação acústica para ver e ouvir ambientes futuros. *Engenharia e Construção*, v. 28, p. 31–34, maio 2006.
13. MOURA, Henrique Gomes de. *Simulação da propagação de ondas acústicas através de uma malha de guia digital de ondas*. Dissertação (Dissertação de mestrado) — Universidade Federal de Uberlândia, 2005. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14998>.
14. BRANDÃO, Eric; MORGADO, Gonçalo; FONSECA, William D'Andrea. A ray tracing engine integrated with Blender and with uncertainty estimation: Description and initial results. *Building Acoustics*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 28, n. 2, p. 99–118, 2020. doi: [10.1177/1351010X20964758](https://doi.org/10.1177/1351010X20964758).
15. ISO 3382-1:2019 Acoustics – Measurement of room acoustics parameters – Part 1: Performance spaces. Geneva, 2009. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/40979.html#:~:text=ISO3382-1:2009specifies,andpresentingthetestreport>.
16. ISO 3382-2:2008 Acoustics – Measurement of room acoustics parameters – Part 2: Reverberation times in ordinary room. Geneva, 2008. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/36201.html>.
17. ISO 3382-3:2012 Acoustics – Measurement of room acoustics parameters – Part 3: Open plan offices. Geneva, 2012. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/46520.html>.
18. CAMILO, Thiago S. *Método híbrido para simulação de acústica de salas: combinação dos métodos de traçado de raios e transição de energia*. Dissertação (Dissertação de mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEM/COPPE/UFRJ, 2003.

19. TENENBAUM, R. A.; CAMILO, T. S.; TORRES, J. C. B.; GERGES, S. N. Y. Hybrid method for numerical simulation of room acoustics: Part 1 – theoretical and numerical aspects. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, v. 29, n. 2, p. 211–221, set. 2007. ISSN 1806-3691. doi: [10.1590/S1678-58782007000200012](https://doi.org/10.1590/S1678-58782007000200012).
20. ALARCÃO, Diogo; COELHO, José Luis Bento; TENENBAUM, Roberto A. On modeling of room acoustics by a sound energy transition approach. In: EUROPEAN ACOUSTICS ASSOCIATION. *Proceedings of EAA Symposium on Architectural Acoustics*. Madrid, 2000. p. 1–7.
21. BORK, Ingolf. Report on the 3rd round robin on room acoustical computer simulations — Part I: Measurements. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 91, n. 4, p. 740–752, 2005. ISSN 1610-1928. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aaua/2005/00000091/00000004/art00015>.
22. BORK, Ingolf. Report on the 3rd round robin on room acoustical computer simulations – Part II: Calculations. *Acta Acustica united with Acustica*, v. 91, n. 4, p. 753–763, 2005. ISSN 1610-1928. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aaua/2005/00000091/00000004/art00016>.
23. TENENBAUM, Roberto A.; CAMILO, Thiago S.; TORRES, Julio Cesar B.; STUTZ, Leonardo T. Hybrid method for numerical simulation of room acoustics: Part 2 – Validation of the computational code RAIOS 3. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, v. 29, n. 2, p. 222–231, set. 2007. ISSN 1806-3691. doi: [10.1590/S1678-58782007000200013](https://doi.org/10.1590/S1678-58782007000200013).
24. NARANJO, José F. L. *Aperfeiçoamentos no código computacional RAIOS incluindo aurilização*. Dissertação (Dissertação de mestrado) — Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PPGMC/IPRJ/UERJ, Nova Friburgo, RJ, 2010. Disponível em: <https://www.bdt.uerj.br:8443/handle/1/13844>.
25. TORRES, Júlio C. B. *Sistema de auralização eficiente utilizando transformadas wavelet*. Tese (Tese de doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro - PEE/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2004. Disponível em: <http://www.pee.ufrj.br/index.php/pt/producao-academica/teses-de-doutorado/2004/2004037002-2004037002/file>.
26. NARANJO, José F. L. *Inteligência computacional aplicada na geração de respostas impulsivas biauriculares e em aurilização de salas*. Tese (Tese de doutorado) — Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PPGMC/IPRJ/UERJ, Nova Friburgo, RJ, 2014. Disponível em: <http://www.bdt.uerj.br/handle/1/13684>.
27. TAMINATO, F. O. *Redes neurais artificiais aplicadas à modelagem de HRIRs/HRTFs para gerar aurilização*. Tese (Tese de doutorado) — Universidade do Estado do Rio de Janeiro - PPGMC/IPRJ/UERJ, Nova Friburgo, RJ, 2018. Disponível em: <https://www.bdt.uerj.br:8443/handle/1/13714>.
28. TENENBAUM, Roberto A.; TAMINATO, Filipe O.; MELO, Viviane S. G. Room acoustics modeling using a hybrid method with fast auralization with artificial neural network techniques. In: OCHMANN, Martin; VORLÄNDER, Michael; FELLS, Janina (Ed.). *Proceedings of the 23rd International Congress on Acoustics*. Aachen: [s.n.], 2019. p. 1–8. doi: [10.18154/RWTH-CONV-238784](https://doi.org/10.18154/RWTH-CONV-238784).
29. TENENBAUM, Roberto A.; TAMINATO, Filipe O.; MELO, Viviane S. G. Fast auralization using radial basis functions type of artificial neural network techniques. *Applied Acoustics*, v. 157, p. 1–8, 2020. ISSN 0003-682X. doi: [10.1016/j.apacoust.2019.07.041](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.07.041).
30. ASPÖCK, Lukas; BRINKMANN, Fabian; ACKERMANN, David; WEINZIERL, Stefan; VORLÄNDER, Michael. *BRAS - Benchmark for Room Acoustical Simulation*. 2020. Online. doi: [10.14279/depositonce-6726.3](https://doi.org/10.14279/depositonce-6726.3), acesso em dezembro de 2021.
31. BRINKMANN, Fabian; ASPÖCK, Lukas; ACKERMANN, David; LEPA, Steffen; VORLÄNDER, Michael; WEINZIERL, Stefan. A round robin on room acoustical simulation and auralization. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 145, n. 4, p. 2746–2760, 2019. doi: [10.1121/1.5096178](https://doi.org/10.1121/1.5096178).
32. MELO, Viviane S. G.; TENENBAUM, Roberto A.; SANTOS, Edna S. de O.; SAMPAIO, Gabriel B. R. Validação de programa de simulação acústica de salas via intercomparação internacional e aferição de inteligibilidade. *Acústica e Vibrações*, v. 36, n. 53, p. 109–123, 2021. doi: [10.55753/ae.v36e53.29](https://doi.org/10.55753/ae.v36e53.29).
33. BRANDÃO, Eric; SANTOS, Edna S. O.; MELO, Viviane S. G.; TENENBAUM, Roberto A.; MAREZE, Paulo H. On the performance investigation of distinct algorithms for room acoustics simulation. *Applied Acoustics*, v. 187, p. 108484, 2022. ISSN 0003-682X. doi: [10.1016/j.apacoust.2021.108484](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108484).
34. DALENBÄCK, Bengt-Inge; KLEINER, Mendel; SVENSSON, Peter. A macroscopic view of the diffuse reflection. *Journal of The Audio Engineering Society*, v. 42, n. 10, p. 973–987, 1994. Disponível em: <https://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=6927>.
35. ÖZİŞİK, M. Necati. *Boundary Value Problems of Heat Conduction*. Dover Publications, 1989. (Dover Books on Engineering). ISBN 978-0486659909. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=CSwbAQAAIAAJ>.
36. SOARES, Murilo C. *Ferramenta de código aberto para simulação em acústica de salas na região de baixa frequência*. Dissertação (Dissertação de mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, PPGE, Santa Maria, RS, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/22615>.
37. SOARES, Murilo C.; BRANDÃO, Eric; TENENBAUM, Roberto A.; ALVIM, Luiz A. T. F. A study case applying a method to retrieve complex surface impedances from statistical absorption coefficients aiming room acoustics simulation using Boundary Element Method. In: INCE. *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*. Institute of Noise Control Engineering, 2020. v. 261, n. 5, p. 1698–1709. ISSN 0736-2935. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/ince/incep/2020/00000261/00000005/art00085>.
38. SANAGUANO, Daniel A.; LUCIO-NARANJO, Jose F.; TENENBAUM, Roberto A. A conceptual model for real-time binaural-room impulse responses generation using anns in virtual environments: State of the art. In: *2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*. Las Vegas, NV, USA: IEEE, 2020. p. 572–578. doi: [10.1109/CSCI51800.2020.00102](https://doi.org/10.1109/CSCI51800.2020.00102).
39. TORRES, Julio C. B. *BRASS - Brazilian Room Acoustic Simulator*. In: SOBRAC. *XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*. Porto Alegre: Galoá, 2018. ISSN 2238-6726. doi: [10.17648/sobrac-87152](https://doi.org/10.17648/sobrac-87152).
40. TORRES, Julio Cesar B.; ASPÖCK, Lukas; VORLÄNDER, Michael. Comparative study of two geometrical acoustic simulation models. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, v. 40, n. 6, p. 300, May 2018. ISSN 1806-3691. doi: [10.1007/s40430-018-1226-1](https://doi.org/10.1007/s40430-018-1226-1).
41. COX, Trevor John; DALENBÄCK, Bengt-Inge; D'ANTONIO, Peter; EMBRECHTS, Jean Jacques; JEON, Jin Yong; MOMMERTZ, Eckard; VORLÄNDER, Michael. A tutorial on scattering and diffusion coefficients for room acoustic surfaces. *Acta Acustica United With Acustica*, v. 92, n. 1, p. 1–15(15), 2006. ISSN 1610-1928. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/dav/aaua/2006/00000092/00000001/art00002>.
42. OpenDAFF. *An open source file format for directional audio content*. 2021. Online. Acesso em dezembro de 2021. Disponível em: <https://www.opendaff.org>.

Viviane S. G. Melo 

Universidade Federal de
Santa Maria

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

{viviane.melo}
@eac.ufsm.br

William D'Andrea
Fonseca 

Universidade Federal de
Santa Maria

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

{will.fonseca}
@eac.ufsm.br

Brasil tem curso de Engenharia Acústica 5 estrelas

Na UFSM temos uma graduação completa de acústica, vibrações e áudio de muita qualidade

Resumo: O curso Engenharia Acústica da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), o ainda primeiro e único curso do tema no Brasil, recebe novamente (em 2021) o selo de 5 estrelas segundo o Guia da Faculdade, do Estadão. O curso teve início em 2009, de modo que foi reconhecido pelo Ministério da Educação (MEC) em 2014. Ademais, em 2016 o Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA) reconheceu a profissão de Engenheiro(a) Acústico(a), regulamentando e estabelecendo atribuições específicas.

Brazil has a 5-star Acoustical Engineering

Abstract: The Acoustical Engineering Program at the Federal University of Santa Maria (UFSM), the only first course on the subject in Brazil, receives again (in 2021) the 5-star rating according to the Faculty's Estadão Guide. The program began in 2009 and was recognized by the Ministry of Education (MEC) in 2014. In addition, in 2016 the Federal Council of Engineering and Agronomy (CONFEA) recognized the profession of Acoustical Engineer, regulating and establishing specific attributions.

1. Introdução

A Engenharia Acústica (EAC) [1] da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) é um curso de engenharia (com dez semestres) semelhante aos demais, como elétrica e mecânica, por exemplo. O curso nasceu a partir do Programa de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI), sendo que a criação oficial se deu em 2008, com início de funcionamento em 2009 [2, 3]. Ele é um curso reconhecido pelo Ministério da Educação (MEC) por meio da Portaria 216, de 28 de março de 2014 [4]. De forma sucinta, a EAC compreende os temas mostrados na Figura 1.

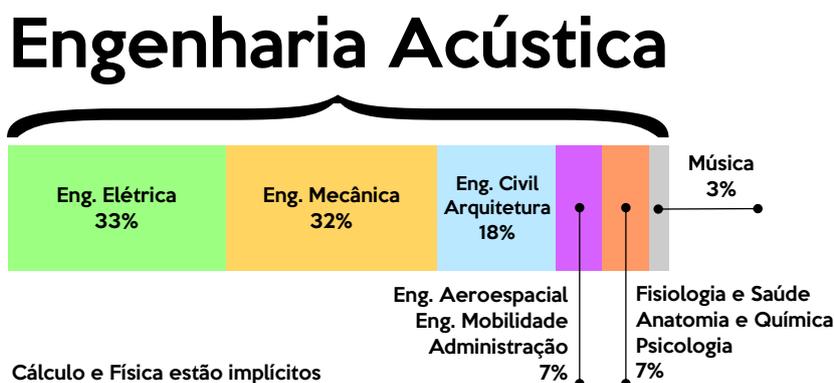


Figura 1: Conteúdos da Engenharia Acústica da UFSM de forma resumida.

2. O Curso: Engenharia Acústica

O ingresso de estudantes é anual e 40 vagas são alocadas para o curso. O curso (presencial) é organizado com disciplinas ao longo de nove semestres, reservando o décimo para um estágio obrigatório [6]. É um curso bastante multidisciplinar, que tem áreas das mais diversas engenharias e campos da ciência, veja a *mandala da acústica* (de Lindsey [5]), que versa sobre as áreas circundantes na Figura 2.

O curso é moderno e conta com instalações como câmaras especiais para medição, além de possuir instrumentações de ponta. Ademais, os seus professores trabalham intensamente com metodologias inovadoras e ativas de ensino [7–9]. Com isso, o egresso sai preparado para desenvolver muitos tipos de trabalhos. Embora chamamos comumente de apenas *acústica*, o curso abarca também vibrações e áudio [1].

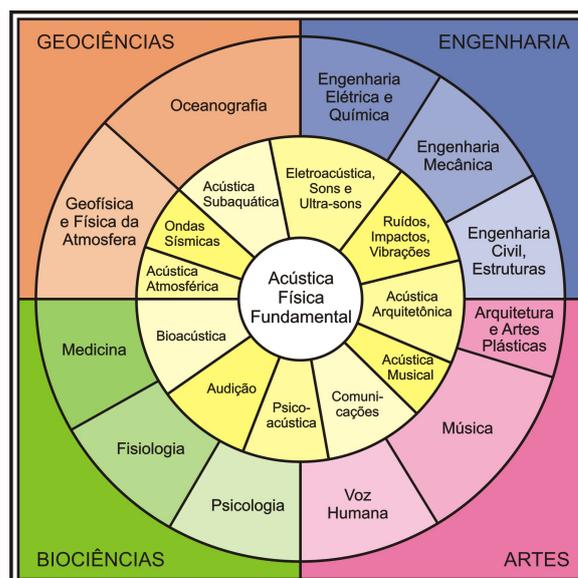


Figura 2: Áreas circundantes à acústica, adaptado de Lindsey [5] (e carinhosamente apelidada de *mandala da acústica*).

3. Avaliações do curso de Engenharia Acústica

A seguir estão delineados os processos e as notas tanto do MEC quanto do Guia da Faculdade.

3.1 Ministério da Educação (MEC)

Para criação e reconhecimento de um novo curso de graduação no Brasil, o MEC instituiu uma comissão composta por dois avaliadores, que geralmente são sorteados entre os cadastrados no Banco Nacional de Avaliadores (Basis). Esses avaliadores seguem alguns parâmetros que orientam as visitas às instituições. A avaliação para a renovação de reconhecimento é uma avaliação contínua, feita a cada três anos, de acordo com o ciclo do Sistema Nacional de Avaliação da Educação Superior (Sinaes). Nela, é calculado o conceito preliminar do curso (CPC). O CPC avalia os cursos de graduação da seguinte maneira: ao visitar a instituição *in loco*, os avaliadores verificam as condições de ensino do curso, bem como questões relativas ao corpo docente; ao corpo discente; às instalações físicas; e à organização didático-pedagógica.

Desde a sua criação o curso de graduação em Engenharia Acústica da UFSM recebeu duas visitas de avaliadores do MEC, e obteve, nas duas ocasiões, um valor de CPC igual a 4, sendo 5 a nota máxima.

3.2 Guia da Faculdade

O Guia da Faculdade [10], fruto da parceria entre a Quero Educação e o jornal O Estado de S. Paulo (Estadão), avalia a qualidade dos cursos superiores oferecidos no país. Utilizando uma metodologia conhecida como “avaliação por pares”, avalia instituições de ensino superior (universidades, centros universitários, faculdades e institutos) cadastradas no Ministério da Educação e que já possuem ao menos uma turma com alunos formados. Os indicadores de qualidade utilizados referem-se a três eixos principais: projeto pedagógico, corpo docente e infraestrutura. A partir daí, cada curso recebe notas de 1 a 5 e o resultado da média entre a pontuação é transformado em estrelas. Ao final do processo de avaliação, os cursos são apresentados de acordo com os conceitos ilustrados na Figura 3.



Figura 3: Conceitos considerados na avaliação de cursos no Guia da Faculdade.

Ao final do processo de avaliação, os resultados são divulgados e os coordenadores de cada curso avaliado recebem os selos de qualidade dos cursos conceituados com 3, 4 ou 5 estrelas. Nos últimos dois anos (2020 e 2021) o curso de **Graduação em Engenharia Acústica da UFSM recebeu a nota máxima** na avaliação, **sendo considerado excelente**, como ilustram os selos de qualidade na Figura 4, ficando entre os dez cursos da Instituição que receberam 5 estrelas na avaliação em 2021.



Figura 4: Selos de qualidade recebidos pela EAC nos últimos dois anos (2020 e 2021).

Referências

1. Engenharia Acústica. online, *Website e Ementário*. Acesso em dez. 2021. URLs <https://www.eac.ufsm.br> e <https://www.ufsm.br/cursos/graduacao/santa-maria/engenharia-acustica/>.
2. PAIXÃO, Dinara X. Uma longa espera pela engenharia acústica. In: _____. *Vozes do Partenon Literário VIII*. [S.l.]: Partenon Literário, 2016.
3. PAIXÃO, Dinara X. Engenharia Acústica: uma contribuição da UFSM para o Brasil. In: _____. *Prosa e Verso X*. [S.l.]: Academia Santa-mariense de letras, 2018.
4. MELO, Allan. Acústica com diploma. Sim, senhor! O primeiro curso de graduação da área estreia do Sul. *Áudio, Música e Tecnologia*, v. 22, n. 220, p. 74–82, jan. 2010.
5. LINDSAY, Robert Bruce. Report to the National Science Foundation on Conference on Education in Acoustics. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 36, p. 2241–2243, 1964.
6. GIL, Rosângela Ribeiro, Sindicato dos Engenheiros do Estado de São Paulo (SEESP). online, *Os sons da engenharia acústica: Ramo atua em questões relacionadas ao som e às vibrações e visa o bem-estar da sociedade*. 17/05/2021. Acesso em dez. 2021. URL <https://www.seesp.org.br/site/index.php/comunicacao/noticias/item/20217-os-sons-da-engenharia-acustica>.
7. FONSECA, William D'Andrea. *Ensino Ativo na Engenharia Acústica*. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) — Engenharia Acústica, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2019. Disponível em: <https://bit.ly/eac-al>.
8. 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; X Congresso Ibérico de Acústica; and 49º Congresso Espanhol de Acústica - TecniaAcustica'18*. Cadiz, Espanha: [s.n.], 2018. p. 1–8. Disponível em: <https://bit.ly/fia2018-eac>.
9. RIBEIRO, Luis R. C. *Aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma experiência no ensino superior*. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2008. ISBN 978-8576002970.
10. ESTADÃO. online, *Guia da Faculdade*. Acesso em dez. 2021. Disponível em: <https://publicacoes.estadao.com.br/guia-da-faculdade/>.

(Esta página foi deixada intencionalmente em branco.)

Eventos de acústica pelo Brasil e pelo mundo

Nesta seção são colocados alguns dos próximos eventos, congressos e encontros de acústica pelo mundo, junto com suas datas, locais e endereços virtuais. Devido à pandemia de 2020–2021, existem muitas trocas, cancelamentos e eventos que foram convertidos para versão virtual.

Abaixo você encontra alguns links para facilitar a navegação pelas seções desse encarte.

[2021](#) (pág. 245) | [2022](#) (pág. 251) | [2023](#) (pág. 257) | [2024](#) (pág. 258) | [Material Online](#) (pág. 259)

2021

- **International Year of Sound 2020–2021**
(Continuação de 2020)

- Estendido para 2021
- Data: 2020–2021
- Local: Mundo todo
- <http://sound2020.org/>



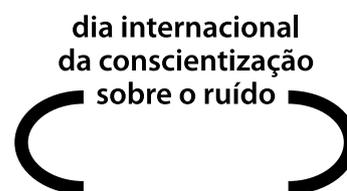
- **6th Symposium on the Acoustics of Poro-Elastic Materials**
(SAPEM 2020+1)

- Data: 29 de março a 2 de abril de 2021
- Local: virtualmente
- <http://sapem2020.matelys.com/>



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

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



- **Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2021 (BNAM)**

- Data: 3–5 de maio de 2021
- Local: virtualmente
- <https://www.bnam2021.org/>
- *Proceedings*:
<http://www.norskakustiskselskap.org/bnam-2021/>



- **9th International Conference on Wind Turbine Noise**

- Data: 18–21 de maio de 2021
- Local: virtualmente
- <https://www.windturbinenoise.eu/content/conferences/9-wind-turbine-noise-2021/>



- **AES Ecuador 2021**

- Data: 19–21 de maio de 2021
- Local: virtualmente
- <https://www.buenplan.com.ec/event/conferencia-aesecuador-2021>



- ★ **12º Congresso Iberoamericano de Acústica (FIA) & XXIX Encontro da Sobrac**

- **Postergado para 28–31 de agosto de 2022**
- Data original #2: 23–26 de maio de 2021
- Data original #1: 20–23 de setembro de 2020
- Local: Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
- <https://www.fia2022.com.br/>
- Veja encarte detalhado na página 133.



- **47th AIA National Conference**

- Data: 24–28 de maio de 2021
- Local: virtualmente
- <https://acustica-aia.it/en/event/47th-aia-national-conference-online/>



- **150th AES Show Spring 2021**

- Data: 25–28 de maio de 2021
- Local: virtualmente
- <https://www.aes.org/events/150/>



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

- Data: 7–11 de junho de 2021
- Local: virtualmente
- <https://acousticalsociety.org/asa-meetings/>
- **ASA School 2021 (5–6 de junho de 2021)**
<https://acousticalsociety.org/asa-school-2021/>



- **13th ICBen Congr. on Noise as a Public Health Problem**

- Data: 14–17 de junho de 2021
- Local: virtualmente
- <http://www.icben.org/>



• **Acoustics of Ancient Theatres**

- **Postergado para 2022**
- Data original #2: julho de 2021
- Data original #1: 2–4 setembro de 2020
- Local: Verona, Itália
- <https://acustica-aia.it/en/event/verona2020/>



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

- Data: 11–16 de julho de 2021
- Local: virtualmente
- <https://www.icsv27.org/>
- *Proceedings*: http://www.icsv27.org/icsv27_proceedings.zip



• **AES 2021 International Audio Education Conference**

- Data: 22–24 de julho de 2021
- Local: virtualmente
- <https://aes2.org/events-calendar/aes-2021-international-audio-education-conferenceadvancing-teaching-learning-and-scholarship-in-the-academic-world/>



★ **36^o Encontro Internacional de Audiologia (EIA)**

- Data: 28–30 de julho de 2021
- Local: virtualmente
- <https://www.audiologiabrasil.org.br/eia>



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

- Data: 1–4 de agosto de 2021
- Local: virtualmente
- <https://internoise2021.org/>



★ **Dia do Engenheiro Acústico**

- Data: 24 de agosto de 2021
- Local: Brasil todo



• **AES LAC**

- Data: 13–17 de setembro de 2021
- Local: virtualmente
- <https://aes-colombia.org/>



• **67th Open Seminar on Acoustics (OSA 2021) / 36th Symposium on Hydroacoustics / XXIV Conference on Acoustic and Biomedical Engineering (IAB 2021)**

- Data: 14–17 de setembro de 2021
- Data original: 15–18 de setembro de 2020
- Local: virtualmente
- http://ptakrakow.pl/osa2021/index_en.html
- <http://sha2021.pl/?page=home&lg=en>
- http://iab2021.ptakrakow.pl/index_en.html

• **9th Congress of the Alps Adria Acoustics Association**

- Data: 23–24 de setembro de 2021
- Local: Budapeste, Hungria
- <https://www.alpsadriaacoustics.eu/>



★ **VI Seminário Gaúcho de Acústica e Vibrações (SeGAV)**

- Data: 24–25 de setembro de 2021
- Local original: virtualmente
- <http://segav.org/> e @sobracrs
- Segav no YouTube: [Dia 1](#) | [Dia 2](#)
- Veja encarte detalhado na página 135.



• **5th International Conference “Acoustics and Human Development”**

- Data: 4–5 de outubro de 2021
- Local: virtualmente
- <http://acousticsnigeria.org.ng/>

• **151st AES SHOW Fall Convention**

- Data: 11–31 de outubro de 2021
- Local: virtualmente
- <https://aesshow.com/>



★ **XXIX Congresso Brasileiro / IX Congresso Internacional de Fonoaudiologia (FONO 2021)**

- Data: 13–16 de outubro de 2021
- Local: virtualmente
- <https://lp.sbfa.org.br/fonoaudiologia-2021/>



★ **II Mês Acadêmico da Engenharia Acústica**

- Data: 15 de outubro a 12 de novembro de 2021
- Local: virtualmente
- bit.ly/eac-academico2021 ;
[@eng.acustica](#) ; [@daacustica](#) e [@acusticajr](#)



• **EuroNoise 2021**

- Data: 25–27 de outubro de 2021
- Local: virtualmente
- <http://www.spacustica.pt/euronoise2021/index.html>



• **TECNIACUSTICA 2021 - 52nd Spanish Congress on Acoustics and Iberian Encounter on Acoustics – integrado com EuroNoise 2021**

- Data: 25–27 de outubro de 2021
- Local: virtualmente
- <http://www.sea-acustica.es/index.php?id=31>



• **Autumn School Series in Acoustics (ASSA 2021)**

- **Postergado para 7–11 de novembro de 2022**
- Data original: 25–27 de outubro de 2021
- Local: Eindhoven, Holanda
- <https://assaeindhoven.org/>



• **4th Int'l Conference on Acoustics, Vibration and Noise Control (CAVNC 2021)**

- Data: 29–31 de outubro de 2021
- Local: Guilin, China
- <https://www.wsAugust.org/conference/CAVNC2021/>

• **Reproduced Sound 2021**

- Data: 16–18 de novembro de 2021
- Local: Bristol, Reino Unido e virtualmente
- <http://reproducedsound.co.uk/>



• **Automotive Acoustics Conference 2021 - 6th International ATZ Conference on Vehicle Acoustics**

- Data: 16–17 de novembro de 2021
- Local: virtualmente
- <https://www.atzlive.de/en/events/automotive-acoustics-conference/>

★ **XVI ENCAC - Encontro nacional de conforto no ambiente construído / XII ELACAC - Encontro latino-americano de conforto no ambiente construído / XII Bienal de arquitetura bioclimática José Miguel Aroztegui / IV Prêmio Maurício Roriz**

- Data: 20–23 de novembro de 2021
- Local: virtualmente
- <https://www.even3.com.br/encac2021/>



★ **26th International Congress of Mechanical Engineering (COBEM 2021)**

- Data: 22–26 de novembro de 2021
- Local: virtualmente
- <https://eventos.abcm.org.br/cobem2021/about/welcome/>



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

- Data: 29 de novembro – 3 de dezembro de 2021
- Local: Seattle, EUA
- <https://acousticalsociety.org/asa-meetings/>



• **11th International Conference of Acoustics and Vibration (ISAV 2021)**

- Data: 8–9 de dezembro de 2021
- Local: Teerã, Irã
- <https://2021.isav.ir/?lang=en>



• **International Conference combined with Workshop on Rhythm of Happiness (Rhythm 2021)**

- Data: 10–12 de dezembro de 2021
- Local: virtualmente
- <https://sites.google.com/view/rhythm2021/>



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

- **Postergado para 10–12 de janeiro de 2023**
- Data original #2: 13–15 de dezembro de 2021
- Data original #1: 26–28 de janeiro de 2021
- Local: Auckland, Nova Zelândia
- <https://www.novem.ac.nz/>



2022

• **Acoustics 2021 - Making Waves**

- Data: 20–23 de fevereiro de 2022
- Local: Wollongong, Austrália
- <https://www.acoustics.org.au/eventdetails/11511/acoustics-2021-making-waves>



• **48º Congresso da Sociedade Alemã de Acústica (DAGA 2022)**

- Data: 21–24 de março de 2022
- Local: híbrido (online e em Stuttgart, Alemanha)
- <https://www.daga2022.de/en/>



• **LETMA - CeLyA Spring School 2022: Waves & geosciences: Infrasound and beyond**

- 28 de março a 01 de abril de 2022
- Local: Lyon, França
- https://acoustique.ec-lyon.fr/letma_school_fr.php

★ **37º Encontro Internacional de Audiologia (EIA)**

- Data: 6–8 de abril de 2022
- Local: São Paulo, SP
- <https://www.audiologiabrasil.org.br/eia>



• **16th French Congress on Acoustics (CFA 2022)**

- Data: 11–15 de abril de 2022
- Local: Marselha, França
- <https://cfa2022.sciencesconf.org>



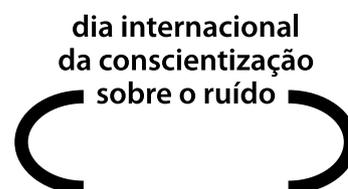
- **ACUSTICAT 2022**

- Data: 25–26 de abril de 2022
- Local: Granollers, Espanha
- <https://www.congresacusti.cat/>



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

- Data: 27 de abril de 2022
- Local: Mundo todo
- Brasil: <http://inadbrasil.com>
- Internacional: <https://chcheating.org/noise/day/>



- **152nd AES Europe Spring 2022**

- Data: 7–8 de maio de 2022
- Local: Haia, Holanda
- Local: Virtualmente (16–19 de maio de 2022)
- <https://aeseurope.com/>



- **EuroRegio/BNAM 2022**

- Data: 09–11 de maio de 2022
- Local: Aalborg, Dinamarca
- <https://bnam2022.org/>



- **Forum Laboris 2022**

- Data: 16–19 de maio de 2022
- Local: online
- <https://euracoustics.org/products/forum-laboris/>

- **182nd Meeting Acoust. Soc. America**

- Data: 23–27 de maio de 2022
- Local: Denver, Colorado, EUA
- <https://acousticalsociety.org/asa-meetings/>



- **48th AIA National Conference**

- Data: 25–27 de maio de 2022
- Local: Matera, Itália
- <https://acustica-aia.it/event/matera2022/>

48° Convegno Nazionale AIA

AIA > AIA events > 48° Convegno Nazionale AIA, Matera 25-27 Maggio 2022

- **9th Berlin Beamforming Conference (BeBeC)**

- Data: 6–10 de junho de 2022
- Local: Berlim, Alemanha
- <http://www.bebec.eu/>



- **AES 2022 International Automotive Audio Conference**

- Data: 8–10 de junho de 2022
- Local: Detroit, MI, EUA
- <https://aes2.org/events-calendar/aes-2022-international-automotive-audio-conference/>



- **Noise-Con 2022**

- Data: 13–15 junho de 2022
- Local: Lexington, KY, EUA
- <https://www.inceusa.org/noisecon22>



- **International Conference on Underwater Acoustics (ICUA 2022)**

- Data: 20–23 de junho de 2022
- Local: Southampton, Reino Unido
- <http://icua2022.org/>



- **12th International Styrian Noise, Vibration and Harshness Congress (ISNVH 2022)**

- Data: 22–24 de junho de 2022
- Local: Graz, Áustria
- <https://www.isnvh.at/>



- **CISM–AIMETA Advanced School on "Exploiting the Use of Strong Nonlinearity in Dynamics and Acoustics"**

- Data: 27 de junho a 01 de julho de 2022
- Local: Udine, Itália
- <https://www.cism.it/en/activities/courses/C2110/>



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

- Data: 27–30 de junho de 2022
- Local: Paris, França
- <https://www.quietdrones.org/>



- **The Acoustics of Ancient Theatres**

- Data: 06–08 de julho de 2022
- Local: Verona, Itália
- <https://acustica-aia.it/en/event/verona2020/>



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

- Data: 24–28 de julho de 2022
- Local: Singapura
- <https://www.icsv28.org/>



- ★ **XI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica (CONEM 2022)**

- Data: 7–11 de agosto de 2022
- Local: Teresina, Piauí, Brasil
- <https://eventos.abcm.org.br/conem2022/>



- **5th Int'l Conference on Acoustics, Vibration and Noise Control (CAVNC 2022)**

- Data: 13–15 de agosto de 2022
- Local: Xiamen, China
- <https://www.wsaugust.org/conference/CAVNC2022/>

- **International Conference on Audio for Virtual and Augmented Reality (AVAR)**

- Data: 15–17 de agosto de 2022
- Local: Redmond, WA, EUA
- <https://aes2.org/events-calendar/avar-2022/>



- ★ **Dia do Engenheiro Acústico**

- Data: 24 de agosto de 2022
- Local: Brasil todo



- **Internoise 2022 (51st International Congress and Exposition on Noise Control Engineering)**

- Data: 21–24 de agosto de 2022
- Local: Glasgow, Reino Unido e virtualmente (híbrido)
- <https://internoise2022.org/>



★ **12º Congresso Iberoamericano de Acústica (FIA 2020/22) & 29º Encontro da Sobrac**

- Data: 28–31 de agosto de 2022
- Local: Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
- <https://www.fia2022.com.br/>
- Veja encarte detalhado na página 133.



• **4th Vienna Talk 2020/22**

- Data: 11–14 de setembro de 2022
- Local: Viena, Áustria
- <https://viennatalk2020.mdw.ac.at/>



• **Conference on Noise and Vibration Engineering 2022**

- Data: 12–14 de setembro de 2022
- Local: Leuven, Bélgica
- <https://www.isma-isaac.be/isma2022/>



• **International Conference on Uncertainty in Structural Dynamics 2022 (em conjunto com ISMA 2022)**

- Data: 12–14 de setembro de 2022
- Local: Leuven, Bélgica
- <https://www.isma-isaac.be/usd2022/>



★ **VII Seminário Gaúcho de Acústica e Vibrações (SeGAV)**

- Data: 23 de setembro de 2022
- Local original: virtualmente
- <http://segav.org/> e [@sobracs](https://twitter.com/sobracs)
- Veja encarte detalhado na página 135.



• **153rd Audio Engineering Convention - AES New York 2022**

- Data: 19–20 de outubro de 2022
- Local: Nova Iorque, NY, EUA
- Local: Virtualmente (25–28 de outubro de 2022)
- <https://aes2.org/events-calendar/aes-new-york-2022-convention/>



- **24th International Congress on Acoustics (ICA 2022)**

- Data: 24–28 de outubro de 2022
- Local: Gyeongju, Coreia do Sul
- <https://ica2022korea.org/>



- **Acoustics 2022 - Joint New Zealand & Australian acoustical societies conference**

- Data: 31 de outubro a 2 de novembro de 2022
- Local: Wellington, Nova Zelândia
- <https://www.acoustics2022.com/>



- **Tecniacústica 2022 - 53º Congreso Español de Acústica & XII Congreso Ibérico de Acústica**

- Data: 2–4 de novembro de 2022
- Local: Elche/Alicante, Espanha
- <http://www.sea-acustica.es/index.php?id=437>



- **Autumn School Series in Acoustics (ASSA 2021+1)**

- Data: 7–11 de novembro de 2022
- Local: Eindhoven, Holanda
- <https://assaeindhoven.org/>



- ★ **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC 2022)**

- Data: 9–11 de novembro de 2022
- Local: Canela, RS e virtualmente (híbrido)
- <https://entac2022.com.br/>



- **Reproduced Sound 2022**

- Data: 15–17 de novembro de 2022
- Local: Bristol, Reino Unido e virtualmente
- <http://reproducedsound.co.uk/>



- **Aachen Acoustics Colloquium 2022 (AAC 2022)**

- Data: 21–23 de novembro de 2022
- Local: Aachen, Alemanha
- <https://www.aachen-acoustics-colloquium.com/>



• **183rd Meeting Acoust. Soc. America**

- Data: 05–09 de dezembro de 2022
- Local: Nashville, Tennessee, EUA
- <https://acousticalsociety.org/asa-meetings/>



2023

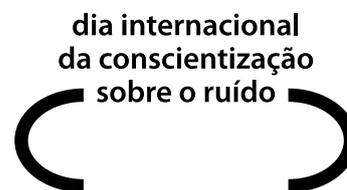
• **Noise and Vibration Emerging Methods (NOVEM 2023)**

- Data: 10–12 de janeiro de 2023
- Local: Auckland, Nova Zelândia
- www.novem2021.ac.nz



• **Dia Internacional da Conscientização sobre o Ruído (INAD) ou International Noise Awareness Day**

- Data: 26 de abril de 2023
- Local: Mundo todo
- Brasil: <http://inadbrasil.com>
- Internacional: <https://chcheating.org/noise/day/>



• **10th International Conference on Wind Turbine Noise**

- Data: maio de 2023
- Local: Dublin, Irlanda
- <https://www.windturbinenoise.eu/content/conferences/10-wind-turbine-noise-2023/>



★ **4^o Workshop de tecnologia de processos e sistemas construídos (TECSIC 2023)**

- Data: 16–17 de agosto de 2023
- Local: Gramado, RS, Brasil

• **Internoise 2023 (52nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering)**

- Data: 20–23 de agosto de 2023
- Local: Chiba, Região de Tóquio, Japão

★ **Dia do Engenheiro Acústico**

- Data: 24 de agosto de 2023
- Local: Brasil todo



- **Forum Acusticum 2023)**

- Data: 11–15 de setembro de 2023
- Local: Turim, Itália
- <https://www.fa2023.org>



- **Acoustics23, Sydney: joint Meeting of the Acoustical Society of America, WESPAC, the Australian Acoustical Society & the Pacific Rim Underwater Acoustics Conference**

- Data: 4–8 de dezembro de 2023
- Local: Sidney, Austrália
- <https://acoustics23sydney.org/>



- **Automotive Acoustics Conference 2021 - 7th International ATZ Conference on Vehicle Acoustics**

- Data: 2023
- <https://www.atzlive.de/en/events/automotive-acoustics-conference/>

- **Anglo-French Physical Acoustics Conference (AFPAC 2022)**

- **2023**
- Data original: 11–14 de janeiro de 2022
- Local: Villa Clythia, Frejus, França
- <https://intranet.sfa.asso.fr/archives/AFPAC2022/>

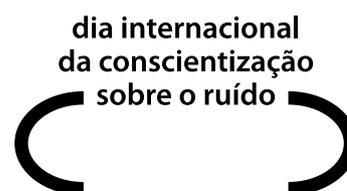
- **29th Int. Congress on Sound and Vibration (ICSV29)**

- Data: 2023
- Local: Praga, República Tcheca

2024

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

- Data: 24 de abril de 2024
- Local: Mundo todo
- Brasil: <http://inadbrasil.com>
- Internacional: <https://chcheating.org/noise/day/>



- **Internoise 2024 (54st International Congress and Exposition on Noise Control Engineering)**
 - Data: agosto de 2024
 - Local: Nantes, França
- **Congresso Iberoamericano de Acústica (FIA 2024)**
 - Data: 2024
 - Local: Santiago, Chile
- **10th Berlin Beamforming Conference (BeBeC)**
 - Data: 2024
 - Local: Berlim, Alemanha
 - <http://www.bebec.eu/>
- **14th ICBEN Congr. on Noise as a Public Health Problem**
 - Data: 2024
 - <http://www.icben.org/>



2025

- **25th International Congress on Acoustics (ICA 2025)**
 - Data: 2025
 - Local: Nova Orleans, LA (EUA)
 - <https://www.icacommission.org/ica-congress/upcoming-ica-congresses/>

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>

Proceedings online

- Australian Acoustical Society
 - <https://www.acoustics.org.au/resources/aas-conference-proceedings/>
- Internoise (International Congress and Exposition on Noise Control Engineering)
 - <http://i-ince.org/confpapers.php>
- International Congress on Sound and Vibration (ICSV)
 - <https://www.iiav.org/index.php?va=viewpage&vaid=28>
- International Conference on Noise and Vibration Engineering (ISMA)
 - <https://www.isma-isaac.be/publications/>

Acústica e Vibrações (arquivo)

- Arquivo aberto com todas as edições da revista já publicadas
 - <https://revista.acustica.org.br/acustica/issue/archive>

Esperamos que, apesar das dificuldades, o caro leitor possa participar dos eventos da área.

William D'Andrea Fonseca

Ranny Loureiro Xavier Nascimento Michalski

(Editores A&V)

