

# Engenharia Acústica: Um curso acadêmico completo de graduação no Brasil

Fonseca, W. D'A.<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Engenharia Acústica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, will.fonseca@eac.ufsm.br

## Resumo

*Este artigo é uma tradução para o português do artigo originalmente publicado em 2022 na edição especial sobre Educação do Journal of the Acoustical Society of America (sua diagramação foi elaborada similar ao original). O artigo conta diversos aspectos do curso de Engenharia Acústica criado na UFSM. Reproduzido de “William D’Andrea Fonseca, Eric Brandão, Paulo H. Mareze, Viviane S. G. Melo, Roberto A. Tenenbaum, Christian dos Santos, Dinara Paixão; Acoustical engineering: A complete academic undergraduate program in Brazil. J. Acoust. Soc. Am. 1 August 2022; 152 (2): 1180–1191. <https://doi.org/10.1121/10.0013570>”, com a permissão da Acoustical Society of America.*

## ★ Resumo original

A acústica é um campo amplo de conhecimento que abrange diversos ramos da física dos fenômenos ondulatórios, psicologia, ciências naturais e engenharia. Geralmente, é ensinada como parte de programas de engenharia, física ou arquitetura, ou até mesmo em programas de pós-graduação especializados no tema. No Brasil, a acústica era ensinada apenas em programas de pós-graduação até a criação do curso de Engenharia Acústica (EAC) em 2009, na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), um curso de graduação integral dedicado à acústica, áudio e vibração (com duração de dez semestres). Este artigo apresenta seu programa acadêmico completo, o processo de criação e o estabelecimento profissional do engenheiro acústico. Em seguida, o programa de estudos e as disciplinas são elucidados e detalhados. Além disso, as metodologias de ensino utilizadas também são discutidas. O curso emprega diversas estratégias de aprendizagem ativa, como a aprendizagem baseada em projetos, visando transformar o conhecimento abstrato em concreto. A interação entre a universidade, engenheiro acústico e a sociedade também é apresentada e esclarecida. A inserção dos graduados no mercado de trabalho e seus locais de atuação são apresentados como resultados. Como parte fundamental da formação do engenheiro, a infraestrutura utilizada, seja ela de ponta ou de equipamentos com custo acessível, é detalhada no contexto do ensino e da pesquisa. Finalmente, alguns dos projetos de pesquisa em andamento são descritos.

**Palavras-chave:** ensino, graduação, acústica, universidade, ensino ativo, engenharia.

**PACS:** 01.40.-d, 43.10.Sv, 43.10.Qs.

★ *Data in English available in the next page.*

★ *Dados em inglês disponíveis na próxima página.*

## Acoustical engineering: A complete academic undergraduate program in Brazil

### Abstract

*This article is a Portuguese translation of the article originally published in 2022 in the special issue on Education of the Journal of the Acoustical Society of America (its layout has been made similar to the original). The article describes various aspects of the Acoustical Engineering Program created at UFES. Reproduced from “William D’Andrea Fonseca, Eric Brandão, Paulo H. Mareze, Viviane S. G. Melo, Roberto A. Tenenbaum, Christian dos Santos, Dinara Paixão; Acoustical engineering: A complete academic undergraduate program in Brazil. J. Acoust. Soc. Am. 1 August 2022; 152 (2): 1180–1191. <https://doi.org/10.1121/10.0013570>”, with the permission of the Acoustical Society of America.*

### ★ Original abstract

Acoustics is a broad field of knowledge that extends branches all over the physics of wave phenomena, psychology, natural sciences, and engineering. It is taught, in general, as part of engineering, physics, or architecture programs, or even in graduate programs specialized in the theme. In Brazil, acoustics was taught in graduate programs until the creation of Acoustical Engineering in 2009, at the Federal University of Santa Maria, an integral undergraduate program dedicated to acoustics, audio, and vibration (lasting ten semesters). This article presents its complete academic program, its creation process, and the professional establishment of the acoustical engineer. In the following, the program of study and subjects are elucidated and detailed, and the teaching methodologies used are also discussed. The program employs several active learning strategies, like project-based learning, aiming to transform abstract into concrete knowledge. The interaction of the university, the acoustical engineer, and society is also presented and clarified. The placement of graduates in fields and their workplaces are presented as outcomes. As a fundamental part of the engineer’s formation, the infrastructure used, whether state-of-the-art or cost-effective equipment, is detailed in the context of teaching and research. Finally, some of the ongoing research projects of the students are described.








**Keywords:** teaching, undergraduate, acoustics, university, active learning, engineering.

**PACS:** 01.40.-d, 43.10.Sv, 43.10.Qs.

★ *Data in Portuguese available in the previous page.*

★ *Dados em português disponíveis na página anterior.*

## Engenharia Acústica: Um curso acadêmico completo de graduação no Brasil <sup>a)\*</sup>

William D'Andrea Fonseca, <sup>b)</sup>  Eric Brandão, <sup>b)</sup>  Paulo H. Mareze, <sup>b)</sup>  Viviane S. G. Melo, <sup>b)</sup>   
Roberto A. Tenenbaum, <sup>b)</sup>  Christian dos Santos, <sup>b)</sup>  and Dinara Paixão <sup>b)</sup> 

*Engenharia Acústica, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Avenida Roraima 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, 97105-900 Santa Maria, RS, Brasil*

### RESUMO:

A acústica é um campo amplo de conhecimento que abrange diversos ramos da física dos fenômenos ondulatórios, psicologia, ciências naturais e engenharia. Geralmente, é ensinada como parte de programas de engenharia, física ou arquitetura, ou até mesmo em programas de pós-graduação especializados no tema. No Brasil, a acústica era ensinada apenas em programas de pós-graduação até a criação do curso de Engenharia Acústica (EAC) em 2009, na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), um curso de graduação integral dedicado à acústica, áudio e vibração (com duração de dez semestres). Este artigo apresenta seu programa acadêmico completo, o processo de criação e o estabelecimento profissional do engenheiro acústico. Em seguida, o programa de estudos e as disciplinas são elucidados e detalhados. Além disso, as metodologias de ensino utilizadas também são discutidas. O curso emprega diversas estratégias de aprendizagem ativa, como a aprendizagem baseada em projetos, visando transformar o conhecimento abstrato em concreto. A interação entre a universidade, engenheiro acústico e a sociedade também é apresentada e esclarecida. A inserção dos graduados no mercado de trabalho e seus locais de atuação são apresentados como resultados. Como parte fundamental da formação do engenheiro, a infraestrutura utilizada, seja ela de ponta ou de equipamentos com custo acessível, é detalhada no contexto do ensino e da pesquisa. Finalmente, alguns dos projetos de pesquisa em andamento são descritos. © 2022 Acoustical Society of America. <https://doi.org/10.1121/10.0013570>

(Recebido em 21 de dezembro 2021; revisado em 19 de julho de 2022; aceito em 28 de julho de 2022; publicado online em 25 de agosto de 2022)

[Editor: Preston Scot Wilson]

Páginas (original): 1180–1191

### I. INTRODUÇÃO

A engenharia se ocupa da resolução de problemas e da construção de dispositivos utilizando da ciência e da matemática como ferramentas principais. A partir dessa perspectiva, surgiram diversos ramos da engenharia focados em áreas específicas do conhecimento, como as Engenharias Elétrica, Mecânica, Civil, Aeroespacial e Acústica, entre diversas outras. Embora cada uma seja única, todas compartilham conteúdos em comum. O campo da acústica reúne conteúdo de diversas disciplinas, criando seu próprio domínio multidisciplinar de conhecimento. Portanto, a Engenharia Acústica compreende, em geral, a coleção de informações e conhecimentos relacionados ao som e à vibração, conforme relatado por Robert Bruce Lindsay<sup>1</sup> (em sua “*wheel of acoustics*”, conhecida também como “*mandala da acústica*”).

O ensino de engenharia tem sido um desafio desde o início do sistema universitário de ensino superior. Para que se alcance o objetivo de formar engenheiros qualificados, torna-se imprescindível a compreensão inicial das ferramentas das disciplinas de matemática e física. Assim, estudos avançados de matemática, cálculo e física são tradicionalmente ensinados nas primeiras fases de um curso superior de engenharia. Para muitos estudantes, isso é visto como um obstáculo, dado o caráter abstrato que tais disciplinas podem assumir. Na etapa intermediária até a conclusão da

graduação, lecionam-se componentes curriculares mais específicos e aplicados à área profissional escolhida. O desafio do educador permanece: como modelar, orientar e promover um conhecimento indelével a partir de um conjunto de aulas e atividades práticas?

A engenharia acústica, sendo um campo científico relativamente novo, era tradicionalmente ensinada em poucas disciplinas dentro dos cursos de graduação como parte dos currículos de Engenharia Elétrica, Mecânica, Civil e Arquitetura. Tradicionalmente, programas de pós-graduação (e especialização) eram os meios pelos quais estudantes e professores podiam focar mais especificamente nos temas de acústica, buscando e desenvolvendo investigações mais complexas e sofisticadas. No Brasil, o cenário não era diferente. Somente no ano de 2009 estabeleceu-se o primeiro curso pleno de graduação em Engenharia Acústica (EAC), no sul do país, na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Esse marco promoveu avanços no campo da engenharia acústica e no desenvolvimento de uma compreensão científica mais aprofundada sobre o som e seus efeitos, beneficiando a sociedade brasileira.

Na literatura referente ao ensino de “acústica”, encontram-se relatos de experiências aplicadas em disciplinas específicas<sup>2–4</sup>, de cursos optativos de acústica

\*Reproduced from “William D'Andrea Fonseca, Eric Brandão, Paulo H. Mareze, Viviane S. G. Melo, Roberto A. Tenenbaum, Christian dos Santos, Dinara Paixão; Acoustical engineering: A complete academic undergraduate program in Brazil. *J. Acoust. Soc. Am.* 1 August 2022; 152 (2): 1180–1191. <https://doi.org/10.1121/10.0013570>”, with the permission of the Acoustical Society of America.

<sup>a)</sup> Este artigo faz parte de uma edição especial sobre Educação em Acústica do *Journal of the Acoustical Society of America*.

<sup>b)</sup> E-mail: will.fonseca@eac.ufsm.br

em universidades<sup>5,6</sup>, de abordagens experimentais em laboratório<sup>7,8</sup>, de ferramentas interativas<sup>9,10</sup> e/ou de técnicas aplicadas a campos específicos<sup>11-13</sup>. Diferente desses estudos, o presente artigo oferece e discute informações fundamentais acerca de um curso completo de graduação em acústica. Embora seja usualmente denominado “acústica”, o programa do curso abrange também temas como áudio, vibrações e outros assuntos correlatos.

Ao longo deste artigo, diversos aspectos relacionados à graduação em Engenharia Acústica (EAC) são delineados. Convém salientar que se trata do primeiro e, até o momento, único curso de graduação em Engenharia Acústica no Brasil. Além disso, é importante considerar que o Brasil é um país em desenvolvimento, enfrentando desafios econômicos, educacionais e sociais, o que deve ser levado em conta durante a leitura do artigo. O texto está estruturado da seguinte forma: na Seção II, são apresentadas a fundação do curso da EAC e a regulamentação da carreira associada ao engenheiro(a) acústico(a). Na Seção III, é fornecido um esboço do programa, mostrando o currículo de estudos, as estratégias de ensino e o papel da pesquisa. Na Seção IV, discute-se o papel do(a) engenheiro(a) acústico(a) na sociedade brasileira. Na Seção V, são abordadas a infraestrutura já existente, bem como alguns projetos de desenvolvimento em andamento. Finalmente, a Seção VI apresenta as conclusões.

**II. ESTABELECIMENTO DO PROGRAMA E DA PROFISSÃO**

Os cursos de graduação em engenharia no Brasil têm duração de cinco anos (para obtenção do diploma de bacharel). Durante os primeiros cinco semestres do currículo do curso de Engenharia Acústica (EAC), o ensino é focado sobretudo nos aspectos matemáticos e físicos básicos da área (por exemplo, Cálculo, Álgebra Linear, Equações Diferenciais, Variáveis Complexas, Física Clássica etc.), bem como em disciplinas introdutórias específicas da carreira (por exemplo, Acústica Musical, Fundamentos de Acústica, Fundamentos de Vibrações, Sinais e Sistemas etc.). Na segunda metade do curso, a formação torna-se mais especializada nos conteúdos ligados ao campo da engenharia (por exemplo, Processamento Digital de Sinais para Acústica, Acústica de Salas, Controle de Ruído e Vibrações, Instrumentação, Psicoacústica, Acústica Subjetiva, Métodos Numéricos e Experimentais etc.) — veja a Seção III A para demais pormenores.

A EAC constitui o primeiro curso de graduação integral em acústica estabelecido no país — até o presente momento, é o único com essa natureza. O curso encontra-se na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), situada na região

central do estado do Rio Grande do Sul, o mais meridional do Brasil. A criação do curso na UFSM foi viabilizada pela existência de um grupo de pesquisa vinculado ao Departamento de Engenharia Civil. Ao longo deste artigo, evidencia-se que o curso da EAC apresenta um escopo amplo, que abrange temas também correlatos à Engenharia Civil, tais como isolamento acústico, acústica arquitetônica, entre diversos outros. Como a acústica é um campo multidisciplinar, a Figura I sintetiza as áreas de conhecimento vinculadas ao curso — a lista completa de disciplinas consta na Tabela I.

O curso teve início em 2009, dentro das diretrizes federais do Programa REUNI, financiado pelo Governo Federal com o intuito de expandir as universidades federais e promover diferentes competências no país. Quatro anos depois de sua criação, o curso passou por avaliação, sendo aprovado e reconhecido pelo Ministério da Educação (MEC), responsável pela formulação e execução das políticas nacionais de ensino em todos os níveis (da educação infantil à formação profissional). Após a homologação ministerial, o curso recebeu autorização para iniciar o processo de certificação profissional e regulamentação, conforme descrito na Seção II A. Nas universidades federais brasileiras não há cobrança de mensalidades. O ingresso na instituição dá-se por meio de processo seletivo, e a concorrência por vaga pode ser elevada dependendo do curso. Anualmente, são ofertadas 40 vagas para a EAC. Recentemente, em 2021, a EAC voltou a ser premiada com cinco estrelas no Guia de Universidades<sup>14</sup>, um dos mais conceituados guias do país.

Quando uma turma conclui todas as disciplinas, há uma solenidade formal de colação de grau (contando com a presença do coordenador do curso, do diretor de centro e do reitor). Para a ocasião, cada curso na UFSM possui um logotipo próprio — o da EAC está disponível no site oficial<sup>15</sup>.

**A. Regulamentação profissional**

Para que se possa exercer plenamente a função de engenheiro(a) no Brasil, é necessário concluir, no mínimo, um curso de graduação em engenharia com duração de cinco anos e efetuar o registro em um dos Conselhos Regionais de Engenharia (CREA). Uma vez que a profissão esteja formalmente reconhecida, esse conselho regional emite uma carteira de identificação profissional, possibilitando a atuação em atividades ligadas à respectiva formação (por exemplo, ser legalmente e tecnicamente responsável por um projeto acústico ou por um relatório de medições). Para cada modalidade de engenharia, as atribuições profissionais são definidas pelo Conselho Federal de Engenharia e Agronomia (CONFEA),

**Engenharia Acústica**

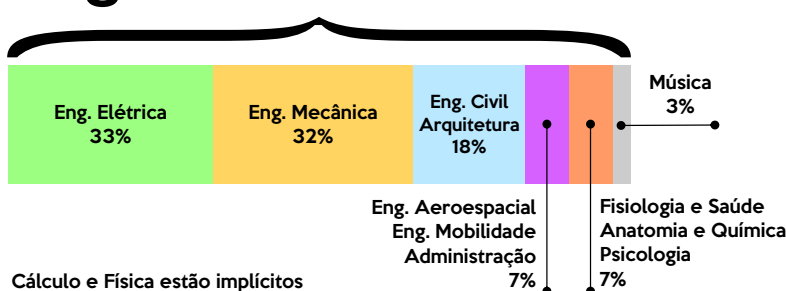


Figura 1. Resumo do conteúdo de conhecimento da Engenharia Acústica (EAC)\*.

Tabela I. Grade de disciplinas ao longo dos cinco anos do curso (os semestres estão dispostos em colunas)\*.

Bacharel(a) em Engenharia Acústica				
1º Semestre	2º Semestre	3º Semestre	4º Semestre	5º Semestre
MTM1019 Cálculo A (90h)	MTM1020 Cálculo B (90h)	EAC1002 Ciência dos Materiais (60h)	ELC1022 Algoritmos e Programação (90h)	EAC1004 Fundamentos de Acústica (75h)
FSC1024 Física Geral e Experimental I (75h)	FSC1025 Física Geral e Experimental II (75h)	FSC1026 Física Geral e Experimental III (90h)	EAC1003 Fundamentos de Engenharia Civil (60h)	STC1009 Estatística A (60h)
EAC1000 Introdução à Engenharia Acústica (45h)	MTM1039 Álgebra Linear B (90h)	MTM1021 Equações Diferenciais A (60h)	MTM1022 Equações Diferenciais B (60h)	DEQ1040 Fenômenos de Transporte de Momento (60h)
EAC1008 Música para Eng. Acústica I (30h)	EAC1009 Música para Eng. Acústica II (30h)	EAC1010 Música para Eng. Acústica III (30h)	EAC1011 Música para Eng. Acústica IV (30h)	ELC1026 Circuitos Elétricos I (60h)
EPG1019 Noções de Geometria Descritiva (45h)	EPG1020 Noções de Desenho Técnico (45h)	ECC1020 Elementos de Mecânica e Resistência dos Materiais (60h)	DEQ1039 Termodinâmica Geral (60h)	ELC1029 Fundamentos de Eletrônica (60h)
QMC1031 Química Geral (30h)	EAC1001 Ruído, Vibrações e o Ser Humano (45h)	MTM224 Métodos Numéricos Computacionais (60h)	MTM310 Variável Complexa (60h)	DPS1027 Engenharia Econômica (60h)
6º Semestre	7º Semestre	8º Semestre	9º Semestre	10º Semestre
EAC1012 Acústica Ambiental (60h)	EAC1015 Acústica nas Edificações (75h)	EAC1021 Acústica Subjetiva (60h)	EAC1026 Caixas Acústicas (60h)	EAC1030 Estágio Profissional (210h)
EAC1013 Acústica de Salas (60h)	EAC1016 Controle de Vibrações (60h)	EAC1025 Eletroacústica II (60h)	DPS1026 Empreendedorismo (60h)	
ELC1027 Circuitos Elétricos II (60h)	EAC1017 Eletroacústica I (60h)	EAC1027 Métodos Experimentais em Acústica e Vibrações (60h)	EAC1022 Métodos Numéricos em Acústica e Vibrações (60h)	
EAC1014 Controle de Ruído (60h)	EAC1018 Instrumentação em Acústica e Vibrações (60h)	EAC1007 Processamento Digital de Sinais II (60h)	EAC1028 Técnicas de Gravação (75h)	
DPEE1086 Eletrônica Aplicada e Instrumentação (60h)	EAC1006 Processamento Digital de Sinais I (60h)	EAC1023 Sonorização Experimental (60h)	EAC1020 Trabalho de Conclusão de Curso II (30h)	
EAC1005 Fundamentos de Vibrações (75h)	EAC1019 Psicoacústica (75h)	EAC1024 Sonorização Teórica (60h)	EAC1033 Projeto Sonoro (60h)	
EAC1031 Metodologia de Pesquisa em Engenharia (30h)	EAC1020 Trabalho de Conclusão de Curso I (30h)	EAC1032 Auralização (60h)	DPS1009 Engenharia Econômica (45h)	
EAC1034 Introdução a Sistemas Lineares (60h)	DPS1023 Engenharia de Segurança (45h)	EAC1036 Eletrônica Aplicada ao Áudio (60h)		
Qualquer semestre				
MSC2215 Áudio Digital Multipista IV (30h)	ISP1067 Ciência Política (30h)	DAU3063 Conforto Ambiental III (45h)	EPG1011 Desenho Digital para Eng. Civil (60h)	JUR1024 Direito Ambiental (30h)
HST1042 História e Cultura Afro-Brasileira (45h)	HST1120 História e Cultura Afro-Brasileira A (60h)	EDE1114 Língua Brasileira de Sinais I (60h)	DCG2249 Tópicos Especiais Multidisciplinares (60h)	DCG2248 Tópicos Especiais em Engenharia Acústica (60h)
<b>Legenda</b>	<b>Disciplinas obrigatórias</b>		<b>Disciplinas complementares</b>	

após a realização de discussões oficiais. Os cursos de graduação, aprovados pelo Ministério da Educação, podem ser registrados como instituições que oferecem um programa educacional que está em conformidade com uma lista de competências dos conselhos de engenharia estadual e federal.

A profissão de “engenheiro(a) acústico(a)” não existia no Brasil antes de 2009. A criação dessa nova profissão teve início com discussões locais no CREA do Rio Grande do Sul. Após a análise do curso de graduação, o conselho regional reconheceu que as competências oferecidas pelo programa permitiriam o exercício de atividades de engenharia, necessitando, porém, de regulamentação específica. Assim, o CREA encaminhou o processo ao CONFEA, que avaliou o curso e sua documentação. O conselho federal

elaborou, então, um documento e o tornou público para consulta e manifestações de todos os conselhos regionais do país, bem como da sociedade brasileira em geral. Decorridos os ajustes legais, foi publicada, em 24 de agosto de 2016, a Resolução n° 1078<sup>16</sup>, listando as atividades e atribuições do engenheiro(a) acústico(a) e adicionando esse título profissional à tabela oficial de profissões dos conselhos nacional e regionais. Dessa forma, concretizou-se o nascimento formal do(a) engenheiro(a) acústico(a) no Brasil.

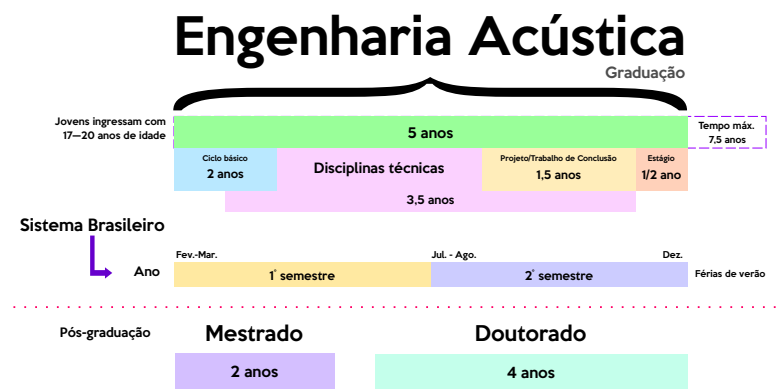


Figura 2. Sistema de ensino superior brasileiro: conteúdo resumido da Engenharia Acústica; sistema semestral regular (verão/inverno); e duração dos cursos de pós-graduação\*.

### B. Educação continuada em acústica na UFSM

A graduação representa a etapa inicial da carreira profissional. O aprofundamento em acústica ocorre por meio de cursos de mestrado e/ou doutorado, os quais dão ênfase a atividades de pesquisa na área. No Brasil, um curso de mestrado dura, em geral, dois anos. Após o primeiro ano, em que o(a) estudante cursa disciplinas avançadas, realiza-se o exame de qualificação para avaliar a viabilidade e a relevância do projeto de pesquisa. Tendo sido aprovado(a) nessa etapa, o segundo ano é dedicado à execução do projeto, que pode envolver um estudo analítico, numérico e/ou experimental supervisionados — findando em uma defesa pública, com banca formada por profissionais da área. Por sua vez, o doutorado possui duração típica de quatro anos, também envolvendo estudo e pesquisa. Em um curso de doutorado em engenharia acústica, a qualificação ocorre ao final do segundo ano, verificando a viabilidade, relevância e originalidade do projeto de pesquisa. A defesa final, em geral, ocorre ao término do quarto ano, tendo a banca composta por ao menos cinco especialistas (com título de doutor) em áreas correlatas. A Figura II apresenta um resumo do sistema brasileiro de ensino superior.

Na UFSM, os programas de mestrado e doutorado em acústica estão vinculados a cursos mais abrangentes, como o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. No âmbito da Engenharia Civil, as pesquisas concentram-se em conforto acústico, abrangendo temas como acústica de salas, isolamento sonoro, caracterização de materiais acústicos e simulações computacionais de ambientes. Por outro lado, na Engenharia Mecânica, as pesquisas enfatizam aspectos vibroacústicos, como controle de ruído e vibrações, acústica numérica e caracterização de fontes sonoras, com foco em aplicações industriais. Ressalta-se que não há exigência de que o(a) candidato(a) ao mestrado ou doutorado possua diploma em Engenharia Acústica. Muitos ingressam após concluírem outras graduações, tais como Engenharia Elétrica, Mecânica, Civil, Automação, Arquitetura ou Física. Essa natureza interdisciplinar da acústica atrai engenheiros, arquitetos e físicos interessados em uma formação mais aprofundada na área. Neste artigo, dados adicionais sobre pesquisas em andamento serão apresentados na Seção VB.

### III. ESTRUTURA DO CURSO DE GRADUAÇÃO

A matriz curricular busca ser inovadora e moderna. Dessa forma, durante o ano de 2021, iniciaram-se discussões para a reformulação do currículo original, concebido na ocasião da criação do curso. A seguir, detalham-se a grade do curso vigente e as estratégias de ensino adotadas.

### A. Programa de estudos e ensino online

No Brasil, todo curso de engenharia deve cumprir uma carga horária mínima (aprovaada pelo Ministério da Educação, MEC) em três blocos distintos da graduação. No caso de EAC, tem-se: o ciclo básico (abrangendo matemática e física, totalizando 1260 horas), o ciclo técnico (direcionado à construção do conhecimento específico dessa modalidade de engenharia, com 720 horas) e, por fim, o ciclo profissional (que inclui disciplinas aplicadas e práticas, com 1395 horas). Ao longo do curso, há componentes curriculares obrigatórios e optativos. Nos dois últimos anos, realiza-se um Trabalho de Conclusão de Curso (TCC, veja a Seção III B). O último semestre (geralmente o décimo) é inteiramente dedicado a um estágio curricular em empresa ou instituição que atue com áudio, acústica ou vibrações. No site da universidade<sup>15,17</sup>, é possível consultar cada plano de ensino, sendo que os nomes das disciplinas encontram-se sintetizados na Tabela I (organizadas por semestre, em colunas).

Exige-se, ainda, que estudantes cumpram frequência de 75% nas aulas presenciais, enquanto as atividades online podem ocorrer de maneira síncrona (no mesmo horário da aula) ou assíncrona (por meio de gravações). As notas variam de 0 a 10, sendo 7 a pontuação mínima para aprovação. As disciplinas possuem pré-requisitos, e o(a) estudante só poderá cursá-las caso satisfaça esses critérios.

As aulas são tradicionalmente ministradas presencialmente, como um curso em sala de aula. Elas são distribuídas ao longo do dia, ou seja, manhã, tarde e início da noite (isso é chamado de curso de tempo integral no Brasil). No entanto, uma fração da carga horária das disciplinas pode ser realizada de forma remota/online. As turmas, em geral, contam com menos de 40 estudantes, o que favorece a adoção de estratégias de *aprendizagem ativa*<sup>18-20</sup>. Os alunos também têm atividades extracurriculares (pelo menos 365 horas) — as novas diretrizes (implementadas em 2020) incluem também atividades de extensão (apoio à comunidade), bem como seminários, palestras e participação em eventos. Desde 2020, houve grande avanço nas tecnologias para aulas remotas, permitindo a realização de experimentos virtuais, bancadas de teste online e experiências simples em casa, caso não seja possível o acesso físico aos laboratórios.

Todas as aulas online são gravadas (seja de modo síncrono ou assíncrono), de modo que os(as) estudantes possam rever o conteúdo posteriormente. Além disso, em caso de problemas de conexão, a gravação permite o acompanhamento da aula em outro momento. A instituição oferece diversas plataformas de gerenciamento de aulas, como Moodle e Google Classroom, ficando a cargo de cada professor(a) decidir qual sistema e metodologia serão adotados na disciplina.

## B. Estratégias de ensino

O curso adota diferentes estratégias de ensino modernas, variando conforme a disciplina e o(a) docente responsável. Diversas técnicas de *Aprendizagem Ativa (Active Learning, AL)*<sup>21,22</sup> são combinadas<sup>18</sup> (por exemplo, *collaborative learning* [aprendizado colaborativo] e *Project/Problem-Based Learning* [PBL, aprendizado baseado em projeto/problema]), de modo a estimular o(a) estudante a aprender na prática, isto é, por meio de atividades *mão na massa*<sup>23</sup>. Essa abordagem converte o conteúdo abstrato em conhecimento concreto. O método PBL<sup>13,24–27</sup> tem sido amplamente aplicado em disciplinas de cunho técnico e profissional. Também se fazem presentes práticas de sala de aula invertida (*flipped classroom*), trabalhos em grupo e seminários ao longo do curso.

Um exemplo de projeto encontra-se na disciplina de Acústica de Salas, na qual os(as) estudantes devem integrar todo o conhecimento adquirido para entregar, ao final do semestre, um projeto completo que também inclua simulações. Entre os estudos de caso, destacam-se igrejas, auditórios, salas de controle/mixagem, teatros, dentre outros. Ademais, certos trabalhos (e/ou projetos) são desenvolvidos de forma integrada entre disciplinas do mesmo semestre. No oitavo semestre, por exemplo, o Projeto Integrado envolve as disciplinas Processamento Digital de Sinais 2, Auralização e Acústica Subjetiva, em grupos de, geralmente, 3 a 5 integrantes. Assim, os(as) estudantes precisam abordar aspectos distintos do problema, obtendo notas específicas em cada disciplina — além de desenvolverem uma visão mais ampla via integração entre diferentes domínios. Geralmente, essas atividades são realizadas em equipes, com avaliação gradual das etapas ao longo do semestre e apresentação final em formato de seminário. Esse tipo de atividade (PBL) compõe a maior parte da nota de um semestre. A seguir, apresenta-se o depoimento de um estudante:

O Trabalho Integrado do oitavo semestre é uma figura bem conhecida entre os estudantes de Engenharia Acústica. Desde os primeiros semestres, já ouvia as histórias dos veteranos e aguardava ansiosamente a minha vez de participar. Considero que minha experiência foi fundamental para a minha formação, pois me estimulou a buscar conhecimento e desafiou minha capacidade de assimilação. Além disso, desenvolveu meu trabalho em grupo e minhas habilidades de síntese de informações, uma vez que foi preciso escrever e preparar uma grande apresentação no final da disciplina. Foi fantástico aplicar e integrar todos esses aprendizados (com aspectos práticos) nas três disciplinas. [Felipe Ramos de Mello (previsão de conclusão: 2022), em estágio no décimo semestre.]

As disciplinas também são planejadas de modo a estabelecer conexões seriadas entre semestres. Alguns exemplos (com o respectivo semestre entre parênteses) ilustram essa progressão, veja a seguir.

- (1) Em Acústica de Salas (sexto), estuda-se o tema e realiza-se o projeto acústico de um ambiente específico. Já em Instrumentação para Acústica e Vibrações (sétimo), exploram-se equipamentos e técnicas de medição. Em Processamento Digital de Sinais 2 (oitavo), medem-se respostas ao impulso em salas reais (um canal e biauriculares), então, faz-se o janelamento

temporal e as auralizações para a disciplina de Auralização (oitavo). Por fim, em Acústica Subjetiva (oitavo), conduzem-se testes de escuta.

- (2) Após cursar Circuitos I e II (quinto–sexto), o(a) estudante ingressa em Eletroacústica (sétimo), em que se abordam princípios de alto-falantes e microfones. Em seguida, em Alto-falantes e Caixas Acústicas (nono), aprofundam-se aspectos ligados a medições acústicas dos transdutores, enquanto em Métodos Experimentais para Acústica e Vibrações (oitavo ou nono), realizam-se medições dos parâmetros Thiele-Small de um alto-falante. Dependendo do ano, eventualmente, também se investigam simulações numéricas (Métodos de Elementos Finitos e de Contorno, FEM e BEM) em Métodos Numéricos para Acústica e Vibrações (nono).

Muitos trabalhos são realizados no laboratório, seja com equipamentos de última geração ou com equipamentos de menor custo. Isso promove as habilidades com equipamentos comerciais (como em uma *caixa preta*) e com cada etapa da cadeia de medição, pois os equipamentos custo-efetivos exigem muito mais cuidado (consulte a Seção VB para obter mais informações).

Paralelamente às atividades de sala de aula, existe a possibilidade de participar de pesquisas multidisciplinares, o que enriquece e acelera o processo de aprendizagem, além de oferecer contato prévio com a instrumentação do laboratório. Como o curso tem duração de dez semestres, o Trabalho/Projeto de Conclusão de Curso (TCC) é iniciado, em geral, a partir do sexto ou sétimo semestre. Recomenda-se um intervalo de 1,5 a 2 anos para o desenvolvimento consistente do projeto. O(A) estudante pode optar por integrar pesquisas em andamento ou propor uma nova investigação. Nesse período, adquire habilidades de autoaprendizagem, aprimoramento em programação e aprofundamento em um tema específico. Ao final, é comum a publicação dos resultados em eventos científicos ou periódicos.

As estratégias de AL têm trazido melhorias na experiência de ensino e aprendizagem. Contudo, alguns(as) estudantes podem demonstrar resistência ao PBL, argumentando falta de interesse pessoal em certo tema. Esse cenário pode gerar desequilíbrios entre grupos de aprendizagem colaborativa, uma vez que se espera um nível mínimo de engajamento de cada integrante. Não há solução imediata para o(a) professor(a) nesse tipo de questão — sobretudo em atividades colaborativas. Outra dificuldade das metodologias ativas no Brasil advém do contraste com o ensino fundamental e médio, geralmente passivo e baseado em avaliações exclusivamente escritas. O engajamento no PBL tende a se tornar mais fluido após um ou dois semestres de prática dessas técnicas. Em geral, tais abordagens passam a ser empregadas a partir do quinto semestre, pois o ciclo básico, conduzido por outros departamentos, muitas vezes permanece centrado em metodologias tradicionais e ainda não incorpora plenamente as novas tecnologias. Consequentemente, estudantes fazem uma transição gradual do aprendizado passivo para o AL. Todavia, é comum que o corpo docente precise visitar elementos essenciais de matemática e física, por exemplo.

Em muitos casos, quantificar a eficácia das metodologias ativas em termos numéricos pode se revelar difícil ou complexo (conforme apontado por Prince<sup>18</sup>). No caso da

EAC, isso também acontece devido ao fato de os alunos terem pelo menos três anos de aulas com todos os professores do curso. Portanto, mesmo com questionários com nomes ocultos, são esperados desvios. Em contrapartida, o retorno de estudantes, egressos(as) e da sociedade (tanto de quem contrata quanto de quem trabalha junto) auxilia a identificar lacunas e acertos, à medida que esses profissionais seguem sua trajetória.

### C. Produção e incorporação de pesquisa

Os(as) docentes do curso de EAC atuam, em geral, em três grandes linhas de pesquisa. A primeira relaciona-se ao conforto acústico, envolvendo métodos computacionais de acústica de salas, caracterização de materiais acústicos, tecnologias de isolamento sonoro e qualidade sonora em ambientes internos. A segunda área concentra-se em vibroacústica, com ênfase em análise numérica de vibrações e problemas acoplados, além de controle de ruído e vibrações. A terceira área abrange eletroacústica<sup>28</sup> e técnicas de processamento de sinais, envolvendo microfones, instrumentação, quantificação e localização de fontes sonoras, imageamento acústico e técnicas digitais em acústica. Por se tratar de um domínio multidisciplinar, há interseções frequentes entre as linhas de pesquisa.

Embora não seja habitual que um artigo desta natureza discuta minuciosamente um tema de pesquisa específico, reconhece-se que a investigação científica ocupa papel central no desenvolvimento social. Por meio da pesquisa, docentes e discentes são instigados a explorar e a ultrapassar as fronteiras já estabelecidas do conhecimento e da tecnologia. Ademais, cada iniciativa de pesquisa traz consigo a oportunidade de difundir conhecimentos à comunidade externa interessada, bem como de incorporar informações àqueles que participam do projeto. Esse processo é essencial para a manutenção e o aprimoramento constante do curso.

Vale ressaltar que pesquisa e ensino se retroalimentam, beneficiando-se mutuamente. Certos avanços recentes são rapidamente incorporados às disciplinas, atualizando os conteúdos ministrados. Ao mesmo tempo, a curiosidade e o envolvimento de estudantes estimulam o desenvolvimento das pesquisas em voga.

## IV. O(A) ENGENHEIRO(A) ACÚSTICO(A) NA SOCIEDADE

O curso teve início em 2009, graduando a primeira turma de engenheiros(as) acústicos(as) em 2014. Desde então, a cada ano forma-se uma nova leva de profissionais que ingressa no mercado de trabalho, seja no Brasil ou no exterior. Aproximadamente 74% dos(as) egressos(as) atuam no mercado brasileiro, enquanto 26% exercem atividades na América do Norte, Europa ou Ásia. Em relação às áreas de atuação, há casos em que elas se sobrepõem, tornando complexa a classificação individual. Em linhas gerais, 48% trabalham na construção civil, 26% na academia, 15% como consultores(as) independentes (normalmente em paralelo com atividades acadêmicas), 15% em aplicações industriais, 13% em pesquisa e desenvolvimento (via de regra associada à indústria) e 3% em cargos públicos. No cenário brasileiro, a construção civil se destaca, sobretudo após a edição de uma lei exigindo requisitos mínimos de isolamento acústico e a publicação da norma ABNT NBR 15575<sup>29</sup>. Alguns depoimentos de egressos ilustram o panorama profissional, veja a seguir (entre parênteses, o ano de formatura).

Atualmente, trabalho como engenheiro de audiologia e processamento de sinais na Oticon Medical. Também estou finalizando meu doutorado na School of Medicine da Universidade de Nottingham em 2022, no âmbito do projeto europeu Hear-ECO. O aprofundamento físico-matemático e as atividades práticas desenvolvidas durante a graduação na Engenharia Acústica foram fundamentais para meu trabalho atual. Naquela época, foquei em psicoacústica e processamento de sinais, direcionando assim meu percurso acadêmico e profissional. [Sergio Aguirre (2015), engenheiro na Oticon Medical (Dinamarca) e doutorando na Universidade de Nottingham, Reino Unido.]

No momento, atuo na Microflown Technologies em várias frentes (suporte ao cliente, medições de campo e desenvolvimento de produtos). Atualmente, boa parte do trabalho envolve programação embarcada para o campo da acústica. Além da sonda PU, minhas ferramentas favoritas são as linguagens de programação C e Matlab. Entre as disciplinas de que mais gostei, destaco eletroacústica, processamento de sinais, controle de ruído e acústica de salas. A Engenharia Acústica (EAC-UFSM) me forneceu uma base sólida para enfrentar situações complexas no trabalho. [Tales Storani (2019), NVH Application Engineer na Microflown Technologies, Países Baixos.]

Atualmente, sou gerente de engenharia em uma empresa de alto-falantes no sul do Brasil. A EAC me deu uma formação consistente em processamento de sinais, acústica de salas e eletroacústica, que aplico diariamente ao projetar e especificar alto-falantes e caixas acústicas. Os diversos projetos que desenvolvi durante a graduação contribuíram para que eu me tornasse mais organizada, aprendesse a trabalhar em equipe e dominasse *software* comerciais e programação. Considero a matriz curricular muito multidisciplinar, com grande incentivo à pesquisa. Isso, aliado à dedicação dos professores, nos torna profissionais versáteis, aptos a enfrentar diferentes cenários de trabalho. [Priscila da Silva Wunderlich (2018), gerente de Engenharia na Bomber Speakers, Brasil.]

A presença crescente de engenheiros(as) acústicos(as) no mercado fomenta o desenvolvimento de setores como projeto acústico e controle de ruído e vibrações. Além disso, tais profissionais contribuem para a conscientização acerca de problemas relacionados ao ruído, ainda muito recorrentes em países em desenvolvimento como o Brasil. A mitigação de ruídos é uma demanda complexa e persistente em edificações e produtos. Somente com profissionais capacitados(as) é possível abordar de forma efetiva esses desafios, impactando positivamente a qualidade de vida da sociedade.

### A. Comunidade, projetos sociais e atividades de extensão

O curso desenvolve diversas iniciativas que se relacionam diretamente com a comunidade da cidade de Santa Maria, RS, e/ou de outras regiões do Brasil. Em geral, trata-se de projetos de extensão e ações sociais, que visam compartilhar conhecimento e oferecer suporte à população de maneira mais direta. Localmente, destacam-se dois projetos principais que abordam questões de ruído em hospitais e em escolas. Nesses projetos, professores e estudantes pesqui-



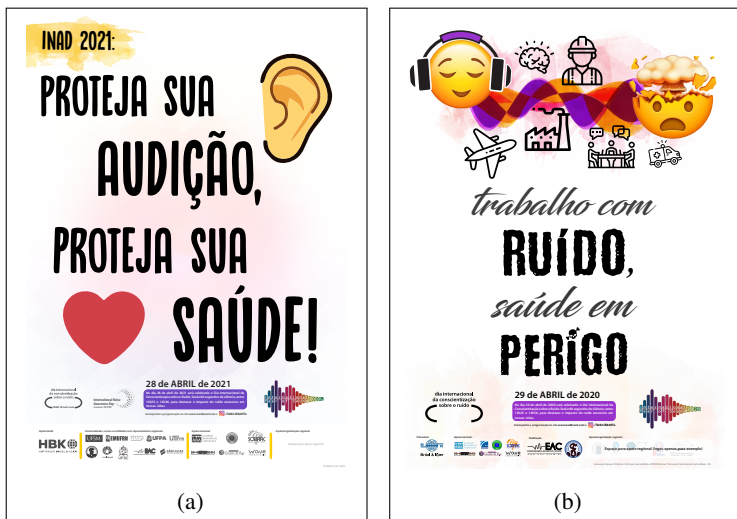


Figura 3. Pôsteres brasileiros do INAD 2021 “Proteja sua audição, proteja sua saúde!” e 2020 “Trabalho com ruído, saúde em perigo”\*

sam soluções, realizam medições e propõem melhorias no contexto do receptor e da acústica ambiental.

A UFSM inaugurou a primeira Empresa Júnior da América Latina com foco em acústica, áudio e vibrações. Trata-se de uma iniciativa gerida por estudantes, com tutoria de professores, atuando de forma independente do orçamento da instituição, mas contribuindo para a infraestrutura universitária. Essa experiência amplia as atividades práticas dos(as) discentes e fortalece habilidades de gestão e de responsabilidade profissional. Já foram realizados projetos em diferentes regiões do país, sobretudo no Sul e no Sudeste.

Ademais, a EAC, em parceria com a Sociedade Brasileira de Acústica (Sobrac)<sup>30</sup>, coordena o braço brasileiro do *International Noise Awareness Day* (INAD)<sup>31</sup>, conhecido nacionalmente como “INAD Brasil”<sup>32,33</sup>. O INAD é uma campanha mundial que busca conscientizar acerca dos efeitos do ruído sobre a saúde e o bem-estar de indivíduos e comunidades. No Brasil, a campanha teve início em 2008, apoiada também pelo curso de Fonoaudiologia e pela Academia Brasileira de Audiologia. Hoje, conta com suporte de universidades, profissionais, empresas e da própria sociedade. Nesse contexto, a EAC e a UFSM desempenham papel relevante, pois frequentemente o material gráfico e multimídia da campanha é produzido por estudantes e docentes. A Figura 3 (b) ilustra os pôsteres das campanhas de 2021 e 2020.

## V. INFRAESTRUTURA

A criação e o desenvolvimento de um novo curso de graduação em engenharia apresentam desafios consideráveis. Além da elaboração de material didático adequado e de aulas em língua portuguesa<sup>34</sup>, faz-se necessário construir os laboratórios para ensino, pesquisa e interação com a sociedade. Nesta seção, discute-se o processo em curso, tanto no que diz respeito às instalações físicas, aos equipamentos de última geração e aos *software* comerciais, quanto ao desenvolvimento de novas tecnologias.

Ao lado do prédio principal do laboratório, há uma sala de computadores/estudos, onde discentes podem realizar simulações, estudar e montar experimentos de pequeno porte. Os professores dispõem de escritórios dedicados para pesquisa e orientação de alunos(as). Além disso, a universidade oferece ampla infraestrutura para as aulas.

## A. Laboratório, instrumentação e *software*

O prédio principal laboratorial do curso da EAC abriga uma câmara reverberante de 207 m<sup>3</sup> [Figura 4 (a)], utilizada para medições de absorção sonora com incidência difusa<sup>35</sup>, potência sonora<sup>36</sup>, entre outros experimentos<sup>37</sup>. Há, ainda, duas câmaras reverberantes de 60 m<sup>3</sup> e 67 m<sup>3</sup>, interligadas, destinadas a ensaios de isolamento a ruído aéreo<sup>38</sup> [Figura 4 (b)], e uma pequena sala para medições de ruído de impacto<sup>39</sup>. Nesse mesmo edifício, encontra-se uma câmara reverberante de dimensões reduzidas<sup>40</sup> (aprox. 1,3 m × 1,4 m × 1,2 m), equipada com uma plataforma giratória para ensaios de espalhamento em dispositivos de pequeno porte [Figura 4 (c)], além de uma câmara anecoica de dimensões 1,6 m × 1,7 m × 2,0 m, voltada às pesquisas de direcionalidade sonora e de aplicações biauriculares [veja a Figura 4 (d)].

Na fase inicial de implementação do curso, foram adquiridos equipamentos de medição de última geração, como microfones de precisão da Brüel & Kjær (B&K, Nærum, Dinamarca), sonômetros modelo 2270 e uma sonda de intensidade acústica de dois microfones. Também estão disponíveis fontes sonoras omnidirecionais (dodecaedros) e máquinas de impacto para caracterização de salas e avaliação de isolamento sonoro. Para medições de vibrações, conta-se com acelerômetros, martelos de impacto e sensores de força (também da B&K), além de fontes sonoras de referência, *rotating booms* e excitadores dinâmicos (*shakers*). Ademais, há uma cabeça artificial (ou manequim, *Head and Torso Simulator*, HATS, da B&K) e fones de ouvido HD-650 (Sennheiser, Wedemark, Alemanha) para aplicações biauriculares e em auralização. Sistemas modernos de aquisição e análise de dados (B&K e National Instruments, Austin, TX), além de equipamentos profissionais de áudio, também estão à disposição.

Ao lado do laboratório, mantém-se um depósito para todo esse aparato, facilitando o acesso e o armazenamento (de forma adequada). O Departamento de Engenharia Acústica dispõe, ainda, de licenças de diversos *software* comerciais utilizados no ensino e na pesquisa, a saber: Odeon e RAIOS 7 (para simulação geométrica de acústica de salas), Bastian (isolamento sonoro em edificações), SoundPlan (previsão de propagação sonora em ambientes externos), VAOne (Métodos de Elementos Finitos — FEM — e Análise Estatística de Energia — SEA), Dirac, Pulse Labshop e Sonoscout

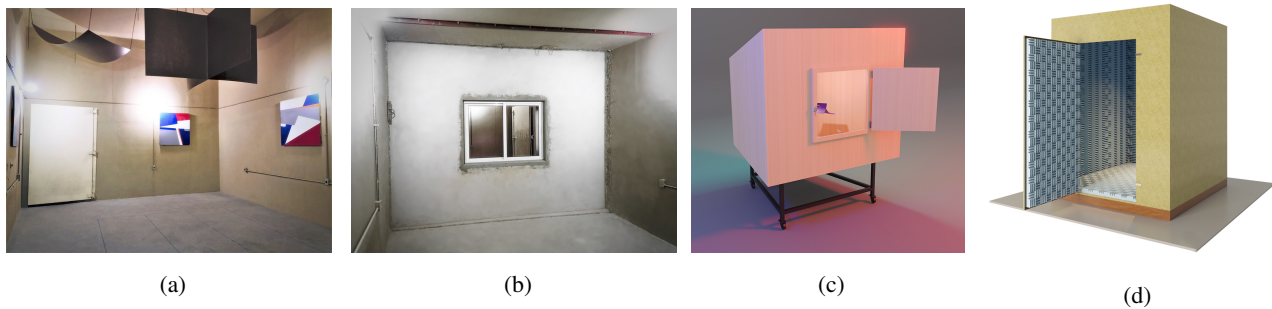


Figura 4. Parte da infraestrutura laboratorial: (a) câmara reverberante grande (207 m<sup>3</sup>); (b) Partição B das câmaras reverberantes (60 m<sup>3</sup> e 67 m<sup>3</sup>) — com uma interface em medição; (c) minicâmara reverberante (com plataforma giratória); e (d) minicâmara anecoica\*.

(medições e análises), e Head Acoustics Artemis (análises psicoacústicas). Paralelamente, professores incentivam os estudantes<sup>41</sup> a trabalharem com o uso de linguagens de programação como Matlab/Octave e Python, seja para a aquisição de dados ou desenvolvimento de novos *software*. Assim, o curso da EAC da UFSM oferece acesso a tecnologias de ponta a seus estudantes e docentes. Além disso, existe ainda parte do equipamento que foi projetado pela própria equipe, como arranjos de microfones e cabeças artificiais (adulto e infantil).

Tais recursos de alto nível contribuem para o avanço das pesquisas e para a preparação dos(as) discentes para o mercado de trabalho. Em contrapartida, busca-se que o(a) estudante compreenda profundamente o funcionamento de cada etapa do processo de medição. Para tanto, também houve investimento em placas de som (equipamentos profissionais); calibradores de tensão; conversores analógico-digitais (ADCs), microcontroladores (MCUs) e sonômetros custo-efetivos; além de ferramentas comerciais e livres de análise, como o ITA-Toolbox<sup>42</sup>. Isso significa que os alunos podem entrar em contato com tarefas de medição que exigem trabalho extra para configurá-las adequadamente. Nessa mesma linha de pensamento, parte do trabalho dos professores é envolver alunos e pesquisadores no desenvolvimento de *software* de simulação, produtos tecnológicos e instalações de medição — que são explorados na próxima seção deste artigo. Os grupos de pesquisa dispõem, ainda, de suas próprias bibliotecas computacionais em desenvolvimento, envolvendo *beamforming*<sup>3</sup>, aquisição de dados, filtragem, DSP, auralização, BEM/FEM, acústica de salas<sup>43,44</sup> e análise modal, entre outras. Alguns projetos estão disponíveis em repositórios abertos no GitHub<sup>45</sup>, enquanto outros permanecem fechados por se encontrarem em fase de elaboração.

## B. Tecnologias em desenvolvimento

O objetivo desta seção é fornecer uma visão geral de alguns dos projetos de pesquisa em desenvolvimento na EAC. Para ser concisa, a apresentação é restrita a projetos em andamento e/ou em fase avançada.

A Figura 5 (a) apresenta uma foto do tubo de impedância (28 mm de diâmetro e 700 mm de comprimento), que foi desenvolvido durante um projeto em parceria com a Embraer (Empresa Brasileira de Aeronáutica). Nesse projeto, o objetivo era avaliar a incerteza na medição de vários parâmetros acústicos de amostras porosas<sup>46</sup>. Assim, o tubo de impedância tornou-se parte do aparato de medição desenvolvido (dentro do conjunto de bancadas). Além da medição da absorção sonora<sup>47</sup>, houve também a medição da perda de transmissão<sup>48</sup>, resistividade do fluxo de ar<sup>49</sup>,

porosidade<sup>50</sup>, tortuosidade<sup>51</sup>, Módulo de Young e fator de perda (amortecimento histerético poroelástico)<sup>52</sup>. Em todos os casos, a incerteza de medição de cada parâmetro foi avaliada medindo-se várias amostras do mesmo material ou medindo-se a mesma amostra diversas vezes.

Na Figura 5 (b), há uma imagem (renderizada) da máquina utilizada para realizar a varredura espacial sequencial do campo sonoro — sendo desenvolvida na UFSM. Esse equipamento faz parte de um projeto de pesquisa em colaboração com instituições internacionais que se concentra na medição *in-situ* das propriedades acústicas dos materiais. O objetivo é desenvolver um sistema que faça medições sequenciais do campo sonoro próximo a um absorvedor (ou um elemento difrator) e, em seguida, possa-se usar as informações espaço-temporais coletadas para medir o coeficiente de absorção, a impedância de superfície<sup>53,54</sup> e os fenômenos de difração<sup>55</sup>. Ademais, com esse aparato, as características espaço-temporais do campo sonoro em salas também podem ser investigadas<sup>56</sup>.

Na Figura 5 (c), observa-se um dos arranjos de microfones empregados em *beamforming*<sup>57,58</sup> para imageamento acústico de fontes estáticas ou em movimento. A sua área útil é de 1,5 m × 1,3 m, contando com 32 microfones em configuração espiral. As medições podem envolver fontes sonoras que transitam (como automóveis)<sup>59–61</sup> ou mesmo elementos rotativos<sup>62,63</sup>. Ademais, a geometria do arranjo é ajustável, tornando-o versátil e apropriado também para aulas práticas acerca do assunto. Além disso, nessa mesma linha de pesquisa, houve também um projeto de parceria com a Marinha do Brasil para aplicações de arranjo de hidrofones subaquáticos<sup>64</sup>.

É possível ver na Figura 5 (d) um dos protótipos do projeto de dispositivos embarcados para medições em acústica, vibração e áudio. Nesse caso específico da figura, trata-se de um medidor de nível sonoro com base em um microfone digital MEMS<sup>65,66</sup> (caixa com cerca de 15 cm × 12 cm). Neste projeto, têm-se desenvolvido dispositivos custo-efetivos com as placas Arduino<sup>67–69</sup>, Teensy<sup>65,70,71</sup> e Raspberry Pi<sup>72–74</sup>.

A Figura 4 (d) mostra a minicâmara anecoica (de dimensões 1,6 m × 1,7 m × 2,0 m) do laboratório. O sistema foi desenvolvido e construído durante um Trabalho de Conclusão de Curso em 2020–2021<sup>75</sup>. Seu principal objetivo é oferecer um espaço adequado para a caracterização da direcionalidade 3D de pequenas fontes sonoras, como pequenos alto-falantes ou fontes de alimentação comutadas.

A Figura 6 (e) apresenta resultados das ferramentas de simulação que estão sendo desenvolvidas na UFSM. A Figura 6 (a) mostra parte de uma ferramenta que simula a medição de propriedades acústicas de materiais *in-situ*. A imagem mostra uma configuração com um absorvedor finito

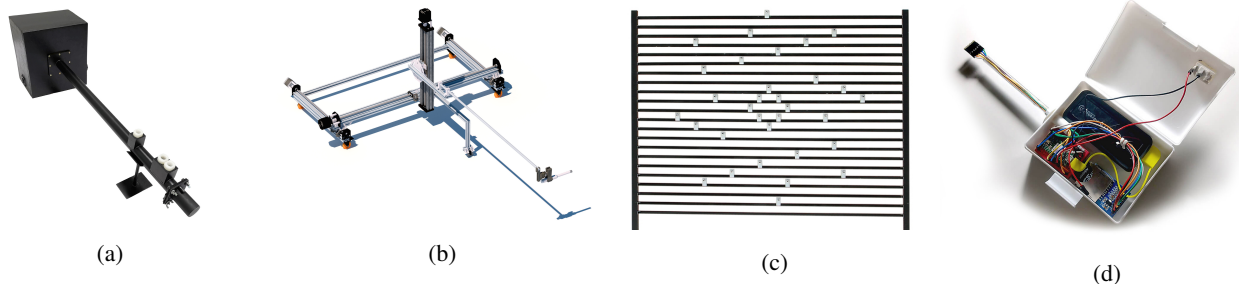


Figura 5. Parte da infraestrutura do laboratório de Engenharia Acústica (UFSM): (a) tubo de impedância; (b) braço de medição de absorção *in-situ*; (c) arranjo de microfones; e (d) protótipo de medidor de nível sonoro MEMS\*.

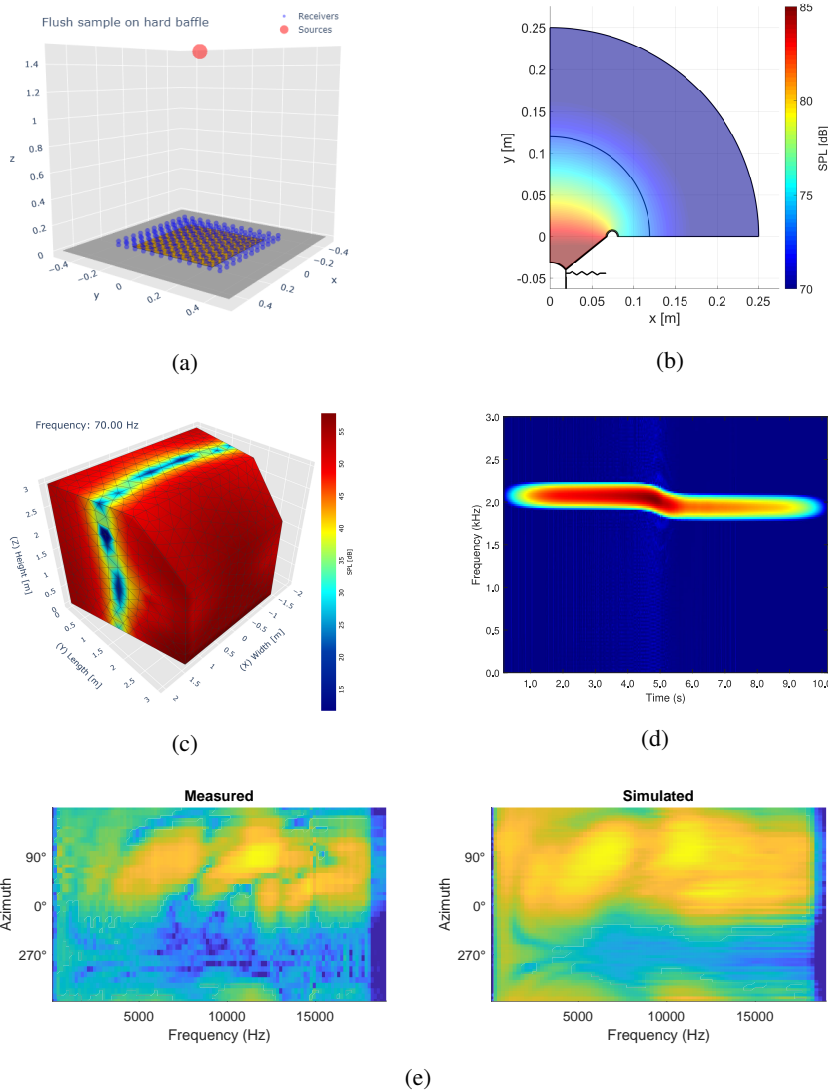


Figura 6. Tecnologia em desenvolvimento: (a) simulação de medições *in-situ*; (b) simulação vibroacústica de alto-falante; (c) formas modais acústicas de uma sala; (d) espectrograma de uma fonte em movimento; e (e) DTFs (partes direcionais das HRTFs) medidas e estimadas via *machine learning* (ML)\*.

em amarelo, uma fonte sonora em vermelho e uma matriz de receptores em azul. Essa ferramenta de simulação foi usada para investigar o efeito de difração de borda durante a medição *in-situ* da absorção sonora com estimativas de um ponto único ou com arranjos de microfones<sup>76,77</sup>. Recentemente, ele foi usado para gerar um conjunto de dados para treinar uma rede neural convolucional usada para estimar a absorção sonora de absorvedores finitos<sup>78</sup>. Outro objetivo, em um futuro próximo, é expandir essa ferramenta para incluir cenários de medição mais complexos, como a medição de difusores e absorvedores finitos não localmente reativos, usando simulações BEM-BEM acopladas, conforme iniciado por Pereira *et al.*<sup>79</sup>

A Figura 6 (b) mostra o resultado da simulação de

um alto-falante irradiando em campo livre (simulação vibroacústica axissimétrica usando modelagem FEM-FEM estrutural-acústica acoplada). Esse projeto faz parte de outro TCC que visa à construção de ferramentas de simulação usando o Método dos Elementos Finitos (FEM) para simular problemas estruturais-acústicos acoplados. O projeto está totalmente implementado na linguagem de programação Matlab e suporta acústica 3D, vibração 3D, domínios acoplados 3D e simulações axissimétricas 2D<sup>80</sup>.

A Figura 6 (c) exibe o resultado de uma simulação do campo sonoro dentro de uma pequena sala de controle irregular (*mode shapes*). Esse projeto também faz parte de um TCC e tem como objetivo criar ferramentas FEM de simulação para computar o comportamento de baixa

frequência da acústica de salas pequenas. O FEM direto ou a análise modal e expansão foram usados<sup>81</sup>. O projeto se concentra na acústica 3D e é totalmente implementado em Python com aceleração Numba<sup>82</sup>.

A Figura 6 (d) mostra o espectrograma de um Efeito Doppler sintético (fonte acústica móvel). Essa pesquisa está sendo desenvolvida para criar ferramentas para gerar fontes móveis acústicas para aplicações biauriculares e com *beamforming*<sup>83</sup>. No contexto biauricular, cenários de auralização podem ser criados com situações mais realistas, complexas e dinâmicas. No lado do imageamento acústico (*beamforming*), as ferramentas são a primeira etapa para validar a codificação do *software* para obter a *dedopplerização*<sup>59</sup> e a formação de imagens de medições reais, como a passagem de um carro em frente a um arranjo de microfones.

Por último, mas não menos importante, a Figura 6 (e) mostra os resultados da pesquisa de individualização de HRTFs<sup>41,84,85</sup>. Mais especificamente, ela mostra DTFs<sup>86</sup> (partes direcionais de HRTFs) para dois casos. No lado esquerdo, há a resposta espacial medida (azimute vs. frequência) de uma pessoa e, no lado direito, a DTF obtida por essa pesquisa por meio de técnicas de aprendizado de máquina (ML, *Machine Learning*), para a mesma pessoa. O código desenvolvido cria um DTF pessoal em menos de 30 segundos. Os dados de entrada essenciais são apenas algumas medidas antropométricas do indivíduo humano. As DTFs podem ser facilmente usadas como arquivos SOFA<sup>87</sup> em jogos e mecanismos de auralização, por exemplo.

## VI. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentado o curso de graduação em Engenharia Acústica (EAC) da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Até o momento, esse é o único curso de graduação completo com foco exclusivo em acústica no Brasil — situado no sul do país — seu impacto na sociedade brasileira foi apresentado e discutido. O curso teve início em 2009 como parte de um programa federal para promover a expansão das universidades federais no Brasil. Sua estrutura, um pouco de sua história, o estabelecimento e a regulamentação profissional do engenheiro(a) acústico(a) como uma profissão no Brasil foram também apresentados. Desde 2014, houve um fluxo constante de egressos que se formaram como engenheiros(as) acústicos(as). A inserção desses profissionais no mercado de trabalho foi apresentada juntamente com a percepção de alguns deles sobre como o programa os preparou para suas carreiras atuais. Além disso, algumas das estratégias de ensino que promovem a Aprendizagem Ativa (AL) e o engajamento dos alunos foram introduzidas. A infraestrutura experimental e numérica foi apresentada juntamente com alguns projetos de pesquisa importantes e/ou em andamento. O artigo apresentou informações de maneira concisa; outrossim, contém discussões importantes sobre a criação de um curso superior completo de graduação em acústica de cinco anos em um país em desenvolvimento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, no sul do Brasil) por todo o apoio fornecido para a Engenharia Acústica (EAC)<sup>88</sup>. Além disso, oferecem um agradecimento especial aos alunos que ingressaram e contribuíram para o crescimento do curso.

## REFERÊNCIAS

- R. B. Lindsay, "Report to the National Science Foundation on Conference on Education in Acoustics," *Journal of the Acoustical Society of America* **36**, 2241–2243 (1964).
- A. Lawrence, "Education in architectural acoustics," *Applied Acoustics* **1**(4), 267–273 (1968) doi: [10.1016/0003-682X\(68\)90028-5](https://doi.org/10.1016/0003-682X(68)90028-5).
- W. D'A. Fonseca, P. H. Mareze, F. R. de Mello, and C. C. da Fonseca, "Teaching acoustical beamforming via active learning," in *9th Berlin Beamforming Conference (BeBeC 2022)*, BeBeC-2022-D4, Berlin, Germany (2022), pp. 1–21, <https://bit.ly/bebec2022>.
- G. Deboni, D. Paixão, J. C. Pereira, A. L. Cassiminho, and W. D'A. Fonseca, "Teaching Music for the Acoustical Engineering (original: *Ensino da Música para a Engenharia Acústica*)," in *XXVIII Meeting of the Brazilian Society of Acoustics - Sobrac 2018*, Porto Alegre, RS, Brazil (2018), doi: [10.17648/sobrac-87122](https://doi.org/10.17648/sobrac-87122).
- H. E. Bass, "Research and education in physical acoustics at the University of Mississippi, USA," *Applied Acoustics* **41**(3), 285–293 (1994) doi: [10.1016/0003-682X\(94\)90078-7](https://doi.org/10.1016/0003-682X(94)90078-7).
- G. Comte-Bellot, "Teaching and research in acoustics at Ecole Centrale de Lyon (France)," *Applied Acoustics* **40**(2), 169–180 (1993) doi: [10.1016/0003-682X\(93\)90089-0](https://doi.org/10.1016/0003-682X(93)90089-0).
- D. A. Russell and D. O. Ludwigsen, "Acoustic testing and modeling: An advanced undergraduate laboratory," *The Journal of the Acoustical Society of America* **131**(3), 2515–2524 (2012) doi: [10.1121/1.3677241](https://doi.org/10.1121/1.3677241).
- T. Arai, F. Satoh, A. Nishimura, K. Ueno, and K. Yoshihisa, "Demonstrations for education in acoustics in Japan," *Acoustical Science and Technology* **27**(6), 344–348 (2006) doi: [10.1250/ast.27.344](https://doi.org/10.1250/ast.27.344).
- L. Moheit, J. D. Schmid, J. M. Schmid, M. Eser, and S. Marburg, "Acoustics apps: Interactive simulations for digital teaching and learning of acoustics," *The Journal of the Acoustical Society of America* **149**(2), 1175–1182 (2021) doi: [10.1121/10.0003438](https://doi.org/10.1121/10.0003438).
- D. A. Russell, "Creating interactive acoustics animations using mathematica's computable document format," *The Journal of the Acoustical Society of America* **133**(5), 3319–3319 (2013) doi: [10.1121/1.4805539](https://doi.org/10.1121/1.4805539).
- A. B. Albu and K. Malakuti, "Work in Progress - Problem-Based Learning in Digital Signal Processing," in *2009 39th IEEE Frontiers in Education Conference* (2009), doi: [10.1109/FIE.2009.5350718](https://doi.org/10.1109/FIE.2009.5350718).
- T. Arai, "Education in acoustics and speech science using vocal-tract models," *The Journal of the Acoustical Society of America* **131**(3), 2444–2454 (2012) doi: [10.1121/1.3677245](https://doi.org/10.1121/1.3677245).
- J. Llorca, E. Redondo, and M. Vorländer, "Learning Room Acoustics by Design: A Project-Based Experience," *International Journal of Engineering Education* **35**(1(B)), 1–7 (2019).
- Estadão, "Guide of Universities (original: *Guia da Faculdade*)" (Accessed July, 2022), <https://publicacoes.estadao.com.br/guia-da-faculdade/>.
- UFSM, "Acoustical engineering website available at <https://www.eac.ufsm.br>" (Last viewed July 2022).
- D. X. da Paixão and W. D'A. Fonseca, "The experience of undergraduate teaching in Acoustical Engineering in Brazil. (original: *A experiência do ensino de graduação em Engenharia Acústica no Brasil*)," in *FIA 2018 - XI Iberoamerican Congress of Acoustics; X Iberian Acoustic Congress; and 49th Spanish Acoustic Congress - TecnicaAcustica'18*, Cadiz, Spain (2018), pp. 1–8, <https://bit.ly/fia2018-eac>.
- "Acoustical Engineering syllabi available at <https://www.ufsm.br/cursos/graduacao/santa-maria/engenharia-acustica/>" (Last viewed July 2022).
- M. Prince, "Does active learning work? a review of the research," *Journal of Engineering Education* **93**(3), 223–231 (2004) doi: [10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x](https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2004.tb00809.x).
- S. Grabinger and J. C. Dunlap, "Problem-Based Learning as an Example of Active Learning and Student Engagement," in *Advances in Information Systems*, edited by T. Yakhno, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Germany (2002), pp. 375–384, doi: [10.1007/3-540-36077-8\\_39](https://doi.org/10.1007/3-540-36077-8_39).
- T. B. Neilsen, W. J. Strong, B. E. Anderson, K. L. Gee, S. D. Sommerfeldt, and T. W. Leishman, "Creating an active-learning environment in an introductory acoustics course," *The Journal of the Acoustical Society of America* **131**(3), 2500–2509 (2012) doi: [10.1121/1.3676733](https://doi.org/10.1121/1.3676733).
- R. M. Felder and R. Brent, "Active learning: An introduction," *ASQ Higher Education Brief* **2**(4), 1–6 (2009).
- W. D'A. Fonseca, "Active Learning in Acoustical Engineering (original: *Ensino Ativo na Engenharia Acústica*)," Bachelor's thesis, Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brazil (2019), <https://bit.ly/eac-al>.

- <sup>23</sup>E. Brandão and W. D'A. Fonseca, "Room Acoustics teaching strategies at Federal University of Santa Maria (UFSM)," in *International Symposium on Room Acoustics — ISRA 2019*, Amsterdam, Netherlands (2019), pp. 1–8, doi: [10.18154/RWTH-CONV-240184](https://doi.org/10.18154/RWTH-CONV-240184).
- <sup>24</sup>J. R. Savery, "Overview of Problem-based Learning: Definitions and Distinctions," *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning* **1**(1) (2006) doi: [10.7771/1541-5015.1002](https://doi.org/10.7771/1541-5015.1002).
- <sup>25</sup>L. R. C. Ribeiro, *Problem-Based Learning (PBL): An Experience in Higher Education (original: Aprendizagem baseada em problemas (PBL): uma experiência no ensino superior)* (EdUFSCar, São Carlos, SP, Brazil, 2008), p. 151.
- <sup>26</sup>L. R. de Camargo Ribeiro, "Electrical Engineering Students Evaluate Problem-Based Learning (PBL)," *The International Journal of Electrical Engineering & Education* **45**(2), 152–161 (2008) doi: [10.7227/IJEEE.45.2.7](https://doi.org/10.7227/IJEEE.45.2.7).
- <sup>27</sup>E. Ambikairajah and J. Epps, "Project-based learning in digital signal processing: Development and experiences," in *2011 Digital Signal Processing and Signal Processing Education Meeting (DSP/SPE)* (2011), pp. 506–511, doi: [10.1109/DSP-SPE.2011.5739266](https://doi.org/10.1109/DSP-SPE.2011.5739266).
- <sup>28</sup>B. H. P. Murta, H. Sette, P. Mareze, J. A. Cordioli, E. Brandao, and W. D'A. Fonseca, "Adjustment of piezoelectric microphone analytical models from numerical models (original: Ajuste de modelos analíticos de microfone piezoelétrico a partir de modelos numéricos)," in *13th AES Brasil Audio Engineering Congress*, São Paulo, SP, Brazil (2016), pp. 1–6, <https://bit.ly/aes2016-piezo>.
- <sup>29</sup>"ABNT NBR 15575:2021 – Edificações habitacionais – Desempenho - Partes 1–6 (translation: *Brazilian Association of Technical Standards – Residential Buildings – Performance - Parts 1–6*)" (2021), <https://www.abntcatalogo.com.br> (Standard).
- <sup>30</sup>Brazilian Society of Acoustics (Sobrac), (Last viewed July 2022), <http://acustica.org.br>.
- <sup>31</sup>International Noise Awareness Day (INAD), (Last viewed July 2022), <https://noiseawareness.org>.
- <sup>32</sup>INAD Brasil, (Last viewed July 2022), <http://www.inadbrasil.com>.
- <sup>33</sup>I. C. Kuniyoshi, W. D'A. Fonseca, and S. Paul, "International Noise Awareness Day: Brazilian Branch (original: *Dia Internacional de Conscientização Sobre o Ruído – INAD Brasil*)," in *Educational practices in hearing health: educational, environmental, and occupational contexts (original: Práticas educativas em saúde auditiva: nos contextos educacional, ambiental e ocupacional)* (Atena, Brazil, 2013), Chap. 12, pp. 138–152, doi: [10.22533/at.ed.52221131012](https://doi.org/10.22533/at.ed.52221131012).
- <sup>34</sup>E. Brandão, *Room acoustics: design and modeling (original: Acústica de salas: projeto e modelagem)*, 1 ed. (Blucher, 2016), p. 655.
- <sup>35</sup>"ISO 354:2003 — Measurement of sound absorption in a reverberation room" (2003), <https://www.iso.org/standard/34545.html> (Standard).
- <sup>36</sup>"ISO 3741:2010 Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Precision methods for reverberation test rooms" (2010), <https://www.iso.org/standard/52053.html> (Standard).
- <sup>37</sup>A. R. da Silva, E. Brandão, and S. Paul, "Assessing the sound directivity of ducts based on time delay spectrometry," *Applied Acoustics* **74**(11), 1221–1225 (2013) doi: [10.1016/j.apacoust.2013.04.009](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2013.04.009).
- <sup>38</sup>"ISO 10140-2:2021 Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 2: Measurement of airborne sound insulation" (2021), <https://www.iso.org/standard/79487.html> (Standard).
- <sup>39</sup>"ISO 10140-3:2021 Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 3: Measurement of impact sound insulation" (2021), <https://www.iso.org/standard/79483.html> (Standard).
- <sup>40</sup>G. Souza, "Scattering coefficient analysis in a small reverberant chamber (original: *Análise do coeficiente de espalhamento em uma minicâmara reverberante*)," Bachelor's thesis, Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brazil (2019).
- <sup>41</sup>D. R. Carvalho, W. D'A. Fonseca, J. Hollebon, P. H. Mareze, and F. M. Fazi, "Head tracker using webcam for auralization," in *50th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering — Internoise 2021*, Washington, DC, USA (2021), pp. 5071–5082(12), doi: [10.3397/IN-2021-2956](https://doi.org/10.3397/IN-2021-2956).
- <sup>42</sup>M. Berzborn, R. Bomhardt, J. Klein, J.-G. Richter, and M. Vorländer, "The ITA-Toolbox: An open source Matlab toolbox for acoustic measurements and signal processing," in *Proceedings of the 43th Annual German Congress on Acoustics*, Kiel, Germany (2017), pp. 6–9.
- <sup>43</sup>E. Brandao, R. D. Fiume, G. Morgado, W. D'A. Fonseca, and P. Mareze, "A ray tracing algorithm developed at the acoustical engineering course of ufsm in brazil," in *23rd International Congress on Acoustics - ICA 2019 (integrating 4th EAA Euroregion 2019)*, Aachen, Germany (2019), pp. 4638–4645, doi: [10.18154/RWTH-CONV-239977](https://doi.org/10.18154/RWTH-CONV-239977).
- <sup>44</sup>E. Brandão, G. Morgado, and W. D. Fonseca, "A ray tracing engine integrated with blender and with uncertainty estimation: Description and initial results," *Building Acoustics* **28**(2), 99–118 (2021) doi: [10.1177/1351010X20964758](https://doi.org/10.1177/1351010X20964758).
- <sup>45</sup>"Acoustical Engineering GitHub Repositories" (Last viewed July 2022), <https://github.com/eac-ufsm>.
- <sup>46</sup>B. G. Neto, I. Pereira, S. Futatsugic, E. Brandão, P. H. Mareze, and W. D'A. Fonseca, "Experimental analysis of the dispersion in the measurement of the absorption coefficient with the impedance tube," in *International Congress and Exposition on Noise Control Engineering — Internoise*, Chicago, IL, USA (2018), pp. 1–11, <https://bit.ly/int2018-absorption>.
- <sup>47</sup>"BS EN ISO 10534-2:2001 Acoustics — Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes — Part 2: Transfer-function method" (2001) (Standard).
- <sup>48</sup>"ASTM E2611–19 - Standard Test Method for Normal Incidence Determination of Porous Material Acoustical Properties Based on the Transfer Matrix Method" (2019), <https://www.astm.org/e2611-19.html> (Standard).
- <sup>49</sup>"ISO 9053-2:2020 Acoustics — Determination of airflow resistance — Part 2: Alternating airflow method" (2021), <https://www.iso.org/standard/76744.html> (Standard).
- <sup>50</sup>R. Panneton and E. Gros, "A missing mass method to measure the open porosity of porous solids," *ACTA Acustica united with Acustica* **91**(2), 342–348(7) (2005).
- <sup>51</sup>F. Fohr, D. Parmentier, B. R. Castagnede, and M. Henry, "An alternative and industrial method using low frequency ultrasound enabling to measure quickly tortuosity and viscous characteristic length," *Journal of the Acoustical Society of America* **123**(5), 3118–3118 (2008) doi: [10.1121/1.2933030](https://doi.org/10.1121/1.2933030).
- <sup>52</sup>T. Pritz, "Dynamic young's modulus and loss factor of plastic foams for impact sound isolation," *Journal of Sound and Vibration* **178**(3), 315–322 (1994) doi: [10.1006/jsvi.1994.1488](https://doi.org/10.1006/jsvi.1994.1488).
- <sup>53</sup>M. Nolan, "Estimation of angle-dependent absorption coefficients from spatially distributed in situ measurements," *The Journal of the Acoustical Society of America* **147**(2), EL119–EL124 (2020) doi: [10.1121/10.0000716](https://doi.org/10.1121/10.0000716).
- <sup>54</sup>A. Richard, E. Fernandez-Grande, J. Brunskog, and C.-H. Jeong, "Estimation of surface impedance at oblique incidence based on sparse array processing," *The Journal of the Acoustical Society of America* **141**(6), 4115 – 4125 (2017) doi: [10.1121/1.4983756](https://doi.org/10.1121/1.4983756).
- <sup>55</sup>A. Richard, D. Fernández Comesaña, J. Brunskog, C.-H. Jeong, and E. Fernandez-Grande, "Characterization of sound scattering using near-field pressure and particle velocity measurements," *The Journal of the Acoustical Society of America* **146**(4), 2404 – 2414 (2019) doi: [10.1121/1.5126942](https://doi.org/10.1121/1.5126942).
- <sup>56</sup>M. Nolan, S. A. Verburg, J. Brunskog, and E. Fernandez-Grande, "Experimental characterization of the sound field in a reverberation room," *The Journal of the Acoustical Society of America* **145**(4), 2237–2246 (2019) doi: [10.1121/1.5096847](https://doi.org/10.1121/1.5096847).
- <sup>57</sup>D. H. Johnson and D. E. Dudgeon, *Array Signal Processing: Concepts and Techniques* (Pearson, 1993), p. 552.
- <sup>58</sup>W. D'A. Fonseca, "Beamforming," in *Beamforming Considering Acoustic Diffraction over Cylindrical Surfaces* (Florianópolis, SC, Brazil, 2013), Chap. 3, pp. 23–70, <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/107608>.
- <sup>59</sup>L. Gomes, "Acoustic imaging techniques via beamforming for moving sound sources (original: *Técnicas de de imageamento acústico via beamforming para fontes sonoras em movimento*)," Bachelor's thesis, Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brazil (2022 – to be published in Portuguese).
- <sup>60</sup>W. D'A. Fonseca, "Development and application of a system for obtaining acoustic images using the beamforming methods for moving sources (original: *Desenvolvimento e aplicação de sistema para obtenção de imagens acústicas pelo método do beamforming para fontes em movimento*)," Master's thesis, Federal University of Santa Catarina (UFSM), Florianópolis, SC, Brazil (2009), <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/92534>.
- <sup>61</sup>F. Meng, G. Behler, and M. Vorländer, "A synthesis model for a moving sound source based on beamforming," *Acta Acustica united with Acustica* **104**(2), 351–362 (2018) doi: [10.3813/AAA.919177](https://doi.org/10.3813/AAA.919177).
- <sup>62</sup>T. M. Sanchez, "Construction of a simplified prototype of a rotating sound source and measurement using the principles of the IEC 61400-11 standard and acoustic imaging via beamforming (original: *Construção de um protótipo simplificado de fonte sonora rotativa e medição utilizando*

- princípios da norma IEC 61400-11 e imageamento sonoro via beamforming*,” Bachelor’s thesis, Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brazil (2021).
- <sup>63</sup>G. Herold, “One ring to find them all: Detection and separation of rotating acoustic features with circular microphone arrays,” Ph.D. thesis, Technical University of Berlin, Berlin, Germany, 2021, doi: [10.14279/depositonce-12591](https://doi.org/10.14279/depositonce-12591).
- <sup>64</sup>W. D’A. Fonseca and J. P. Ristow, “Three-dimensional location of targets with cylindrical hydrophone array using beamforming considering the diffracted field (original: *Localização tridimensional de alvos com arranjo cilíndrico de hidrofones por meio do beamforming considerando o campo difratado*),” in *XII Meeting on Underwater Acoustics Technology (XII ETAS)*, Rio de Janeiro, RJ, Brazil (2016), pp. 1–8, <https://bit.ly/etas2016-beamforming>.
- <sup>65</sup>F. R. de Mello, W. D’A. Fonseca, and P. H. Mareze, “MEMS digital microphone and Arduino compatible microcontroller: an embedded system for noise monitoring,” in *50th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering — Internoise 2021*, Washington, DC, USA (2021), pp. 3921–3932(12), doi: [10.3397/IN-2021-2557](https://doi.org/10.3397/IN-2021-2557).
- <sup>66</sup>F. R. de Mello, “Digital MEMS Microphones: binaural and single-channel applications with Teensy microcontroller (original: *Microfones MEMS digitais: aplicações biauricular e de um canal com controlador Teensy*),” Bachelor’s thesis, Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brazil (2022 – to be published in Portuguese).
- <sup>67</sup>W. D’A. Fonseca, A. Z. Leao, P. Mareze, and E. Brandao, “Audio Signal Conditioning Circuits for Arduino Platforms,” in *44th German Annual Conference on Acoustics - DAGA 2018*, Munich, Germany (2018), pp. 1–4, <http://bit.ly/audio4arduino>.
- <sup>68</sup>E. Bom, “Development of binaural measurement and reproduction chains using a head tracking device (original: *Desenvolvimento de cadeia de medição e reprodução biauricular utilizando dispositivo de rastreamento da cabeça*),” Bachelor’s thesis, Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brazil (2018), doi: [10.13140/RG.2.2.16211.71205](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16211.71205).
- <sup>69</sup>E. Bom, W. D’A. Fonseca, E. Brandao, and P. Mareze, “Arduino-based head tracker: construction and use in acoustics (original: *Dispositivo rastreador de movimentos da cabeça baseado em Arduino: construção e utilização em acústica*),” *Acústica & Vibrações* **34**(50), 5–24 (2018) <https://bit.ly/head-tracker-ufsm>.
- <sup>70</sup>A. Zorzo, W. D’A. Fonseca, P. Mareze, and E. Brandão, “Comparison between a digital and an analog active noise control system for headphones,” in *11th European Congress and Exposition on Noise Control Engineering – Euronoise*, Crete, Greece (2018), pp. 907–914, <https://bit.ly/ControlSystem4Headphones>.
- <sup>71</sup>E. Bom, W. D’A. Fonseca, E. Brandao, and P. Mareze, “Study of the system identification technique implemented in Arduino Due and Teensy 3.6 microcontrollers (original: *Estudo da técnica de identificação de sistemas implementada em controladores Arduino Due e Teensy 3.6*),” *Acústica & Vibrações* **33**(49), 5–14 (2017) <https://bit.ly/teensy-av-2017>.
- <sup>72</sup>W. D’A. Fonseca, L. Jacomussi, and P. H. Mareze, “Raspberry Pi: A Low-cost Embedded System for Sound Pressure Level Measurement,” in *49th Internoise - International Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, Seoul, Korea (2020), pp. 1–12, <http://bit.ly/SLM-Internoise2020>.
- <sup>73</sup>J. D. Stefanello and W. D’A. Fonseca, “Portable digital audio synthesizer assembly with open-source software,” in *Proc. 36th Reproduced Sound*, United Kingdom (2020), Vol. 42, Pt. 3, pp. 1–12, <https://bit.ly/rp2020-synth>, doi: [10.25144/13375](https://doi.org/10.25144/13375).
- <sup>74</sup>B. Circe, W. D’A. Fonseca, L. Jacomussi, and P. H. Mareze, “Tutorial: Configuring Audio Devices on the Raspberry Pi – Parts 1 & 2 (original Tutorial: *configuração de dispositivos de áudio no Raspberry Pi – Partes 1 & 2*),” in *Acústica 2020 (XI Iberian Conference on Acoustics, Técnica-cústica 2020, and 51st Spanish Conference on Acoustics)*, Faro, Portugal (2020), pp. 1–12, <https://bit.ly/tuto-rpi-1>.
- <sup>75</sup>E. M. Viera, “Development of an anechoic chamber for measuring the sound directionality of an electronic converter (original: *Desenvolvimento de câmara anecoica para medição de direcionalidade sonora de um conversor eletrônico*),” Bachelor’s thesis, Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brazil (2021).
- <sup>76</sup>E. Brandão, A. Lenzi, and J. Cordioli, “Estimation and minimization of errors caused by sample size effect in the measurement of the normal absorption coefficient of a locally reactive surface,” *Applied Acoustics* **73**(6), 543–556 (2012) doi: [10.1016/j.apacoust.2011.09.010](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.09.010).
- <sup>77</sup>E. Brandão and E. Fernandez-Grande, “Influence of edge direction on the in situ measurement of impedance using microphone arrays,” in *International Congress and Exposition on Noise Control Engineering — Internoise 2020*, Seoul, Korea (2020), pp. 525–536(12).
- <sup>78</sup>E. Zea, E. Brandão, M. Nolan, J. Andén, J. Cuenca, and U. P. Svensson, “Learning the finite size effect for in-situ absorption measurement,” in *Proceedings of the Euronoise*, Madeira, Portugal (2021), pp. 1–10.
- <sup>79</sup>M. Pereira, P. H. Mareze, L. Godinho, P. Amado-Mendes, and J. Ramis, “Proposal of numerical models to predict the diffuse field sound absorption of finite sized porous materials – bem and fem approaches,” *Applied Acoustics* **180**, 108092 (2021) doi: [10.1016/j.apacoust.2021.108092](https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108092).
- <sup>80</sup>A. Piccini, “Bibliographic review and computational implementation of the finite element method for acoustics and vibrations (original: *Revisão bibliográfica e implementação computacional do método dos elementos finitos para acústica e vibrações*),” Bachelor’s thesis, Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brazil (2022).
- <sup>81</sup>N. Atalla and F. Sgard, *Finite element and boundary methods in structural acoustics and vibration* (CRC Press, 2015), p. 470.
- <sup>82</sup>L. A. T. Alvim, “An open-source implementation of the Finite and Boundary Element Methods in Python for room acoustics and diffraction problems (original: *Uma implementação de código aberto dos Métodos de Elementos Finitos e Contorno em Python para problemas de acústica de salas e difração sonora*),” Bachelor’s thesis, Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brazil (2022 – to be published in Portuguese).
- <sup>83</sup>L. M. Gomes, W. D’A. Fonseca, D. R. Carvalho, and P. Mareze, “Rendering binaural signals for moving sources,” in *Proc. 36th Reproduced Sound*, United Kingdom (2020), Vol. 42, Pt. 3, pp. 1–12, <https://bit.ly/rp2020-binaural>, doi: [10.25144/13386](https://doi.org/10.25144/13386).
- <sup>84</sup>D. Carvalho, “Individualization of HRTFs via anthropometry and artificial neural networks (original: *Individualização de funções de transferência relacionadas à cabeça a partir de antropometria e redes neurais artificiais*),” Bachelor’s thesis, Federal University of Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brazil (2022).
- <sup>85</sup>W. D’A. Fonseca, F. R. de Mello, D. R. Carvalho, P. H. Mareze, and O. M. Silva, “Measurement of car cabin binaural impulse responses and auralization via convolution,” in *International Conference on Immersive and 3D Audio — I3DA*, Bologna, Italy (2021), pp. 1–13, doi: [10.1109/I3DA48870.2021.9610834](https://doi.org/10.1109/I3DA48870.2021.9610834).
- <sup>86</sup>B. Sanches Masiero, “Individualized binaural technology : measurement, equalization and perceptual evaluation,” Ph.D. thesis, RWTH Aachen University, Aachen, Germany, 2012, doi: [RWTH-CONV-143341](https://doi.org/10.25144/143341).
- <sup>87</sup>“SOFA (Spatially Oriented Format for Acoustics)” (Accessed July, 2022), <https://www.sofaconventions.org/>.
- <sup>88</sup>W. D’A. Fonseca, E. Brandão, P. H. Mareze, V. S. Melo, R. A. Tenenbaum, C. dos Santos, and D. X. da Paixão, “Acoustical engineering: a complete academic undergraduate program in Brazil,” *The Journal of the Acoustical Society of America* **152**(2), 1180–1191 (2022) doi: [10.1121/10.0013570](https://doi.org/10.1121/10.0013570).