

Pollyanna Rodrigues Lima

**ESTUDO DA QUALIDADE ACÚSTICA DE SALAS MULTIUSO
PARA O ENSINO E PRÁTICA MUSICAL POR MEIO DE
MEDIÇÕES EXPERIMENTAIS E SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.
Orientador: Prof. Erasmo Felipe Vergara Miranda, Dr.

Florianópolis
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Lima, Pollyanna Rodrigues

Estudo da qualidade acústica de salas multiuso para o ensino e prática musical por meio de medições experimentais e simulação computacional / Pollyanna Rodrigues Lima ; orientador, Erasmo Felipe Vergara Miranda, 2017.

127 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2017.

Inclui referências.

1. Arquitetura e Urbanismo. 2. Acústica de salas. 3. Acústica musical. 4. Qualidade acústica. 5. Simulação computacional. I. Miranda, Erasmo Felipe Vergara. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Pollyanna Rodrigues Lima

**ESTUDO DA QUALIDADE ACÚSTICA DE SALAS MULTIUSO
PARA O ENSINO E PRÁTICA MUSICAL POR MEIO DE
MEDIÇÕES EXPERIMENTAIS E SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL**

Esta dissertação foi julgada e aprovada perante banca examinadora de trabalho final, outorgando ao aluno o título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, área de concentração Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído, do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PósARQ, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Florianópolis, 28 de Março de 2017.

Prof. Renato Tibiriça de Saboya, Dr.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e
Urbanismo

Banca Examinadora:

Prof. Erasmo Felipe Vergara Miranda, Dr.
Orientador – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fernando Westphal, Dr.
Membro Interno – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Martin Ordenes Mizgier, Dr.
Membro Interno – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Vitor Litwinczik, Dr.
Membro Externo – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Dedico esse trabalho aos meus pais,
Alberto e Regina, e meus irmãos,
Diana e Vinícius, pelo apoio e amor
incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família, por todo apoio nas etapas de minha vida que me trouxeram até aqui, por compreenderem minhas faltas e os vários momentos de instabilidades emocionais, por sempre estarem comigo, mesmo quando longe, em especial meus pais, Alberto e Regina, e meus irmãos, Diana e Vinícius, pelo apoio e amor incondicional.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Felipe Vergara, pela orientação, por acreditar no meu potencial e compreender minhas limitações, pelas conversas e pelas críticas, quando foram necessárias, fundamentais para a conclusão desse trabalho. A todos os professores que fizeram parte da minha formação até o momento.

Aos meus colegas e amigos que fizeram parte de todos os divertidos escapes deste trabalho, e também àqueles que entenderam minhas faltas quando este foi prioridade. Ainda, àqueles que dividiram comigo as angústias dos momentos difíceis, pelo companheirismo, especialmente os queridos colegas com quem convivi no PósArq e no PPGEC, os quais lembrarei sempre com carinho.

As meninas da acústica, Ana, Ingrid e Gabriella, que não pouparam esforços para ajudar umas as outras no trabalho de pesquisa em acústica, mas também pelos divertidos momentos de risadas e confraternização. Ao pessoal do Laboratório de Vibrações Acústicas e do LabCon da UFSC, por todo auxílio.

Aos colegas de trabalho – toda equipe e amigos da DUX Arquitetura & Engenharia Bioclimática, arquiteta e amiga Ana Trevisan, e professores do Departamento Acadêmico de Construção Civil do IFSC –, pela compreensão nas minhas ausências, pela troca de experiências, auxílio técnico, pelas palavras de incentivo e essenciais momentos de descontração.

Aos professores, monitores e alunos da Coordenadoria Artística do IFSC, por todo auxílio, disponibilidade e atenção, mas, principalmente, por acreditarem na arte da música e propagarem o ensino e prática dessa bela arte.

Ao Leo, pelo companheirismo nos preciosos momentos finais desse trabalho.

A todos aqueles que me influenciaram a amar e admirar cada vez mais essa temática da música e das práticas musicais.

Agradeço ainda a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização desse trabalho.

Por fim, agradeço a Deus, que sempre esteve ao meu lado.

“Sem música, a vida seria um erro.” (Friedrich Nietzsche)

RESUMO

Para que o músico desfrute de uma experiência satisfatória no ambiente de sua prática musical, além dos requisitos mínimos de projeto (como conforto térmico, lumínico, ergonômico, acessibilidade), um projeto acústico específico é essencial. Em um contexto onde cada vez mais um mesmo ambiente é utilizado para usos que requerem projetos acústicos distintos, as três salas de aula da Coordenação Artística do IFSC Campus Florianópolis vêm sendo utilizadas para diversas atividades artísticas dentre as quais se destaca a prática musical. Partindo do pressuposto de que as três salas não se encontravam adequadas às práticas musicais, esse trabalho se dedicou a caracterizar o ambiente acústico de cada uma das salas através de ensaios experimentais e simulação computacional a fim de simular alternativas que possam adequá-las ao uso. Por meio de um Estudo Piloto realizado com dados pré-existentes, foi possível testar os instrumentos e procedimentos da simulação computacional, realizada com o software Odeon. Os principais parâmetros acústicos (TR, EDT, C_{80} , D_{50} , STI) de cada uma das salas foram obtidos experimentalmente de acordo com os procedimentos indicados pela norma ISO 3382: 2009, posteriormente tratados, analisados e comparados com os valores indicados pela literatura para a prática musical. Os valores obtidos não se encontravam dentro desses limites. Para testar diferentes alternativas fazendo uso da simulação computacional, foi necessário antes desenvolver um modelo computacional fiel ao modelo real, o que foi possível através de ajustes nas especificações acústicas dos materiais e comparando os dados obtidos nas simulações com aqueles obtidos experimentalmente, cuja diferença entre eles deveria estar dentro do limiar diferencial (JND), de acordo com a norma ISO 3382: 2009. Após resultar em modelos computacionais fiéis aos modelos reais das salas, diferentes alternativas de soluções foram testadas a fim de obter modelos que adequassem as salas à prática musical. Os modelos mais adequados foram apresentados, indicando as especificações necessárias para a adaptação das salas. Os métodos se mostraram válidos, e a possibilidade de adequação de salas de aula multiuso para a prática musical se mostrou possível através da realização de uma análise acústica do ambiente, possibilitando a indicação apropriada de inserção e/ou remoção de materiais e dispositivos acústicos que otimizaram a resposta acústica da sala.

Palavras-chave: Acústica de salas. Acústica musical. Qualidade acústica. Simulação computacional.

ABSTRACT

For the musician enjoy a satisfactory experience in your musical practice environment, beyond the minimum requirements of project (such as thermal comfort, light, ergonomic, accessibility), a specific acoustic design is essential. In a context where increasingly the same environment is utilized for uses that require distinct acoustic projects, the three classrooms of the Artistic Coordination of the IFSC Florianópolis Campus have been used for various artistic activities among which stands out the musical practice. Assuming that both the three rooms were not suited to musical practice, this work is devoted to characterize the acoustic environment of each one of the rooms through experimental tests and computer simulation in order to simulate alternatives that may suit them to use. Through a pilot study conducted with pre-existing data, it was possible to test the instruments and procedures of the computer simulation, performed with the Odeon software. The main acoustic parameters (RT, EDT, C_{80} , D_{50} , STI) of each of the rooms were obtained experimentally in accordance with the procedures set out by the ISO 3382:2009, further processed, analyzed and compared with the values indicated by the literature for the musical practice. The values obtained were not within the limits indicated. To test different alternatives making use of computer simulation, was necessary before developing a computational model faithful to the real model, which was made possible through adjustments to the acoustic specifications of materials and comparing the data obtained in simulations with those obtained experimentally, whose difference between them should be within the differential threshold (JND), according to ISO 3382 : 2009. After working in computational models faithful to actual models of different alternative solutions were tested in order to obtain models that adapt the music practice rooms. The most appropriate models were presented, indicating the required specifications for the adaptation of the rooms. The methods have proven to be valid, and the possibility of adaptation of multipurpose classrooms for music practice proved possible by performing an acoustic analysis of the environment, enabling the appropriate indication of insertion and/or removal of materials and acoustic devices that have optimized the acoustic response of the room.

Keywords: Room acoustics. Musical acoustics. Acoustical quality. Computer simulation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparação de requisitos acústicos para a fala e para a música.	32
Figura 2 - Esquema em planta baixa mostrando o caminho percorrido pelo som direto, primeiras reflexões e som reverberante, a partir da fonte até chegar ao receptor.	33
Figura 3 - Gráfico de intensidade do som pelo tempo mostrando a ocorrência do som direto, primeiras reflexões e som reverberante (reverberação).	33
Figura 4 - Interação das ondas sonoras com os obstáculos encontrados em sua propagação.	34
Figura 5 - Esquema explicativo da reflexão sonora.	34
Figura 6 - Esquema demonstrando o fenômeno da difração.	35
Figura 7 - Esquema demonstrando o fenômeno da refração.	35
Figura 8 - O espectro de frequências audíveis dividido em quatro regiões.	37
Figura 9 - Dimensões preferidas de uma sala retangular, para Bolt (1946).	38
Figura 10 - Alcance da frequência de diversos instrumentos musicais.	39
Figura 11 - Resposta impulsiva mostrando o som direto, as primeiras reflexões e as reflexões subsequentes do decaimento reverberante de uma sala.	48
Figura 12 - Planta baixa do auditório do Departamento de Arquitetura e Urbanismo.	54
Figura 13 - Vista da entrada do auditório.	55
Figura 14 - Vista do fundo do auditório.	55
Figura 15 - Equipamentos utilizados na quinta fase do estudo piloto. ...	57
Figura 16 - Procedimentos gerais da simulação acústica e as respectivas ferramentas envolvidas.	58
Figura 17 - Modelo geométrico com a fonte e os pontos receptores localizados.	59
Figura 18 - Interface da ferramenta "quick estimate" do Odeon.	60
Figura 19 - Interface da ferramenta "global estimate" do Odeon.	61
Figura 20 - Diferença entre valores medidos e simulados, na faixa de 500 e 1000 Hz, comparados com o JND.	62
Figura 21 - Vista do pátio interno do campus ao depósito de instrumentos musicais (em destaque) que forma um corredor junto às salas da Coordenadoria Artística do campus.	67
Figura 22 - Planta baixa da sala de música.	68
Figura 23 - Interior da sala de música.	69

Figura 24 - Interior da sala de música.....	69
Figura 25 - Planta baixa da Sala de Artes Visuais.	70
Figura 26 - Interior da Sala de Artes Visuais.....	71
Figura 27 - Interior da Sala de Artes Visuais.....	71
Figura 28 - Planta baixa da Sala de Teatro	72
Figura 29 - Interior da Sala de Teatro.....	72
Figura 30 - Interior da Sala de Teatro.....	72
Figura 31 - Salas avaliadas através da carta de Bolt (1946).....	75
Figura 32 - Equipamentos utilizados para aquisição dos dados no ensaio experimental.....	77
Figura 33 - Planta baixa da Sala de Música com distribuição espacial dos pontos para medição.....	79
Figura 34 - Planta baixa da Sala de Artes Visuais com distribuição espacial dos pontos para medição.....	80
Figura 35 - Planta baixa da Sala de Teatro com distribuição espacial dos pontos para medição.....	80
Figura 36 - Tempo de Reverberação (TR), por banda de frequência, das três salas.....	82
Figura 37 - Tempo de Decaimento Inicial (EDT), por banda de frequência, das três salas.....	82
Figura 38 - Clareza (C_{80}), por banda de frequência, das três salas.....	83
Figura 39 - Definição (D_{50}), por banda de frequência, das três salas....	84
Figura 40 - Parâmetro G, por banda de frequência, das três salas.	85
Figura 41 - Comparativo da Clareza (C_{80}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Música.....	89
Figura 42 - Comparativo do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Artes Visuais...	90
Figura 43 - Comparativo da Clareza (C_{80}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Artes Visuais.....	90
Figura 44 - Comparativo do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Teatro.....	90
Figura 45 - Comparativo da Clareza (C_{80}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Teatro.....	91
Figura 46 - Volumetria do modelo adotado para a Sala de Música indicando os diferentes elementos considerados.....	94
Figura 47 - Volumetria do modelo adotado para a Sala de Artes Visuais indicando os diferentes elementos considerados.....	96
Figura 48 - Volumetria do modelo adotado para a Sala de Teatro indicando os diferentes elementos considerados.....	98
Figura 49 - Comparativo do Tempo de Reverberação (TR) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Música.....	115

Figura 50 - Comparativo do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Música.	115
Figura 51 - Comparativo da Clareza (C_{80}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Música.	115
Figura 52 - Comparativo da Definição (D_{50}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Música.....	116
Figura 53 - Comparativo do Tempo de Reverberação (TR) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Artes Visuais.	116
Figura 54 - Comparativo do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Artes Visuais.	116
Figura 55 - Comparativo da Clareza (C_{80}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Artes Visuais.....	117
Figura 56 - Comparativo da Definição (D_{50}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Artes Visuais.....	117
Figura 57 - Comparativo do Tempo de Reverberação (TR) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Teatro.	117
Figura 58 - Comparativo do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Teatro.	118
Figura 59 - Comparativo da Clareza (C_{80}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Teatro.....	118
Figura 60 - Comparativo da Definição (D_{50}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Teatro.	118

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Áreas dos materiais e respectivos coeficientes de absorção sonora.	55
Quadro 2 - Área de superfície de cada material na Sala de Música.	69
Quadro 3 - Área de superfície de cada material na Sala de Artes Visuais.	70
Quadro 4 - Área de superfície de cada material na Sala de Teatro.....	72
Quadro 5 - Valores simulados e valores desejados para os parâmetros de acústica de salas voltadas para a prática musical.	93
Quadro 6 - Especificações de materiais, áreas e coeficientes de absorção simulados para a Sala de Música.....	95
Quadro 7 - Especificações dos dispositivos inseridos.	95
Quadro 8 - Especificações de materiais, áreas e coeficientes de absorção simulados para a Sala de Artes Visuais.....	97
Quadro 9 - Especificações dos dispositivos especiais inseridos.....	97
Quadro 10 - Especificações de materiais, áreas e coeficientes de absorção simulados para a Sala de Teatro.....	98
Quadro 11 - Especificações dos dispositivos especiais inseridos.....	99
Quadro 12 - Resultados obtidos nos modelos após adaptações comparados aos resultados desejados.....	100
Quadro 13 - Especificações da simulação computacional para o modelo real da Sala de Música.....	119
Quadro 14 - Especificações da simulação computacional para o modelo real da Sala de Teatro.	119
Quadro 15 - Especificações da simulação computacional para o modelo real da Sala de Artes Visuais.....	120
Quadro 16 - Resultados simulados com ocupação de 42 pessoas na Sala de Música.	121
Quadro 17 - Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora simulados com ocupação de 42 pessoas na Sala de Música.....	121
Quadro 18 - Resultados simulados com ocupação de 36 pessoas sentadas na Sala de Música.	122
Quadro 19 - Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora simulados com ocupação de 36 pessoas sentadas na Sala de Música.	122
Quadro 20 - Resultados simulados com ocupação máxima na Sala de Música.	123
Quadro 21 - Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora simulados com ocupação máxima na Sala de Música.....	123
Quadro 22 - Resultados simulados com ocupação de 2 pessoas em pé e 8 pessoas sentadas na Sala de Artes Visuais.	124

Quadro 23 - Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora simulados com ocupação de 2 pessoas em pé e 8 pessoas sentadas na Sala de Artes Visuais.	124
Quadro 24 - Resultados simulados com ocupação de 1 pessoa sentada na Sala de Teatro.	125
Quadro 25 - Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora simulados com ocupação de 1 pessoa sentada na Sala de Teatro.	125
Quadro 26 - Resultados simulados com ocupação de 2 pessoas sentadas na Sala de Teatro.....	126
Quadro 27 - Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora simulados com ocupação de 2 pessoas sentadas na Sala de Teatro. ...	126
Quadro 28 - Resultados simulados com ocupação de 10 pessoas sentadas na Sala de Teatro.	127
Quadro 29 - Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora simulados com ocupação de 10 pessoas sentadas na Sala de Teatro. .	127

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempos de reverberação, mínimo e máximo, recomendado para diferentes usos voltados à música por diversos pesquisadores.....	42
Tabela 2 - Valores de STI recomendados pela norma IEC 60268-16 (2003).....	47
Tabela 3 - Parâmetros acústicos do ambiente e seu respectivo JND.....	51
Tabela 4 - Frequência de Schroeder calculada para cada uma das salas.....	73
Tabela 5 - Modos normais axiais	74
Tabela 6 - Dimensões, em metros, dos eixos x, y, z das salas.....	75
Tabela 7 - Distâncias (x,y) entre ponto receptor e fonte sonora correspondente.	78
Tabela 8 - Índice de transmissão da fala (STI) medido nas três salas. ..	85
Tabela 9 - Vivacidade, Calor e Brilho calculado para as três salas.....	86
Tabela 10 - Diferença entre valores medidos e simulados, na faixa de 500 e 1000 Hz, comparados com o JND para as três salas.	89
Tabela 11 - Resultados experimentais do TR (s) - Sala de Música.....	111
Tabela 12 - Resultados experimentais do EDT (s) - Sala de Música. .	111
Tabela 13 - Resultados experimentais da C_{80} (dB) - Sala de Música..	111
Tabela 14 - Resultados experimentais da D_{50} (%) - Sala de Música...	112
Tabela 15 - Resultados experimentais de STI - Sala de Música.	112
Tabela 16 - Resultados experimentais do TR (s) - Sala de Artes Visuais.....	112
Tabela 17 - Resultados experimentais do EDT (s) - Sala de Artes Visuais.....	112
Tabela 18 - Resultados experimentais da C_{80} (dB) - Sala de Artes Visuais.....	113
Tabela 19 - Resultados experimentais da D_{50} (%) - Sala de Artes Visuais.....	113
Tabela 20 - Resultados experimentais de STI - Sala de Artes Visuais.....	113
Tabela 21 - Resultados experimentais do TR (s) - Sala de Teatro.	113
Tabela 22 - Resultados experimentais do EDT (s) - Sala de Teatro....	114
Tabela 23 - Resultados experimentais da C_{80} (dB) - Sala de Teatro..	114
Tabela 24 - Resultados experimentais da D_{50} (%) - Sala de Teatro. ...	114
Tabela 25 - Resultados experimentais de STI - Sala de Teatro.....	114

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	27
1.1	OBJETIVOS	28
1.1.1	Objetivo geral	28
1.1.2	Objetivos específicos	28
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	29
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
2.1	ACÚSTICA ARQUITETÔNICA	31
2.2	ACÚSTICA DE SALAS	31
2.3	PROPAGAÇÃO SONORA DENTRO DE RECINTOS FECHADOS	32
2.4	CONDICIONAMENTO ACÚSTICO	36
2.5	PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO ACÚSTICA	39
2.5.1	Tempo de Reverberação	40
2.5.2	Tempo de decaimento inicial	42
2.5.3	Vivacidade	43
2.5.4	Calor	43
2.5.5	Brilho	44
2.5.6	Clareza	44
2.5.7	Definição	44
2.5.8	Fator de força do som ou Parâmetro G	45
2.5.9	Difusão e Índice de difusividade da superfície	46
2.5.10	Índice de transmissão da fala	47
2.6	MEDIÇÕES ACÚSTICAS E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	47
2.6.1	Resposta Impulsiva	48
2.6.2	Simulação Computacional	49
2.6.3	Limiar diferencial (Just Noticeable Difference)	51
3	METODOLOGIA	53

3.1	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS – ESTUDO PILOTO.....	53
3.1.1	Levantamento arquitetônico do ambiente	53
3.1.2	Medições experimentais	56
3.1.3	Simulação Computacional	57
3.1.3.1	Confeção do modelo geométrico	57
3.1.3.2	Definição e aplicação de materiais.....	59
3.1.3.3	Ajuste do modelo.....	60
3.1.3.4	Simulação acústica.....	61
3.1.3.5	Análise dos resultados	62
4	OBJETO DE ESTUDO	67
4.1	SALA DE MÚSICA.....	67
4.2	SALA DE ARTES VISUAIS	69
4.3	SALA DE TEATRO.....	71
5	PARTICULARIDADES ACÚSTICAS DAS SALAS	73
5.1	FREQUÊNCIA DE SCHROEDER	73
5.2	MODOS NORMAIS.....	73
5.3	CARTA DE BOLT	75
6	ENSAIOS EXPERIMENTAIS	77
6.1	RESULTADOS	81
7	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	87
8	ALTERNATIVAS DE ADAPTAÇÃO AO USO.....	93
8.1	SALA DE MÚSICA.....	94
8.2	SALA DE ARTES VISUAIS	95
8.3	SALA DE TEATRO.....	97
8.4	CONSIDERAÇÕES	99
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
9.1	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	103
	REFERÊNCIAS.....	105
	APÊNDICE A – Resultados da média por ponto de receptor medido para cada parâmetro, por faixa de	

frequência, em bandas de oitava, de 125 Hz até 4000 Hz.	111
APÊNDICE B – Gráficos comparativos dos parâmetros simulados com os parâmetros medidos para cada uma das salas.	115
APÊNDICE C – Especificações utilizadas nas simulações computacionais do modelo computacional calibrado com o modelo real.....	119
APÊNDICE D – Especificações utilizadas nas simulações computacionais com as diferentes ocupações das salas analisadas.....	121

1 INTRODUÇÃO

A experiência satisfatória do usuário em um determinado ambiente está associada a diversos fatores, objetivos e subjetivos. No que diz respeito ao ambiente adequado ao ensino e prática musical, além dos requisitos mínimos de projeto (como conforto térmico, lumínico, ergonômico, acessibilidade), um projeto acústico específico é essencial para a performance do músico. Rocha (2010) afirma que a experiência da música não pode ser separada da acústica do espaço na qual ela é executada, isso tanto no ensaio e aprendizagem, quanto na apresentação.

O aparente descaso com a funcionalidade do espaço tem resultado em projetos cada vez mais multifuncionais, o que pode vir a prejudicar a sonoridade e a qualidade da performance artística. As mesmas salas utilizadas para a palavra falada cada vez mais têm abrigado também a prática musical, porém essas atividades exigem requisitos acústicos distintos (TAKAHASHI, 2010).

Em agosto de 2008, o Governo Federal aprovou a Lei nº 11.769, que torna obrigatória o ensino de música na componente curricular de artes, já antes obrigatória pela Lei nº 9.394, na educação básica. A mesma lei estabeleceu o prazo de 3 anos letivos, a contar daquela data, para que os sistemas de ensino se adaptassem a tal exigência. Com a aprovação da lei, muitas escolas têm adaptado salas de aula convencionais, onde a fala é a principal atividade, para as atividades de ensino e prática de música, tendo em vista que a maioria das escolas não dispunha de um ambiente próprio para tal atividade. Muitas vezes, a adaptação das salas é quase nula, sem levar em conta os requisitos de condicionamento acústico necessários para a execução da atividade musical.

Neste contexto, o campus da cidade de Florianópolis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC) oferece hoje, além de outros cursos técnicos e superiores, um Curso Básico de Instrumentos de Orquestra de qualificação profissional. Além do curso, abriga outras atividades ligadas ao ensino e prática de música, tais como ensaios da Orquestra Experimental do IFSC (OEXP IFSC) e do Coral do IFSC, bem como aulas teóricas e práticas de música para os alunos do ensino médio conforme as exigências da Lei nº 11.769, dentro da componente curricular de Artes do Ensino Médio.

Apesar da importância que o Curso Básico de Instrumentos de Orquestra, a OEXP e o Coral representam para a instituição, uma única sala de 81 m² é destinada exclusivamente para as práticas musicais no campus. Além dessa sala, outras duas salas pertencentes à

Coordenadoria Artística do campus podem eventualmente ser utilizadas como apoio a Sala de Música, e efetivamente são utilizados quando a demanda requer.

Partindo do pressuposto de que as três salas não se encontram adequadas às práticas musicais e, ainda, duas delas são utilizadas para diferentes atividades que requerem qualidades acústicas distintas, esse trabalho se dedicará a caracterizar o ambiente acústico de cada uma das salas por meio de ensaios experimentais e simulação computacional, a fim de simular alternativas que possam adequá-las aos usos.

A proposta desta pesquisa se justifica, inicialmente, pela infundável discussão da funcionalidade na arquitetura, tema recorrente quando associado à acústica arquitetônica, vista a frequência de projetos que são omissos a esta área do conforto ambiental. Paradoxalmente, a crescente preocupação com o rigor técnico da obra arquitetônica também vem a justificar a pesquisa acerca da qualidade acústica da edificação, a fim de expor aspectos positivos e negativos de projeto que devem ser vistos ainda na etapa de desenho, para evitar falhas futuras (TAKAHASHI, 2010).

No caso de edificações existentes, é preciso indicar soluções práticas e adaptáveis para que o ambiente seja adequado à atividade ao qual se destina. Em se tratando da nova legislação imposta às escolas de ensino básico, poucas conseguiriam dispor de um novo ambiente projetado e construído para esse fim, de forma que se torna essencial conhecer estratégias de reformas e adaptações adequadas para o uso.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Caracterizar o ambiente acústico das salas utilizadas para ensino e prática musical do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina a partir da resposta acústica impulsiva obtida por meio de medições experimentais e da simulação computacional.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar experimentalmente o comportamento do som dentro de três salas de prática e ensino de música, a partir do levantamento de parâmetros acústicos associados ao tempo de

reverberação, obtidos da resposta impulso, considerando critérios de adequação de salas para a música;

- Determinar parâmetros acústicos a partir da resposta impulsiva dos ambientes em estudo, considerando critérios de adequação da sala para a música, utilizando simulação computacional com apoio de um software comercial, correlacionando dados experimentais e simulados para validação do modelo computacional;
- Desenvolver modelos numéricos, por meio do uso de simulação computacional, das salas de prática e ensino musical avaliadas;
- Propor alternativas de adaptação das salas conforme sejam necessárias e de acordo com a atividade musical.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em nove capítulos. O primeiro corresponde à introdução, onde se expõe o tema discutido no trabalho, a justificativa dessa pesquisa, bem como seus objetivos. O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica, ou seja, uma revisão na bibliografia pertinente com o tema tratado, abrangendo os conceitos relevantes e parâmetros acústicos relacionados com a pesquisa. O terceiro capítulo refere-se à metodologia adotada para a realização dos estudos, por meio de um estudo piloto utilizando os materiais e métodos disponíveis e adotados. O quarto capítulo corresponde à descrição do estudo de caso a ser avaliado na pesquisa. O quinto capítulo trata das particularidades acústicas de cada uma das salas. O sexto capítulo descreve a etapa de ensaios experimentais e apresenta os resultados, bem como análise desses. O sétimo capítulo expõe a etapa de simulação computacional, bem como seus resultados. O oitavo capítulo apresenta as alternativas propostas de adaptação das salas ao uso da música. O nono e último capítulo refere-se às considerações finais desse trabalho, bem como lista sugestões para futuros trabalhos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ACÚSTICA ARQUITETÔNICA

A acústica é uma ciência que se aplica em diversas áreas do conhecimento. No âmbito da arquitetura, a acústica arquitetônica envolve duas áreas específicas: o isolamento acústico e o condicionamento acústico.

O isolamento acústico trata da defesa contra o ruído, sons indesejáveis que devem ser eliminados ou amortecidos. Já o condicionamento acústico trata do controle dos sons dentro de recintos fechados, da qualidade da comunicação sonora de acordo com a atividade a ser executada no ambiente. Neste sentido, essa pesquisa se limitará a tratar do condicionamento acústico de salas de aula destinadas ao ensino e prática de música.

2.2 ACÚSTICA DE SALAS

A acústica de salas é o ramo da acústica arquitetônica que se dedica especificamente ao estudo do comportamento do som dentro de ambientes fechados, denominados salas, visando maior qualidade acústica do ambiente, ou seja, trata do condicionamento acústico.

Segundo Silva (1983), um projeto acústico adequado ao ambiente é aquele que deve manter uma boa inteligibilidade dos sons com suficiente intensidade, tempo de reverberação adequado, ser livre de ruídos indesejáveis, e dispor de uma boa distribuição sonora, de acordo com o uso ao qual a sala se destina. As características dos materiais empregados nas diversas superfícies existentes na sala, a forma dos elementos existentes e a distribuição do layout determinam a qualidade acústica dela.

Conforme afirma Bistafa (2000), os requisitos para a fala são diferentes daqueles para a música. No primeiro caso, o propósito da sala é facilitar a compreensão da fala. Já no segundo, a situação é mais complexa, pois diferentes pessoas (músicos, atores, oradores, ou mesmo um ouvinte não treinado) poderão ter opiniões distintas sobre as características acústicas desejáveis, pois são também influenciadas pelas oportunidades e experiências em diferentes salas, na comparação de suas propriedades acústicas. A

Figura 1 mostra os requisitos acústicos gerais para a fala e para a música.

Salas de estudos teóricos, onde o entendimento da fala é primordial, devem prezar pela inteligibilidade da fala, e salas para a prática de música tem como parâmetro acústico fundamental a reverberação do ambiente, este dependendo de outros diversos fatores associados à ocupação da sala e instrumentos tocados. Devem ser considerados ainda a forma e o tamanho da sala, o número de pessoas dentro do recinto e todos os elementos que fazem parte dele.

Figura 1 - Comparação de requisitos acústicos para a fala e para a música.

FALA	MÚSICA
Sala seca	Sala viva
Curto tempo de reverberação	Longo tempo de reverberação
Clareza, inteligibilidade da fala	Tempo de decaimento homogêneo do som
Som próximo do palco com alguma contribuição de reflexão da sala, sem perceber o tempo de reverberação	Bom "envolvimento" – o público deve sentir-se rodeado do som, e músicos devem ser capazes de se ouvir e cada um ao outro facilmente
Pequeno volume	Grande volume

FONTE: Building Bulletin 93, 2003.

Salas de estudos teóricos, onde o entendimento da fala é primordial, devem prezar pela inteligibilidade da fala, e salas para a prática de música tem como parâmetro acústico fundamental a reverberação do ambiente, este dependendo de outros diversos fatores associados à ocupação da sala e instrumentos tocados. Devem ser considerados ainda a forma e o tamanho da sala, o número de pessoas dentro do recinto e todos os elementos que fazem parte dele.

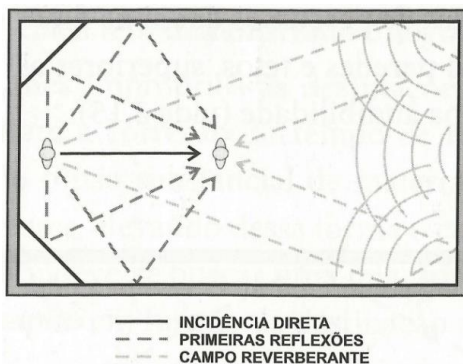
Em se tratando de salas para ensino e prática de música, que é o caso desta pesquisa, são necessários tanto requisitos acústicos para a palavra falada quanto para a música, de forma que se faz necessário um estudo dos parâmetros acústicos necessários para se alcançar a qualidade acústica em ambos os casos, parâmetros esses que serão revisados adiante.

2.3 PROPAGAÇÃO SONORA DENTRO DE RECINTOS FECHADOS

A propagação do som dentro de uma sala pode ser distinguida em som direto, primeiras reflexões e som reverberante (Figuras 2 e 3). O som direto, ou onda primária, é o som que parte da fonte e chega diretamente ao receptor sem encontrar obstáculos na propagação. Primeiras reflexões, ou onda secundária, são os sons que encontraram

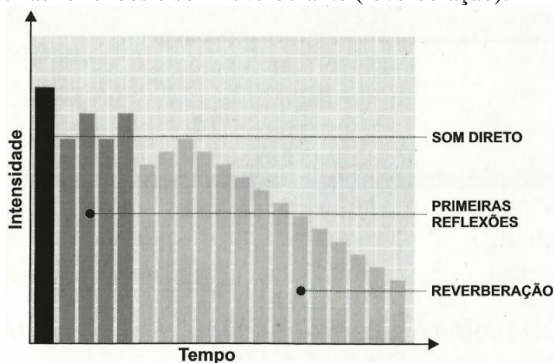
obstáculos (parede, teto, piso) em sua propagação e sofreram reflexões antes de chegar ao receptor. O som reverberante é aquele composto pelas reflexões que ocorrem subsequentemente após as primeiras reflexões e ainda são percebidas pelo receptor.

Figura 2 - Esquema em planta baixa mostrando o caminho percorrido pelo som direto, primeiras reflexões e som reverberante, a partir da fonte até chegar ao receptor.



Fonte: Carvalho (2010).

Figura 3 - Gráfico de intensidade do som pelo tempo mostrando a ocorrência do som direto, primeiras reflexões e som reverberante (reverberação).

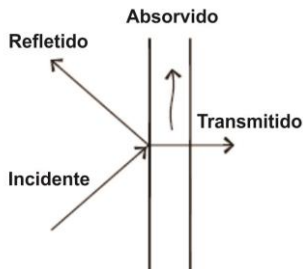


Fonte: Carvalho (2010).

Quando as ondas sonoras se propagam ao ar livre, sem encontrarem superfícies, seu nível de pressão sonora decai 6 dB a cada vez que a distância da fonte sonora é dobrada. Em situação contrária, quando uma onda encontra um obstáculo, como, por exemplo, uma parede ou um objeto em uma sala, parte da energia sonora é refletida, parte da energia sonora é absorvida e outra parte é transmitida para o

outro meio, dependendo das características dessas superfícies, como mostra o esquema na Figura 4. É neste momento que ocorrem os fenômenos de reflexão, difusão, difração, absorção e refração.

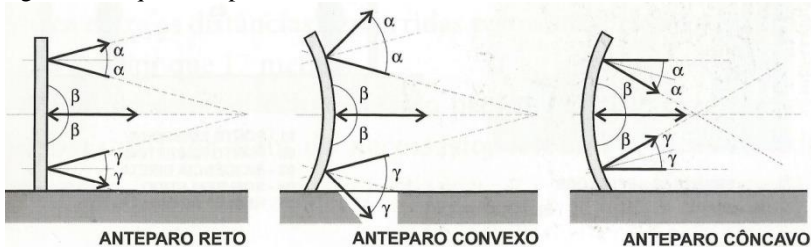
Figura 4 - Interação das ondas sonoras com os obstáculos encontrados em sua propagação.



Fonte: Traduzido de Long (2006).

A reflexão ocorre quando parte da energia sonora incidida no obstáculo retorna ao ambiente, sendo esse obstáculo uma superfície rígida e com dimensões maiores que o comprimento de onda. Quando esta superfície é côncava, os raios sonoros tendem a convergir para um foco central, e quando esta superfície é convexa, os raios sonoros tendem a se difundir pelo ambiente (Figura 5).

Figura 5 - Esquema explicativo da reflexão sonora.



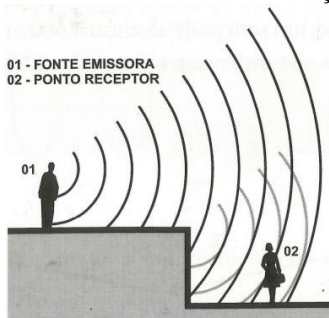
Fonte: Carvalho (2010).

A difusão, ou espalhamento, é a redistribuição aleatória, ou dispersão, de uma onda sonora. Ocorre quando o obstáculo encontrado pela onda sonora é uma superfície rígida que apresenta irregularidade com profundidade de dimensões comparáveis com o comprimento de onda do som, ou seja, dimensões iguais. A onda incidente no material é refletida de forma difusa, distribuindo o som por todo o ambiente, como no anteparo convexo, visto na Figura 5. Esse é um efeito particularmente desejável em ambientes voltados para apresentações

musicais, visto que quando a difusão satisfatória é alcançada, os ouvintes tem a sensação de que o som vem de todas as direções de forma homogênea (EGAN, 1988).

A difração do som consiste na propriedade que a onda sonora possui de transpor obstáculos posicionados entre a fonte sonora e o receptor, mudando de direção e reduzindo sua intensidade, como mostra a Figura 6. Isso ocorre quando o comprimento da onda sonora é grande em relação ao tamanho do obstáculo e as frentes de onda contornarão esse obstáculo.

Figura 6 - Esquema demonstrando o fenômeno da difração.

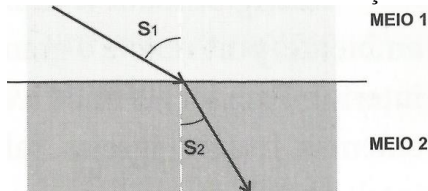


Fonte: Carvalho (2010).

A absorção acústica ocorre quando o obstáculo encontrado pela onda sonora remove energia acústica do ambiente por meio de dissipação em forma de calor. A quantidade de energia absorvida dependerá de fatores como o tipo e espessura do material, bem como a frequência da onda incidente.

A refração ocorre quando uma onda sonora muda de direção ocasionada pela mudança de meio de propagação (Figura 7). A mudança na direção está associada com a brusca variação da velocidade de propagação que a onda sofre, tendo em vista que sua velocidade está relacionada com o meio de propagação.

Figura 7 - Esquema demonstrando o fenômeno da refração.



Fonte: Carvalho (2010).

2.4 CONDICIONAMENTO ACÚSTICO

Condicionamento acústico é o processo pelo qual se busca garantir as melhores condições possíveis de audibilidade interna em um recinto. Isso consiste basicamente em garantir o tempo ótimo de reverberação e promover a melhor distribuição possível dos sons gerados internamente. Llinares, Llopis e Sancho (1996) discorrem sobre as três teorias distintas que embasam o condicionamento acústico a fim de tentar resolver problemas acústicos em recintos: a Acústica Ondulatória, a Acústica Estatística e a Acústica Geométrica.

A acústica ondulatória está associada com os modos normais da sala, de forma que se baseia na resolução da equação diferencial da onda acústica na sala e preocupa-se com as dimensões das salas para evitar ressonâncias indesejadas no recinto. A acústica estatística estuda as reverberações, ou seja, é adequada quando a energia acústica da sala está se atenuando, alcançando o estado estacionário de energia da sala. Já a acústica geométrica cuida da distribuição do som no ambiente e da influência da forma na propagação dos raios sonoros através da análise da distribuição do campo acústico no recinto (LLINARES, LLOPIS E SANCHO, 1996).

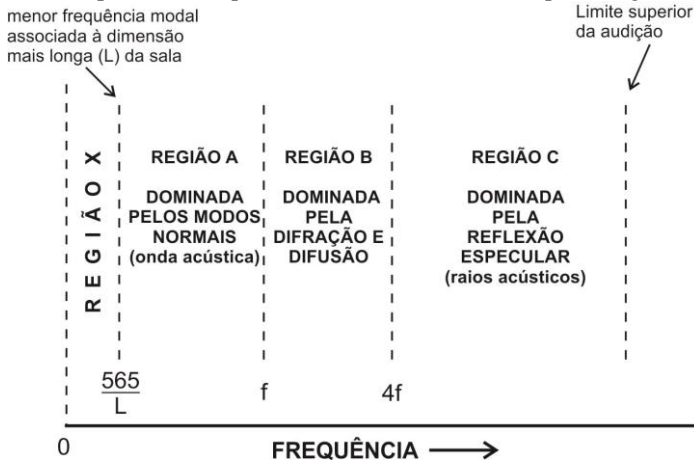
A adoção da teoria mais adequada para o condicionamento acústico de salas depende da frequência do som analisado. Everest (1987) divide o espectro sonoro audível em quatro regiões, conforme mostra a Figura 8. A região A é uma região de baixa frequência, dominada pelos modos normais da sala, a região B é dominada pela difração e difusão, a região C é dominada pela reflexão especular, e na região X não ocorrem efeitos modais. Portanto, a região A deve ser analisada através da acústica ondulatória e na região C seria mais apropriada a análise por meio do traçado de raios, ou seja, acústica geométrica. A região B é uma região de transição, tendo suas próprias características especiais, melhor analisada através da acústica estatística.

Long (2006) explica que acima da frequência de corte (transição entre a região X e a região A) formam-se modos normais, que se manifestam como ondas estacionárias, resultando em pontos de alta e baixa pressão sonora na sala, ou seja, em alguns pontos da sala o som será mais intenso e em outros pontos mais fraco, podendo ser nulo.

Os modos normais de vibração (frequências naturais) de uma sala retangular são calculados através da Equação 1, onde m , n e l são números inteiros que indicam o número de planos nodais perpendiculares aos eixos x , y e z da sala; c_0 a velocidade de propagação

do som no meio; e L_x , L_y , L_z as três dimensões da sala relativas aos eixos x, y e z, comprimento, largura e altura, respectivamente.

Figura 8 - O espectro de frequências audíveis dividido em quatro regiões.



Fonte: Traduzido de Everest (1987).

$$f(m, n, l) = \frac{c_0}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{l}{L_z}\right)^2} \quad (1)$$

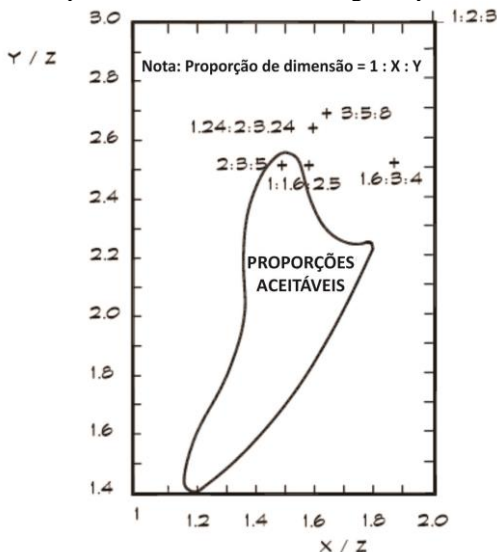
Em frequências mais altas, a densidade de modos é tão grande que torna-se mais útil analisar o comportamento da sala baseado na densidade de energia existente ou outras considerações estatísticas. A transição entre o modelo de modos normais (região A) e o modelo estatístico (região B) é marcada pela chamada Frequência de Schroeder, que é calculada através da Equação 2, onde V é o volume da sala em m^3 e T é o tempo de reverberação da sala em segundos (LONG, 2006).

$$f = 2000 \sqrt{\frac{T}{V}} \quad (2)$$

Bolt (1946) produziu uma carta (Figura 9) que apresenta proporções preferidas de salas retangulares para garantir uma resposta mais suave da sala em baixas frequências. A curva considera razões de dimensões de largura (x) e comprimento (y) de uma sala retangular com altura (z) unitária. Dentro dessa curva estão as proporções consideradas

"aceitáveis", segundo Bolt (1946), para garantir a distribuição espacial mais homogênea dos níveis de pressão sonora (LONG, 2006).

Figura 9 - Dimensões preferidas de uma sala retangular, para Bolt (1946).



Fonte: Traduzido de Long (2006).

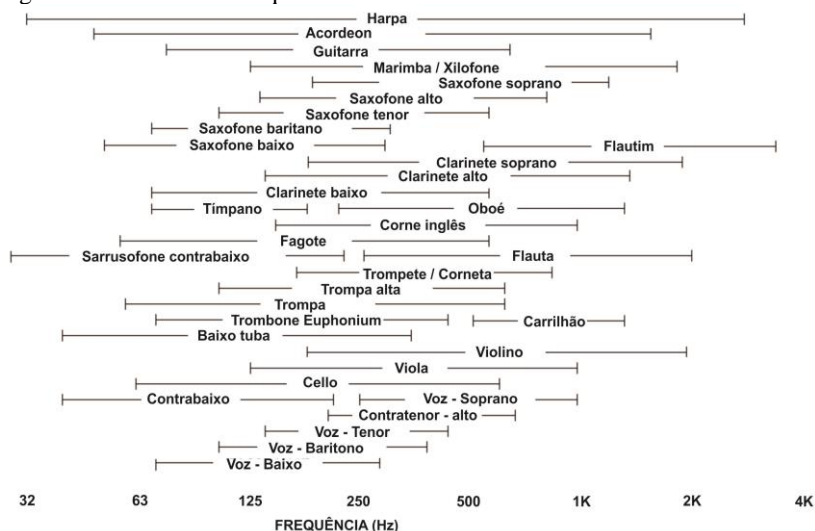
A NBR 12.179 de 1992, que fixa critérios fundamentais para a execução de tratamentos acústicos em recintos fechados, estabelece que o condicionamento acústico deve ser realizado por meio do estudo geométrico-acústico do recinto e cálculo do tempo de reverberação. Segundo a norma, esse estudo consiste em examinar as plantas e cortes do recinto, levando-se em conta os materiais a serem empregados e considerando uma ou mais fontes sonoras, previamente localizadas, com a finalidade de conhecer a distribuição dos sons diretos ou refletidos, de modo a serem alcançadas as melhores condições de audibilidade em todo o recinto. As superfícies do teto e, eventualmente, das paredes devem ser utilizadas para obter o reforço sonoro necessário à boa audibilidade, com o emprego de defletores (no caso de reflexão do som orientada) ou difusores (no caso de simples distribuição do som em todos os sentidos). Nesse estudo, a forma geométrica do recinto pode assim sofrer modificações tanto em planta como em corte para que se consiga garantir boa distribuição do som no mesmo.

Para Gerges (2000), o uso da teoria da geometria ou do raio acústico não é suficiente para o estudo do comportamento acústico de

sala, pois essa considera apenas valores médios e ignora as frequências características das salas. A teoria das ondas acústicas (análise modal) seria mais adequada, pois a sala pode ser tratada como um ressonador complexo tendo vários modos acústicos.

Sabendo que a faixa de frequência dos instrumentos ou vozes que atuam na sala é de fundamental importância para o estudo da acústica de salas destinadas à prática musical, julga-se necessário conhecer a frequências características da sala em estudo, tendo em vista a grande faixa de alcance de vários instrumentos musicais, inclusive da voz humana no canto, no espectro sonoro, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 - Alcance da frequência de diversos instrumentos musicais.



Fonte: Traduzido de Long (2006).

2.5 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO ACÚSTICA

Como foi visto anteriormente, para garantir a qualidade acústica de uma sala, é necessário conhecer o uso ao qual ela destina-se e os parâmetros acústicos que estão relacionados com essa atividade a ser executada pelos usuários. No que diz respeito ao ensino e prática musical, uma extensa pesquisa do autor Leo Beranek em um grande número de famosas salas de concertos, abrangendo entrevistas com músicos experientes acerca da qualidade acústica dessas salas, muito têm contribuído para a maioria dos recentes estudos realizados em acústica de salas.

Em seu livro *Concert and Opera Halls, how they sound*, publicado em 1996, Beranek discorre sobre a complexidade da associação das linguagens da acústica em entendimento com a linguagem musical, em como a música e a acústica desenvolveram-se independentemente e apresentam vocabulários diferentes para descrever diversos conceitos correlatos. Dessa forma, através de entrevistas com músicos experientes e profissionais da área, procurou associar termos ligados à impressão subjetiva do músico a conceitos acústicos passíveis de quantificação acústica de salas. Como resultado de sua pesquisa, estabeleceu diferentes parâmetros fundamentais para a avaliação da qualidade acústica de salas, especialmente aquelas relacionadas com a música. Os parâmetros acústicos que serão levantados nos ambientes estudados neste trabalho são apresentados na sequência.

2.5.1 Tempo de Reverberação

O tempo de reverberação (TR) é considerado um dos mais importantes parâmetros acústicos no estudo dos espaços internos. O conceito mais comum o define como o intervalo de tempo necessário para que o nível de intensidade de um determinado som decresça 60 dB após o término da emissão de sua fonte. Basicamente, o tempo de reverberação é o tempo em que o som se apresenta audível em determinado local.

Wallace Sabine, em seus estudos sobre absorção acústica, comprovou a relação da reverberação do ambiente com a presença de elementos absorventes de som. Seu estudo evidencia que o tempo de reverberação é inversamente proporcional à absorção total do ambiente (Equação 4). Essa absorção total (A) é expressa pelo somatório do produto da área de cada material (S) pelo seu coeficiente de absorção (α). Seu estudo resultou na equação de Sabine (Equação 3).

$$TR = 0,161 \frac{V}{A} \quad [s] \quad (3)$$

Sendo:

$$A = \sum \alpha_i S_i \quad (4)$$

Onde:

TR: Tempo de Reverberação (s);

0,161: Constante;
 V: Volume do ambiente em estudo (m^3);
 A: Absorção sonora total do ambiente;
 α_i : coeficiente de absorção do material, dado para cada banda de oitava;
 S_i : Área da superfície coberta por cada material (m^2).

Apesar da fórmula de Sabine ser amplamente utilizada atualmente, ela é mais adequada a ambientes reverberantes, ou seja, quando o coeficiente médio de absorção do recinto for menor ou igual a 0,3. Neste sentido, posteriormente aos estudos de Sabine, outros estudiosos do assunto apresentaram outras equações derivadas de Sabine, porém considerando outras variáveis, dentre as quais destaca-se a equação de Eyring, para quando o coeficiente médio de absorção acústica de um recinto for superior a 0,3 (Equação 6). Resumidamente, o que diferencia a equação de Eyring da equação de Sabine é o cálculo da absorção total do ambiente (A), ficando a equação do TR inalterada, mudando apenas o cálculo da variável A, conforme a Equação 5.

$$A_{Eyring} = -S \ln(1 - \bar{\alpha}) \quad (5)$$

Sendo,

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum S_i \alpha_i}{\sum S_i} \quad (6)$$

Como a absorção dos materiais depende da frequência do som, o tempo de reverberação também dependerá dela, de forma que o TR de um recinto pode ser apresentado em bandas de oitava, porém é comum encontrar nas bibliografias o TR apresentado somente para a banda de 500 Hz ou ainda a média aritmética dos TRs nas frequências de 500 e 1000 Hz.

Em seus estudos em salas de concertos, destinadas à apresentação, Beranek (1996) considera o tempo de reverberação ideal para a música variando de 1,4 a 2,0 s, para a faixa de frequência de 500 a 1000 Hz. Em se tratando de salas de prática e ensino de música de volumes reduzidos, Rocha (2010) compilou dados de diversos autores e tabulou (Tabela 1) os valores de TR indicados para os diferentes usos encontrados. Já Vergara, Marros e Paul (2017), em publicação mais recente, sintetizaram dados de sua pesquisa realizada em pequenas salas

de prática e ensino de música e apresentaram um TR de 1,4 s, na média entre 500 e 1000 Hz, para uma sala reverberante e adequada para práticas em grupo, na opinião dos músicos que utilizavam essas salas, assim como um TR de 0,4 s para uma sala seca e adequada para estudo.

Para efeito de aplicação na norma ISO 3382 o TR, ou T_{60} , é calculado por regressão quadrática linear da curva de decaimento medida a partir dos 5 dB até 35 dB abaixo do nível de pressão sonora inicial. Dessa forma, é possível considerar o tempo de reverberação através da extrapolação da curva de decaimento dos 30 dB (5 a 35 dB) ou 20 dB (5 a 25 dB, excepcionalmente) abaixo do nível de pressão sonora inicial, sendo estes parâmetros devidamente nomeados como T_{30} e T_{20} , respectivamente.

Tabela 1 - Tempos de reverberação, mínimo e máximo, recomendado para diferentes usos voltados à música por diversos pesquisadores.

Autor	Ensaio/Prática de conjunto de banda/orquestra	Pequenas salas de prática	Ensino (teoria musical)
Lane e Mikeska (1955)		0,4 a 0,5	0,55 a 0,65
Young e Gales (1956)	0,4 a 2,3	-	-
Karsai (1974)	0,4 a 0,8	-	-
Völker (1988)	0,5 a 0,7	-	-
Cohen (1992)	-	0,3 a 0,4	-
Tennhardt e Winkler (1994)	0,5 a 1,1	-	-
Boner e Cofen (2000) Nat. Assoc. of Schols of Music	0,9 a 1,5	-	-
BB93 (2003)	0,6 a 1,2	≤ 0,8	-
Ryherd (2008)	0,8 a 1,0	-	0,40 a 0,50

Fonte: ROCHA (2010). Adaptado pela autora.

2.5.2 Tempo de decaimento inicial

O tempo de decaimento inicial (EDT) é medido da mesma forma que o TR, porém trata apenas do decaimento dos primeiros 10 dB, enquanto que o TR trata do decaimentos dos 60 dB. De forma resumida, é o intervalo de tempo, em segundos, necessário para que o nível de intensidade de um determinado som decresça 10 dB após o término da emissão de sua fonte. O EDT é o parâmetro acústico que descreve a reverberação percebida pelo ouvido humano, ou seja, a parte da reverberação que somos mais sensíveis (SCHMID, 2013). A ISO 3382:2009 aponta que o EDT é subjetivamente mais importante do que o TR, tendo em vista que aquele tem relação com a percepção da reverberação, enquanto que esse último apenas relaciona-se com as propriedades físicas da sala.

Vergara, Marros e Paul (2017) identificaram como preferida pelos músicos um EDT de 1,4 s para sala de prática em conjunto e de 0,3 s para estudo.

2.5.3 Vivacidade

Vivacidade, ou *Liveness* conforme Beranek (2004), é o parâmetro acústico subjetivo associado ao alto tempo de reverberação. Segundo Schmid (2013), depende da combinação de um volume relativamente grande e uma área de absorção sonora relativamente pequena. Beranek (2004) afirma que uma sala é considerada viva quando o tempo de reverberação é maior que 1,6 segundos. Abaixo disso são consideradas secas ou mortas.

Para conhecer a Vivacidade de uma sala, Beranek (2004) associa objetivamente o parâmetro aos tempos de reverberação na faixa de frequências de 350 Hz a 1400 Hz, chamando-as de frequências médias (*mid-frequencies*), porém mantém a referência de TR_{60} com a média aritmética dos tempos de reverberação nas bandas de 500 Hz e 1000 Hz, referência essa também apresentada em seus estudos anteriores, conforme afirma Mannis (2008).

2.5.4 Calor

É o parâmetro acústico subjetivo associado a percepção do tempo de reverberação longo nas médias e baixas frequências, também definido como reforço de graves ou vivacidade dos graves. Beranek (1996) afirma que um TR muito longo nas baixas frequências ou mesmo muito curto comparado com um TR nas médias frequências pode afetar a percepção dos músicos. O autor associa esse parâmetro subjetivo ao parâmetro objetivo Razão de Graves (BR), de forma que o mesmo pode ser definido pela Equação 7.

$$BR = \frac{TR_{125} + TR_{250}}{TR_{500} + TR_{1000}} \quad (7)$$

Para Beranek (1996), um BR ótimo para salas com TR maiores que 1,8 segundos é em torno de 1,1 e 1,25 e para salas com TR menores ou iguais a 1,8 segundos um BR em torno de 1,1 e 1,45.

2.5.5 Brilho

Similar ao Calor, Brilho (Br) é o parâmetro acústico subjetivo associado a percepção do tempo de reverberação longo, porém em altas frequências. Schmid (2013) afirma que o Brilho pode proporcionar beleza à música, mas ressalta que no caso da fala, não é particularmente desejável. Beranek (2004) explica que um som claro, vibrante e rico em harmônico é chamado de brilhante. O autor coloca que, para preservar o brilho em uma sala, o Brilho não pode estar abaixo de 0,7, sendo que o Br pode ser quantificado similar ao BR, porém nesse caso através da razão entre os TRs nas médias e altas frequências, expresso pela Equação 8.

$$Br = \frac{TR_{2000} + TR_{4000}}{TR_{500} + TR_{1000}} \quad (8)$$

2.5.6 Clareza

Clareza (C_{80}) é o coeficiente entre a energia sonora recebida por um receptor entre 0 e 80ms (milissegundos) decorridos da audição da primeira frente de onda e a energia sonora recebida de 80ms até o final da reverberação (Equação 9). Para Figueiredo (2005), um bom grau de clareza em uma sala é quando a música tocada na mesma soa bem definida, com articulações sonoras límpidas e precisas, do contrário, o som se apresenta confuso e indefinido.

Em seus estudos, Beranek (1996) atenta que os valores de clareza preferidos pelos músicos podem variar de acordo com a situação. Em seu exemplo, onde um mesmo maestro prefere salas para ensaios com C_{80} entre 1 e 5 dB, porém prefere uma sala com C_{80} entre -1 e -4 dB para apresentações com audiência.

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt} \quad [dB] \quad (9)$$

2.5.7 Definição

Definição (D_{50}) é o coeficiente entre a energia sonora recebida por um receptor entre 0 e 50 ms decorridos da audição da primeira

frente de onda, ou seja, após o som direto, e a energia sonora total, até o final da reverberação, calculado através da Equação 10.

$$D_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_{50ms}^{\infty} p^2(t) dt} \quad [%] \quad (10)$$

É um parâmetro habitualmente mais utilizado no estudo da qualidade acústica de salas para a palavra falada, pois, assim como a Clareza, está associada a inteligibilidade do som, porém trata da energia sonora inicial, entre 0 e 50 ms, diferente da Clareza. Segundo Sala e Viljane (1995), estando a energia do som que chega ao ouvinte mais concentrada nos primeiros 50 ms haverá um reforço na voz do orador. De acordo com Kuttruff (2000), para a palavra falada, quando mais próximo de 100% esteja D_{50} , melhor será a definição do estímulo sonoro.

Custódio (2004) afirma que, em salas de concerto boas acusticamente, a Definição está em torno de 50% nas médias frequências (500 e 1000 Hz), enquanto que para a fala a Definição deve ser igual ou superior a 65%. Afirma ainda que, para a música, é preferível um valor entre 50% e 65%.

2.5.8 Fator de força do som ou Parâmetro G

Segundo Figueiredo (2005), o parâmetro G está associado à impressão acústica de nível sonoro (geralmente ligado à acepção subjetiva dos termos força, volume, ou intensidade). Esse parâmetro é definido como uma medida absoluta dada pela diferença entre o nível sonoro da fonte e o nível sonoro medido num ponto receptor. O mesmo autor afirma ainda que essa característica o coloca como um parâmetro bastante indicado para a comparação entre salas.

O parâmetro G pode ser medido pela diferença no nível de pressão sonora total em um determinado ponto da sala e o nível de pressão sonora que esta mesma fonte produz em um ponto a 10 m da fonte em campo livre¹. Já em campo difuso², o valor do parâmetro G

¹ É o campo acústico que se encontra numa área distante das superfícies refletoras de modo que as mesmas exerçam efeito desprezível sobre a região de interesse.

² É o campo acústico de densidade energética sonora uniforme em que a potência acústica por unidade de área é a mesma em todas as direções.

torna-se uma função do tempo de reverberação e do volume da sala, podendo ser calculado pela Equação 11.

$$G = 10 \log \left(\frac{TR}{V} \right) + 45 \quad [\text{dB}] \quad (11)$$

Para Beranek (1996), salas com uma boa qualidade acústica apresentam valores de G variando entre 4 e 5,5 dB, nas frequências médias de 500 e 1000 Hz.

2.5.9 Difusão e Índice de difusividade da superfície

A difusão, já aqui conceituada, é um efeito bastante desejado em salas de música. Associado a este fenômeno estão o coeficiente de difusão (d) e o coeficiente de espalhamento (s). Enquanto que o coeficiente de difusão contém informações da capacidade que a superfície tem em espalhar som para todas as direções, o coeficiente de espalhamento não inclui nenhuma informação quanto à direção do som refletido, mostrando apenas seu potencial de refletir uma onda de forma difusa e não especular, não necessariamente conseguindo dispersão. Dessa forma, quando o objetivo é avaliar a qualidade do espalhamento, o coeficiente de difusão é o mais adequado (BISTAFA, 2004).

Long (2006) afirma que, embora não haja acordo geral que a difusão é boa, há menos certeza sobre a quantidade ou o tipo e como medi-la. Bistafa (2004) ressalta que, apesar do estágio bastante avançado que se encontram as pesquisas acerca de materiais difusores, ainda relativamente pouco se sabe sobre os efeitos subjetivos da difusão, bem como até que ponto a qualidade acústica da sala dela depende.

Beranek (2004) destaca um estudo desenvolvido por Haan e Fricke (1993) em salas de concerto onde, através de um procedimento visual, é possível classificar a qualidade acústica das irregularidades das superfícies de uma sala, com base na inspeção, ou fotografias e desenhos. Essa qualidade das superfícies foi por eles nomeada de Índice de Difusividade da Superfície (SDI) e categorizaram as superfícies da seguinte forma:

- Alta difusividade (SDI = 1): superfícies com reentrâncias aleatórias por toda superfície com profundidades maior que 50 mm;
- Média difusividade (SDI = 0,5): superfícies com rebaixos superficiais de profundidades menores que 50 mm;

- Baixa difusividade (SDI = 0): superfícies planas e superfícies absorvedoras.

2.5.10 Índice de transmissão da fala

O índice de transmissão da fala (STI) é um parâmetro fundamental para avaliar salas onde a fala é a atividade principal e a compreensão do que é comunicado verbalmente é indispensável, de forma que trata da inteligibilidade da fala. O parâmetro leva em consideração o tempo de reverberação, os ecos e o ruído de fundo dos ambientes, sendo esses os principais fatores que afetam a inteligibilidade. O valor de STI trata de uma escala simples de 1 à 0 onde 1 é uma inteligibilidade excelente e zero a fala é totalmente ininteligível. A norma IEC 60268-16 (2003) apresenta valores recomendados de STI, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de STI recomendados pela norma IEC 60268-16 (2003).

STI	IEC 60268-16
0,75 – 1,00	Excelente
0,60 – 0,75	Bom
0,45 – 0,60	Adequado
0,30 – 0,45	Fraco
0,00 – 0,30	Péssimo

Fonte: IEC 60268-16 (2003).

É importante ressaltar que esses não são os únicos fatores associados com a má inteligibilidade de uma sala, podendo ainda interferir nesse critério o conhecimento tanto do ouvinte quanto do orador do idioma transmitido, a sensibilidade auditiva do receptor, a posição entre o orador e o receptor, dentre outros fatores externos à qualidade acústica da sala.

Apesar do STI estar especialmente relacionado com a fala e não com a música, julgou-se útil levantar esse parâmetro considerando que as salas a serem estudadas são também utilizadas para aulas teóricas de música, onde a fala deve ser inteligível.

2.6 MEDIÇÕES ACÚSTICAS E SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Conhecidos os parâmetros relacionados com a qualidade acústica de salas destinadas ao ensino e prática de música é necessário então conhecer os métodos possíveis de se determinar esses parâmetros da

sala a ser avaliada. A determinação desses parâmetros pode ser feita por meio de ensaios experimentais e/ou simulação computacional.

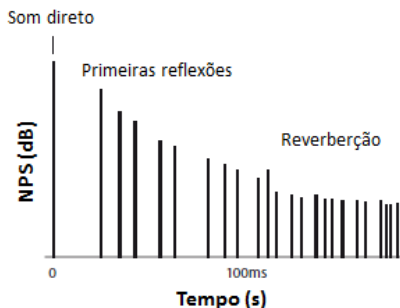
De modo geral, para avaliar o desempenho acústico de salas são usados os parâmetros de ruído de fundo e tempo de reverberação. O método tradicional para a medição do tempo de reverberação baseia-se na medida do decaimento do som no ambiente a partir da interrupção de um sinal sonoro (ruído branco ou rosa) emitido por uma fonte. Um método mais recente para avaliar as propriedades acústicas de uma sala baseia-se no princípio da resposta de um sistema a um impulso sonoro. A técnica impulsiva permite, além do cálculo do tempo de reverberação, o cálculo de outros parâmetros acústicos (OLIVEIRA, 2006).

2.6.1 Resposta Impulsiva

Viveiros (1995) afirma que através da técnica de respostas impulsivas, diversos e importantes parâmetros podem ser obtidos no campo da Acústica de Salas. Características de materiais e de componentes de edificações, bem como critérios de qualidade de salas podem ser avaliados de forma rápida e precisa.

Segundo Kuttruff (2000), a resposta impulsiva fornece informações sobre a qualidade de transmissão do som em uma sala que vai muito além da avaliação da reverberação. Para o autor, a resposta impulsiva pode ser considerada como a impressão digital acústica de uma sala.

Figura 11 - Resposta impulsiva mostrando o som direto, as primeiras reflexões e as reflexões subsequentes do decaimento reverberante de uma sala.



Fonte: Adaptado de Barron (2010).

A resposta impulsiva é, portanto, um registro de pressão sonora em um determinado ponto da sala, feito a partir do momento em que a

sala é sonorizada com um impulso. Uma simples inspeção visual da resposta impulsiva revela o som direto, as primeiras reflexões, e as várias reflexões que atingem o ouvinte logo após o som direto. O espaço acústico da sala é então caracterizado pelo decaimento reverberante, como mostra o exemplo de reflectograma na Figura 11 (BISTAFA, 2003).

Segundo Masieiro et al. (2004), o impulso de excitação da sala pode ser criado de forma analógica, como disparos de arma de fogo, por exemplo, ou de modo digital, com *softwares* que geram o sinal de excitação e o transmite através de uma fonte sonora.

2.6.2 Simulação Computacional

De acordo com Gade (2007), a simulação computacional leva em consideração a geometria e a distribuição dos materiais em um ambiente, bem como a posição real da fonte e do receptor. Como resultados, é possível prever os valores para diversos parâmetros acústicos importantes e, ainda, a geração de amostras de áudio do som produzido naquele ambiente para julgamentos subjetivos.

Vergara (2013) afirma que a simulação acústica de salas vem ganhando cada vez mais importância e aplicações, devido às interfaces cada vez mais amigáveis com as quais tem sido desenvolvidos os programas computacionais e, ainda, a maior precisão nos resultados encontrados. Além disso, a possibilidade também de se realizarem diversas modelagens com rapidez podendo ainda serem alteradas as dimensões e geometrias das salas, bem como as propriedades acústicas dos materiais que compõem as salas possibilitando simular diferentes campos acústicos e prever os parâmetros acústicos envolvidos com a qualidade acústica a qual se destina aquela sala.

Marros (2011) ressalta que há uma complexidade na aplicação da simulação que está na correta inserção dos dados numéricos que permitem a simulação, tanto em relação às geometrias e materiais quanto no que diz respeito aos algoritmos de cálculo. Entretanto, a mesma autora coloca que diversas pesquisas realizadas nos últimos anos por diversos pesquisadores têm mostrado que a simulação computacional é bastante confiável para diversos modelos e dimensões de salas.

Um *round robin*³ organizado por Vörländer (1995, apud MARROS, 2011, pg. 49) em 1995 testou 14 diferentes programas computacionais de simulação acústica para um mesmo auditório. O *Odeon, software*, que será utilizado neste trabalho, estava entre os três programas que obtiveram melhores resultados.

O *Odeon* é um software de simulação acústica que baseia-se nos princípios da acústica geométrica, na teoria do traçado de raios, termo que vem originalmente da física ótica, que analisa a distribuição do campo acústico de uma sala através da propagação dos raios sonoros (SVENSSON, 2008).

Diversas pesquisas acerca da comparação de dados medidos experimentalmente com os dados obtidos através de simulação tem demonstrado a capacidade, cada vez maior, da simulação computacional de se aproximar da situação real, bem como apontado limitações desses programas que podem provocar erros. Bork (2000) observa que os pontos fracos dos programas concentram-se nos cálculos de baixas frequências, bem como na grande diversidade de dados estimados para áreas de assento de cadeiras e poltronas, que conseqüentemente ocasiona uma extensa diversidade de dados de coeficientes de absorção e difusividade para esses mobiliários.

Nas mesmas pesquisas comparativas, Shiokawa e Rindel (2007) compararam simulações realizadas com a adoção de modelos geométricos detalhados confrontando com modelos geométricos simplificados e constataram que os modelos simplificados, feitos pela redução do número de superfícies, são suficientes para as simulações acústicas de salas, otimizando o tempo de simulação.

Rindel (2000) destaca que as técnicas de simulação computacional têm melhorado significativamente nos últimos anos, oferecendo várias vantagens em comparações com o modelo em escala. O autor observa que o espalhamento do som das superfícies tem se mostrado uma importante técnica de simulação acústica de sala, o que chama atenção para a necessidade de uma melhor informação sobre as propriedades de dispersão dos materiais. Em contrapartida, embora a simulação computacional pode lidar muito bem com a dispersão, o conhecimento sobre quais os coeficientes de dispersão devem ser usados ainda é muito escasso, limitando muitas vezes a simulação a inserção de dados apenas de absorção sonora (RINDEL, 2000).

³Teste de comparação onde um participante enfrenta todos os outros participantes o mesmo número de vezes.

2.6.3 Limiar diferencial (Just Noticeable Difference)

No estudo da impressão subjetiva dos parâmetros para avaliação da qualidade acústica, uma das principais tarefas está em determinar a variação mínima da grandeza física capaz de provocar uma variação apenas perceptível da sensação subjetiva. Essa variação, de acordo com Bistafa (2006) e Long (2006), recebe o nome de *diferença apenas perceptível* ("just noticeable difference", JND), ou *limiar diferencial*.

Christensen e Koutsouris (2013) observam que o JND fornece uma boa sugestão quanto à precisão desejável em uma simulação computacional. Se a diferença entre o "real" (medido experimentalmente com precisão) e o parâmetro acústico simulado é menor do que o JND, então não há diferença perceptível e o resultado da simulação é tão bom quanto deveria ser. Porém ressaltam que, em muitos casos, será difícil obter resultados com tamanha precisão, por diversos fatores que podem estar associados tanto com as limitações da simulação computacional quanto a erros ou limitações no levantamento experimental.

A ISO 3382:2009 e o manual do *Odeon* fornecem valores de JND para alguns parâmetros de avaliação da qualidade acústica, compilados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros acústicos do ambiente e seu respectivo JND.

Aspecto subjetivo	Parâmetro objetivo	Frequência média (Hz)	JND
Reverberação	$T_{30}(s)$	500 a 1000	5%
Percepção da reverberação	$EDT(s)$	500 a 1000	5%
Clareza	$C_{80}(dB)$	500 a 1000	1 dB
Definição	$D_{50}(\%)$	500 a 1000	5%
Tempo Central	$T_s(ms)$	500 a 1000	10 ms
Percepção do loudness ⁴	$G(dB)$	500 a 1000	1 dB

Fonte: ISO 3382 (2009) e Christensen e Koutsouris (2013).

⁴ Sensação subjetiva de intensidade de sons, também chamada de "audibilidade" por Bistafa (2006).

3 METODOLOGIA

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS – ESTUDO PILOTO

Mackey e Gass (2005) definem o estudo piloto como um teste, em pequena escala, dos procedimentos, materiais e métodos propostos para uma determinada pesquisa. A importância de conduzir um estudo piloto, conforme afirma Canhota (2008), está na possibilidade de testar, avaliar, revisar e aprimorar os instrumentos e procedimentos de pesquisa. A aplicação de um estudo piloto tem como importante objetivo a descoberta de pontos fracos e problemas em potencial, para que sejam resolvidos antes da implementação da pesquisa propriamente dita.

O estudo piloto deste trabalho foi desenvolvido no auditório do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, que pertence ao Departamento a qual este trabalho de mestrado está sendo desenvolvido. Os dados iniciais de levantamento arquitetônico e medições experimentais foram obtidos de uma pesquisa correlata, realizada anterior a esta por Oliveira (2014), sabendo que os métodos e matérias utilizados naquela pesquisa foram os mesmos adotados nesse trabalho. Dessa forma, esse estudo piloto se limitará a testar os instrumentos e procedimentos da simulação computacional.

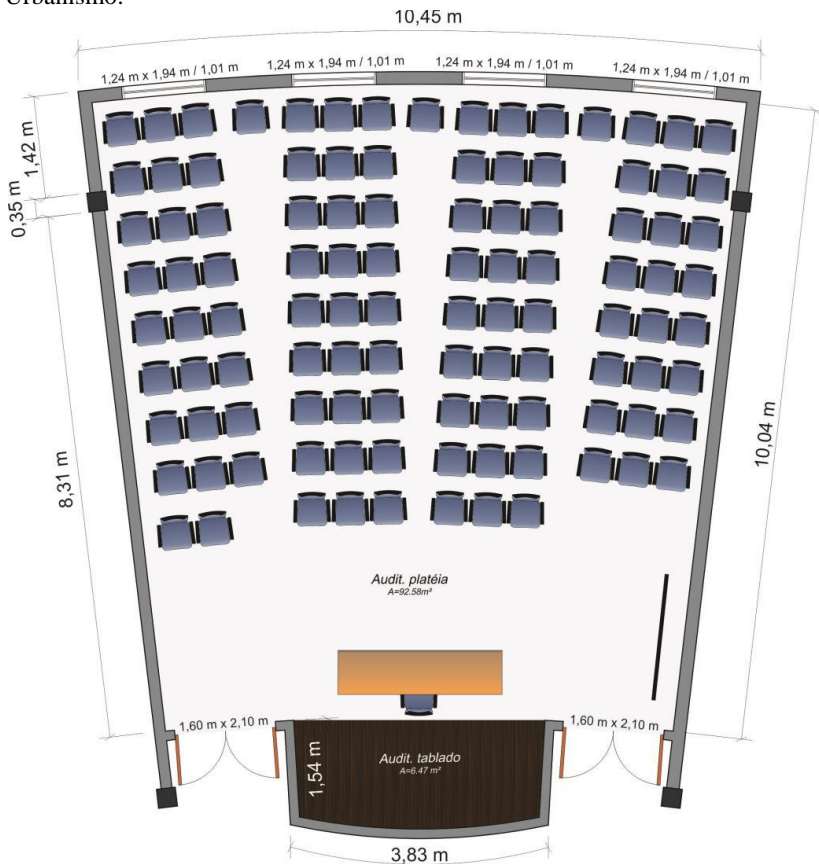
3.1.1 Levantamento arquitetônico do ambiente

Sabe-se que o levantamento das características físicas do ambiente é o primeiro passo para realizar as avaliações acústicas do ambiente. Deve-se levantar dados relativos à geometria da sala, materiais de revestimento utilizados e mobiliários presentes. Como resultado desses levantamentos geram-se plantas baixas, cortes, tabelas, mapas com todas as informações pertinentes para posterior análise acústica. Oliveira (2014) ressalta a importância de fotografar o ambiente para constar no relatório de estudos, de acordo com a norma ISO 3382:1997.

A capacidade do auditório do Departamento de Arquitetura e Urbanismo é de 105 pessoas, com volume total de 294,20 m³, distribuído em formato de "leque", conforme mostra a Figura 12. A parede frontal, onde está localizado o palco, possui duas portas do tipo "vai-e-vem" de madeira maciça com duas folhas cada uma. A parede do fundo do auditório possui quatro janelas de 1,24 m x 1,94m e peitoril de 1,01 m do tipo maxim-ar com estrutura de alumínio e vidro simples

6mm. As duas paredes laterais não possuem aberturas (OLIVEIRA, 2014).

Figura 12 - Planta baixa do auditório do Departamento de Arquitetura e Urbanismo.



Fonte: Oliveira (2014).

Com relação ao revestimento, todas as paredes são de reboco liso pintado, o piso é de concreto alisado com tinta Epóxi, com exceção do palco que possui tablado de madeira. O teto não possui forro, sendo apenas de reboco alisado. A iluminação acontece com duas luminárias de sobrepôr para duas lâmpadas fluorescentes tubulares no palco, e luminárias circulares pequenas para duas lâmpadas fluorescentes compactas na área de audiências. O Quadro 1 apresenta as áreas de cada

material e seus respectivos coeficientes de absorção sonora (OLIVEIRA, 2014).

Quadro 1 - Áreas dos materiais e respectivos coeficientes de absorção sonora.

Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora							
Material	Área (m ²)	Coeficiente de absorção					
		125	250	500	1000	2000	4000
Piso concreto liso - epoxi	92,58	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Deck madeira	6,47	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10
Teto reboco liso	99,05	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03
Parede alvenaria rebocada	106,62	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
Portas de madeira, fechadas	7,04	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10
Vidro, janela normal	4,84	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Persianas	4,84	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35

Quadro de materiais e absorção sonora							
Item	Quant. (un.)	Absorção sonora (m ² - Sabine)					
		125	250	500	1000	2000	4000
Mesa madeira*	1	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10
Cadeira estofada, chata, com tecido	104	0,08	0,16	0,22	0,23	0,24	0,24
Pessoa em pé	2	0,19	0,33	0,44	0,42	0,46	0,37

Fonte: Oliveira (2014).

O mobiliário do auditório (Figuras 13 e 14) é composto por 105 poltronas com assento fixo e prancheta móvel, sendo sua estrutura em ferro com revestimento de poliuretano e estofamento poroso no encosto e assento, uma mesa de 2,60 m x 0,7 m e um quadro branco de 2,00 m x 1,20 m posicionados na frente do auditório (OLIVEIRA, 2014).

Figura 13 - Vista da entrada do auditório.



Fonte: Oliveira (2014).

Figura 14 - Vista do fundo do auditório.



Fonte: Oliveira (2014).

3.1.2 Medições experimentais

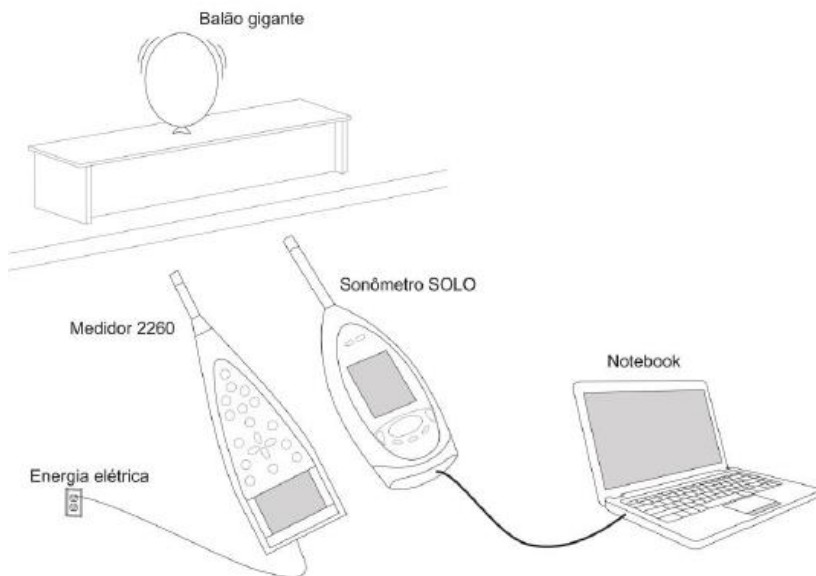
Em suas medições experimentais, Oliveira (2014) testou cinco técnicas diferentes para obtenção dos parâmetros acústicos da sala, dividindo-as em cinco fases diferentes, dentre as quais aqui é importante destacar as duas últimas etapas, onde foram definidos e validados os equipamentos utilizados para os resultados do estudo.

Na quarta fase de seu estudo, Oliveira (2014) realizou uma medição experimental através do método de resposta impulsiva, seguindo as orientações da norma ISO 3382:1997, a qual aconselha o uso de tal método para obter resultados com maior precisão. Nesta medição foram utilizados dois equipamentos por ela antes testados, porém com a substituição da Fonte Sonora Omnidirecional, tendo em vista que essa, sem um equipamento e *software* específico, não emite som de impulso. Para emissão do impulso sonoro foi implantada uma técnica com balões de tamanhos médios (convencionais) e gigantes da marca Art Latex, onde esses são estourados para geração do sinal (Figura 15). Nessa medição, Oliveira (2014) concluiu que os balões gigantes tinham melhor efeito no espectro sonoro, conseguindo alcançar as baixas frequências devido ao tamanho (aproximadamente 46 cm com o balão cheio), ao volume de ar do balão, que é de aproximadamente 55 litros, e à espessura do látex. Numa quinta e última fase do estudo realizado por Oliveira (2014), foram realizadas medições utilizando os dois equipamentos adotados com balões gigantes em nove pontos de recepção, alterando a configuração de análise para bandas de oitava (125 a 8000 Hz), conforme orientações impostas pela norma ISO 3382.

Todos os resultados de ambos os equipamentos e fases do estudo foram analisados por Oliveira (2014), que após a correlação e a validação dos resultados dos equipamentos e sistemas adotou o último método, com os dois equipamentos somado ao balão gigante, para aplicação nos estudos de seu trabalho. A autora ressaltou que, a partir da segurança obtida com os valores de TR neste estudo piloto, os resultados para as outras variáveis obtidas através desse método também podem ser consideradas seguras.

Com a validação do método realizada por Oliveira (2014) com os mesmos equipamentos disponíveis para este trabalho em questão, este estudo piloto foi concentrado na validação do método de simulação computacional para o mesmo ambiente.

Figura 15 - Equipamentos utilizados na quinta fase do estudo piloto.



Fonte: Oliveira (2014).

3.1.3 Simulação Computacional

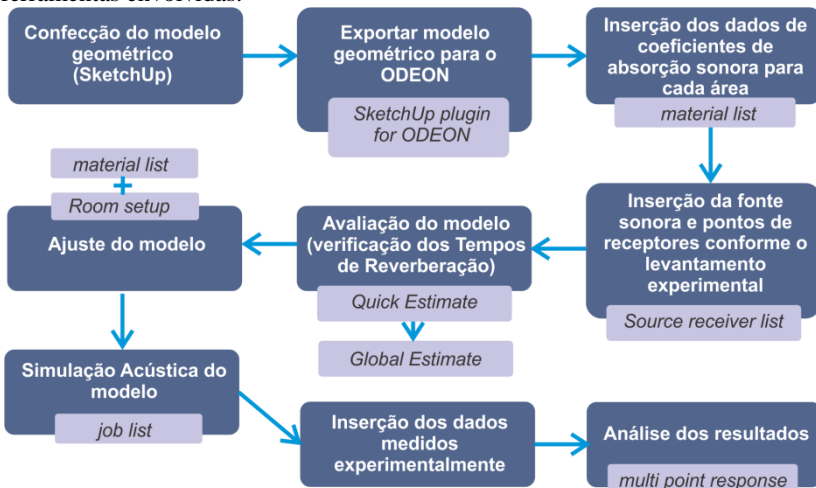
Como dito anteriormente, o programa utilizado para realizar as simulações computacionais neste trabalho será o *Odeon*, um *software* desenvolvido pelo Departamento de Tecnologia Acústica da Universidade Técnica da Dinamarca. Essa etapa de simulação será realizada em quatro fases principais: confecção do modelo geométrico, definição e aplicação de materiais, ajuste do modelo e simulação acústica. A Figura 16 ilustra de maneira esquemática os processos que envolveram a etapa de simulação computacional.

3.1.3.1 Confecção do modelo geométrico

A criação de um arquivo contendo as informações das características geométricas da sala que se pretende simular é o ponto de partida para analisar uma sala no *Odeon*. A criação desse arquivo pode ser por meio da digitação dos dados em um arquivo de texto no módulo *Odeon editor*, utilizando o próprio *software*, ou utilizando o *plugin* disponível para o *SketchUp*, ou importando arquivos criados em programas de CAD (por exemplo, *AutoCAD*, *Autodesk Revit*,

3DStudioMax) com extensão ".dxf", ou ainda combinando esses diferentes métodos de modelagem (CHRISTENSEN; KOUTSOURIS, 2013).

Figura 16 - Procedimentos gerais da simulação acústica e as respectivas ferramentas envolvidas.



Fonte: Elaborado pela autora.

Estudos demonstraram que a confecção do modelo no *SketchUp* e posterior exportação do modelo para o *Odeon* pode se mostrar um método menos complexo, especialmente para aqueles que já familiarizam-se com a ferramenta, e, por isso, também torna-se um método mais rápido, de forma que esse foi o método adotado para este trabalho (MARROS; DORNELES; VERGARA, 2010).

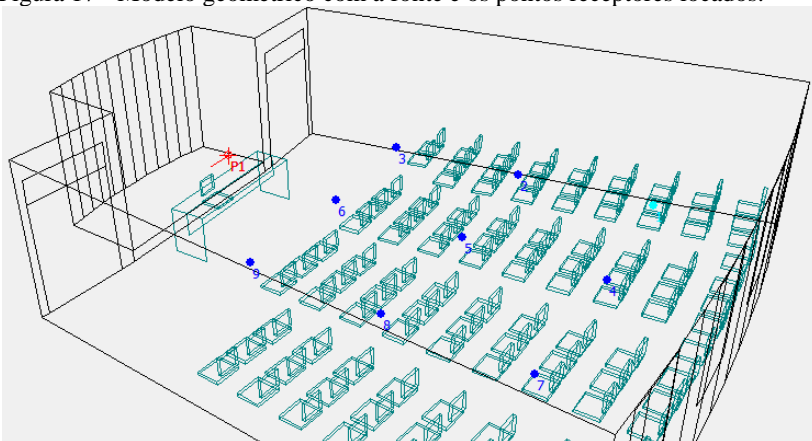
A geometria foi modelada de maneira simplificada, com a minimização de superfícies – desprezando pequenas bordas, reentrâncias e detalhes minuciosos irrelevantes para a simulação –, seguindo os levantamentos arquitetônicos antes realizados do local estudado. Cada tipologia de superfície foi modelada em uma *layer*, ou *camada*, diferente, de acordo com o material de composição, para posterior inserção de dados de absorção. Na sequência, o modelo geométrico foi exportado na extensão ".par" (extensão de arquivos suportada pelo *Odeon*) através de um *plugin* para *Sketchup* fornecido pelo fabricante do *Odeon*.

3.1.3.2 Definição e aplicação de materiais

Após inicializar o software *Odeon*, foi necessário abrir o modelo geométrico de formato ".par" a partir do local onde o arquivo foi salvo. Feito isso, a etapa seguinte foi inserir os coeficientes de absorção sonora de cada superfície, já antes modelada em *camadas* diferentes de acordo com o material. Para essa etapa foi necessário utilizar a ferramenta "*material list*", onde é possível utilizar a lista de coeficientes de absorção sonora já presentes na biblioteca do *Odeon*, ou inserir os coeficientes necessários, por banda de oitava (63 – 8000 Hz), através da opção "*edit material list*". Os coeficientes de absorção utilizados nesse primeiro momento foram aqueles já listados no Quadro 1, exceto pelas duas pessoas em pé, que foram desconsideradas na simulação.

Na sequência, é necessário inserir a localização da fonte sonora bem como dos pontos de recepção do sinal. Para isso é necessário utilizar a ferramenta "*source-recives list*" e inserir tanto a localização da fonte, quanto dos receptores, indicando as coordenadas x , y e z de localização de cada um desses elementos, de acordo com as localizações dos mesmos nas medições experimentais. A Figura 17 mostra a localização da fonte sonora e dos pontos dos receptores do modelo simulado.

Figura 17 - Modelo geométrico com a fonte e os pontos receptores locados.



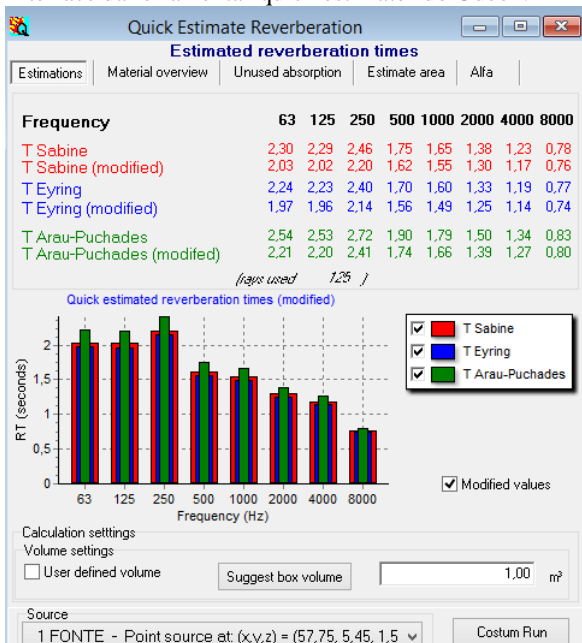
Fonte: Elaborado pela autora.

3.1.3.3 Ajuste do modelo

Existem dois métodos para a verificação inicial da qualidade do modelo geométrico e aplicabilidade dos materiais escolhidos no *Odeon*. O primeiro é utilizando a ferramenta "*quick estimate*" (estimativa rápida) e o segundo é utilizando a ferramenta "*global estimate*" (estimativa global), ambos calculando os tempos de reverberação do modelo (CHRISTENSEN; KOUTSOURIS, 2013).

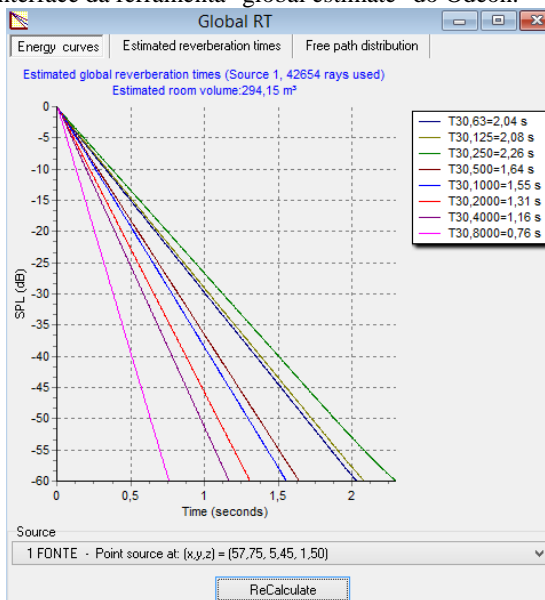
A "*quick estimate*" é um método rápido de estimativa do TR, baseado nas fórmulas de Sabine, Eyring e Arau-Puchades, exibindo os resultados para os diferentes autores. Essa ferramenta encontra-se na lista de materiais (*material list*) e assume condição de campo difuso para a sala simulada. Já a "*global estimate*" é um método um pouco mais preciso de verificação do TR, de forma que esse método não elabora suposições sobre o campo difuso e resulta em um TR mais confiável, desde que sejam inseridos os coeficientes de dispersão dos materiais (CHRISTENSEN; KOUTSOURIS, 2013). As Figuras 18 e 19 mostram a interface desses dois métodos de análise.

Figura 18 - Interface da ferramenta "quick estimate" do Odeon.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 19 - Interface da ferramenta "global estimate" do Odeon.



Fonte: Elaborado pela autora.

Ambos os métodos foram utilizados para verificação inicial da qualidade do modelo, que resultou em uma grande discrepância dos tempos de reverberação simulados com aqueles medidos experimentalmente. Apesar do potencial de confiabilidade da ferramenta "global estimate", a escassa informação dos devidos coeficientes de dispersão dos materiais já resulta em uma limitação inicial para essa simulação, de forma que esses dados não foram inseridos (RINDEL, 2000).

Para calibrar o modelo buscando a mínima diferença entre dados medidos e simulados, alguns ajustes foram realizados, bem como posteriores verificações, alterando o coeficiente de absorção das cadeiras para dados de outras referências disponíveis, e também ajustando algumas configurações da sala na ferramenta "room setup" conforme sugeria o Manual do Usuário do *Odeon* quando correções são necessários.

3.1.3.4 Simulação acústica

Após fazer os ajustes possíveis no modelo e verificar uma aproximação dos tempos de reverberação simulados com os medidos

experimentalmente, a próxima etapa do processo de simulação foi configurar o tipo de resultado desejado através da resposta impulsiva da sala na ferramenta "job list". Existem três formas de obtenção dos resultados: "single point response", "multi point response" e "grid response". O primeiro oferece um cálculo detalhado dos resultados para um único ponto de receptor selecionado; o segundo oferece os parâmetros acústicos da sala para todos os receptores definidos na lista de receptores; e o último oferece um cálculo geral dos parâmetros da sala levando em conta uma grade criada no menu "define grid".

Inicialmente a opção escolhida foi a "single point response" a fim de obter dados detalhados de cada um dos pontos de recepção. Posteriormente foi obtida a resposta também por meio de "multi point response" onde é possível inserir os dados das medições experimentais e verificar gráficos diretamente no *Odeon* para comparações desses dados com os simulados.

3.1.3.5 Análise dos resultados

Para análise da confiabilidade do modelo foram utilizados os parâmetros de Tempo de reverberação (TR), Tempo de decaimento inicial (EDT), Clareza (C_{80}) e Definição (D_{50}), medidos experimentalmente comparados com os mesmos parâmetros simulados.

A Figura 20 mostra a diferença entre os dados medidos e os dados simulados, em banda de oitava na faixa de frequência de 500 e 1000 Hz para comparação com os valores de JND sugeridos pela ISO 3382-1:2009. Nessa comparação inicial é possível perceber que o único parâmetro que se encontra abaixo do JND indicado pela bibliografia consultada é o tempo de reverberação, de forma que somente esse tem uma diferença entre o dado medido e o dado simulado não perceptível à audição.

Figura 20 - Diferença entre valores medidos e simulados, na faixa de 500 e 1000 Hz, comparados com o JND.

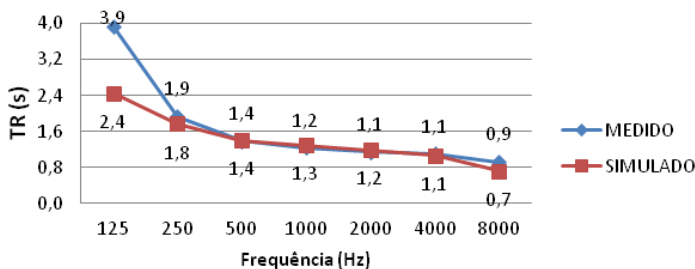
	TR	EDT	C_{80}	D_{50}
MEDIDO	1,31 s	1,60 s	-2,6 dB	23,9%
SIMULADO	1,35 s	1,38 s	1,2 dB	42,0%
DIFERENÇA	3%	13%	3,7 dB	43,0%
JND	5%	5%	1 dB	5%

Fonte: Elaborado pela autora.

Os Gráficos de 1 a 4 mostram as curvas dos dados medidos e dados simulados, em banda de oitava, para cada um dos parâmetros. O

Gráfico 1 demonstra a similaridade dos tempos de reverberação medidos com os simulados, fator esse que foi determinante na etapa do ajuste do modelo para avançar para a etapa da simulação acústica. A grande discrepância de valores na frequência de 125 Hz pode estar associada com a limitação que softwares de simulação computacional têm em baixas frequências.

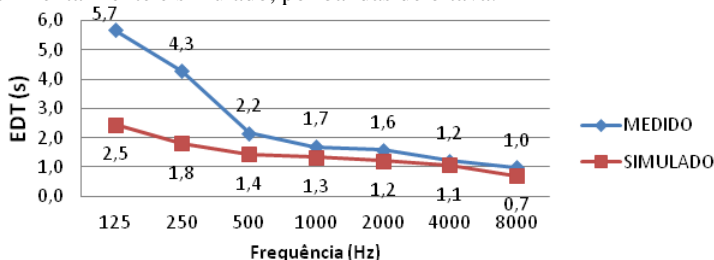
Gráfico 1 - Comparativo do Tempo de Reverberação (TR) medido experimentalmente e simulado, por bandas de oitava.



Fonte: Elaborado pela autora.

Apesar da grande semelhança verificada da comparação dos tempos de reverberação medidos com os simulados, o mesmo não ocorreu quando comparados os dados de tempo de decaimento inicial (EDT), parâmetro associado com a sensação que o ouvinte tem da reverberação do ambiente. O Gráfico 2 mostra que os dados simulados encontram-se bem distantes dos medidos, principalmente nas baixas frequências, e tendem a se aproximar na faixa acima de 1000 Hz. A distância dos resultados medidos para os resultados simulados nas baixas frequências, que tende a diminuir nas frequências mais altas, pode estar associada com as limitações do *software* no que diz respeito à acústica ondulatoria, ou seja, baixas frequências.

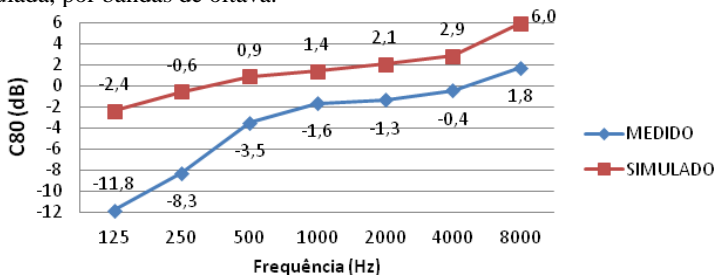
Gráfico 2 - Comparativo do Tempo de decaimento inicial (EDT) medido experimentalmente e simulado, por bandas de oitava.



Fonte: Elaborado pela autora.

Essa discrepância foi ainda maior quando comparados os dados de Clareza (C_{80}), parâmetro que é a razão logarítmica entre a energia inicial (0 a 80 ms) e a energia final (reverberante) do som. O Gráfico 3 mostra que nas baixas frequências existe uma diferença de até 9,4 dB entre o parâmetro simulado e o medido, diferença essa que é reduzida na faixa de 1000 Hz.

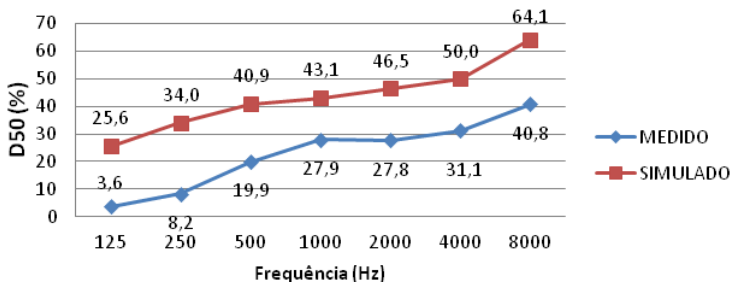
Gráfico 3 - Comparativo da Clareza (C_{80}) medida experimentalmente e simulada, por bandas de oitava.



Fonte: Elaborado pela autora.

A mesma discrepância entre dados medidos e simulados é verificada quando comparado o parâmetro Definição (D_{50}), que é a razão linear entre a energia que chega ao receptor aos primeiros 50 ms e a energia total do som. O Gráfico 4 mostra que, apesar da diferença entre os dados medidos e simulados chegarem a até 25,8% na faixa de 250 Hz, as duas curvas se apresentam bastante similares. Novamente atenta-se para o fato da aproximação dos dados na faixa de 1000 Hz.

Gráfico 4 - Comparativo da Definição (D_{50}) medida experimentalmente e simulada, por bandas de oitava.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os Gráficos de 5 a 8 mostram a comparação ponto a ponto dos dados medidos e dados simulados, na faixa de frequência média de 500 e 1000 Hz, para cada um dos parâmetros. Esses gráficos mostram o que

já evidenciavam os gráficos anteriores: os dados simulados que mais se aproximam dos dados medidos são aqueles referentes ao tempo de reverberação.

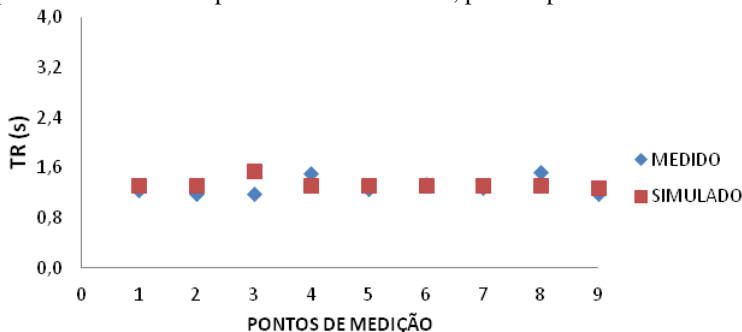
Apesar dos parâmetros de Tempo de decaimento inicial (EDT), Clareza (C_{80}) e Definição (D_{50}) apresentarem diferenças significativas na comparação dos dados simulados com os dados medidos experimentalmente, o estudo piloto se mostrou válido pelo objetivo de conhecer e possibilitar um primeiro contato com a ferramenta de simulação computacional disponível para o trabalho.

As discrepâncias na comparação dos dados, mesmo após ajustes do modelo e compatibilização dos tempos de reverberação, podem estar associadas tanto com as limitações do software no que diz respeito à acústica ondulatoria, quanto à falta de referências no que diz respeito à inserção de dados de difusividade dos materiais, ou ainda a erros ou limitações nas medições experimentais dos parâmetros.

Para garantir uma avaliação mais precisa das salas que se pretende analisar neste trabalho serão verificadas também as frequências naturais da sala (modos acústicos), bem como a Frequência de Schroeder, de cada uma das salas, frequência acima da qual é conveniente analisar a sala sob a ótica da acústica estatística e acústica geométrica, e abaixo da qual é necessário analisar a sala por meio da acústica ondulatoria.

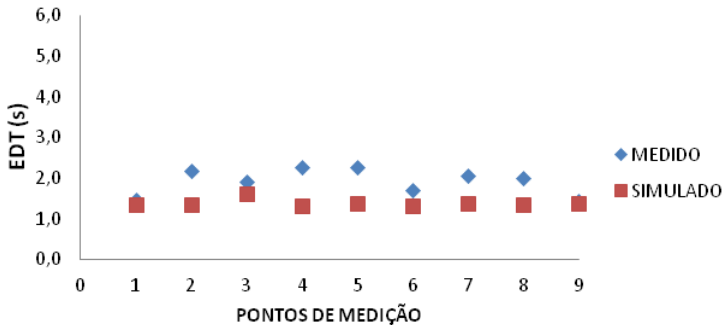
Além disso, será atentado também para que todos os procedimentos das medições experimentais sejam realizados com a maior precisão possível a fim de não prejudicar a busca pela fidelidade do modelo geométrico simulado.

Gráfico 5 - Tempo de Reverberação (TR) médio entre 500 e 1000 Hz medido experimentalmente comparado com o simulado, ponto a ponto.



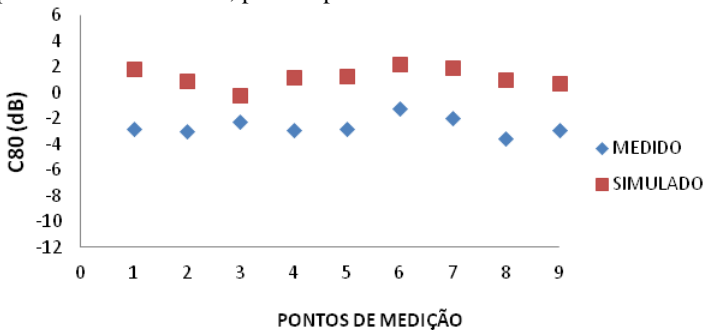
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 6 - Tempo de decaimento inicial (EDT) médio entre 500 e 1000 Hz medido experimentalmente comparado com o simulado, ponto a ponto.



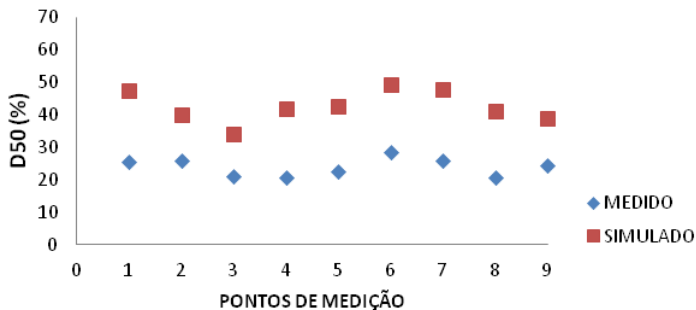
Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 7 - Clareza (C_{80}) média entre 500 e 1000 Hz medida experimentalmente comparada com a simulada, ponto a ponto.



Fonte: Elaborado pela autora.

Gráfico 8 - Definição (D_{50}) média entre 500 e 1000 Hz medida experimentalmente comparadas com a simulada, ponto a ponto.



Fonte: Elaborado pela autora.

4 OBJETO DE ESTUDO

As três salas da Coordenadoria Artística do IFSC Campus Florianópolis estão localizadas no piso térreo da ala norte do campus, logo ao lado da sala da coordenadoria (Figura 21). Os acessos às salas estão voltados ao depósito de instrumentos musicais e a escada que dá acesso ao pavimento superior que, juntos, formam um corredor. Enquanto que no sentido oposto aos acessos, onde se localizam as janelas das salas, está uma via interna do campus para o acesso de veículos aos estacionamentos. As três salas tem formato retangular, com todas as superfícies paralelas. A largura das salas, no sentido acesso-janelas, é sempre fixa em 7,52 m, assim como o pé-direito que é de 3,44 m.

Figura 21 - Vista do pátio interno do campus ao depósito de instrumentos musicais (em destaque) que forma um corredor junto às salas da Coordenadoria Artística do campus.



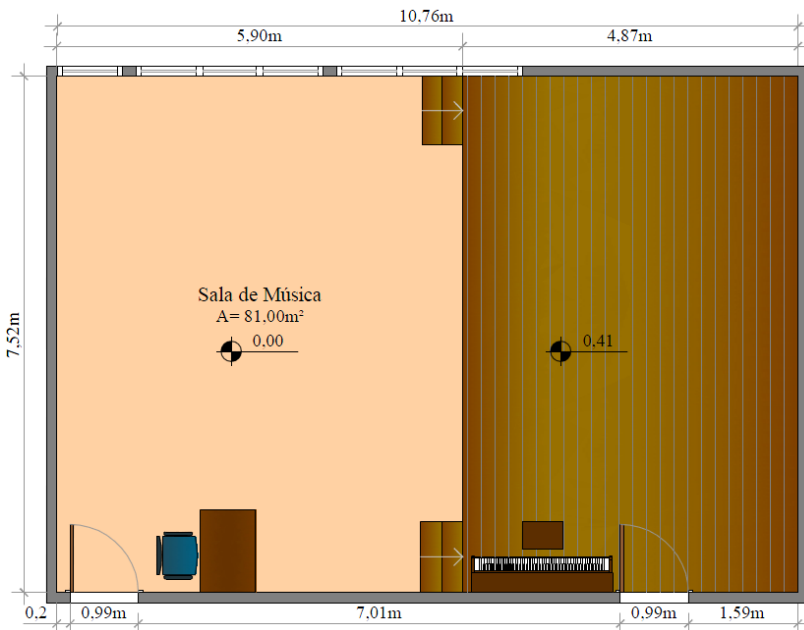
Fonte: Acervo da autora.

4.1 SALA DE MÚSICA

A Sala de Música é a maior das três salas, com 81 m² e volume de 261,64 m³. É utilizada pelos músicos e alunos do IFSC para ensaios práticos (em grupo e individual), aulas teóricas em grupo e até mesmo para apresentações musicais. Possui duas portas, uma que dá acesso ao mesmo nível do corredor e outra que dá acesso ao palco que está à +0,42 m do nível do corredor, sendo que ambas são do tipo de giro de uma folha. No sentido oposto às portas há sete janelas do tipo maxim-ar.

Em relação aos materiais das superfícies, as paredes são simples de alvenaria de tijolos cerâmicos furados, rebocadas e pintadas com tinta látex acrílica. O piso é de taco de madeira e o tablado possui piso laminado de madeira. O teto não possui forro, sendo apenas de reboco alisado e pintado com tinta látex acrílica. As janelas são de estrutura de PVC e vidro simples 6 mm. As portas são de madeira maciça. Cabe ressaltar que as janelas são cobertas por persianas que permanecem, na maior parte do tempo, fechadas, cobrindo as janelas. A Figura 22 apresenta a planta baixa da sala e o Quadro 2 apresenta as áreas de superfícies de cada material.

Figura 22 - Planta baixa da sala de música.



Fonte: Elaborado pela autora.

O mobiliário presente na sala é composto por diversos objetos, tais como mesa em MDF, mesa em madeira maciça, estantes metálicas, arquivo metálico, painéis de avisos em cortiça, um quadro branco fixo e outro móvel, cadeiras em couro sintético com estofado fino, tripés para partitura, um piano de parede, entre outros diversos objetos (Figuras 23e 24). É importante salientar que grande parte dos objetos presentes na sala não são fixos (como cadeiras, tripés, bancos), podendo estar também no depósito de instrumentos e materiais de apoio, conforme a necessidade,

e, portanto, serão quantificados e caracterizados no momento dos ensaios experimentais.

Quadro 2 - Área de superfície de cada material na Sala de Música.

Quadro de áreas por superfície	
Material	Área (m ²)
Parede alvenaria rebocada	105,70
Piso de taco de madeira	43,2
Piso laminado de madeira	37,8
Teto reboco liso	81
Portas de madeira	4,30
Vidro, janela	8,72
Persianas	8,72

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 23 - Interior da sala de música.



Fonte: Acervo da autora.

Figura 24 - Interior da sala de música.



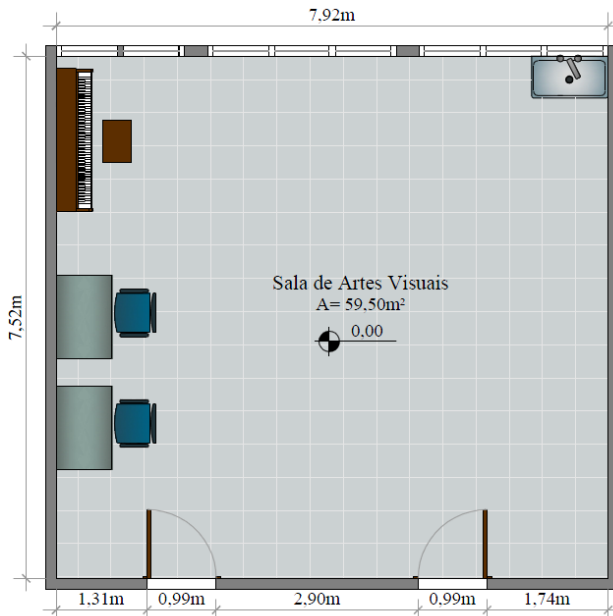
Fonte: Acervo da autora.

4.2 SALA DE ARTES VISUAIS

A Sala de Artes Visuais tem uma área de 59,50 m² e volume de 204,70 m³. É utilizada para todos os tipos de atividades artísticas pelos alunos da instituição, especialmente as artes plásticas e visuais. Possui duas portas de acesso, do tipo de giro de uma folha, e, no sentido oposto a essas, há oito janelas do tipo maxim-ar.

Em relação aos materiais das superfícies, as paredes são simples de alvenaria de tijolos cerâmicos furados, rebocadas e pintadas com tinta látex acrílica. O piso é de cerâmica. O teto não possui forro, sendo apenas de reboco alisado e pintado com tinta látex acrílica. As janelas são de estrutura de PVC e vidro simples 6 mm. As portas são de madeira maciça com duas janelas de vidro cada uma. Assim como na sala de música, também há persianas cobrindo toda a extensão das janelas de vidro, exceto nas portas. A Figura 25 apresenta a planta baixa da sala e o Quadro 3 apresenta as áreas de superfícies de cada material.

Figura 25 - Planta baixa da Sala de Artes Visuais.



Fonte: Elaborado pela autora.

O mobiliário presente na sala é muito variado, tais como mesa em MDF, estantes e armários metálicos, mapoteca metálica, pia para a lavagem de materiais, pranchetas para desenhos, telão para projeções, cadeiras plásticas e estofadas, piano de parede, violinos, entre outros materiais para atividades artísticas (Figuras 26 e 27). Assim como na sala de música, os objetos presentes na sala serão quantificados e caracterizados no momento dos ensaios experimentais para garantir a fidelidade dos ensaios.

Quadro 3 - Área de superfície de cada material na Sala de Artes Visuais.

Quadro de áreas por superfície	
Material	Área (m ²)
Parede alvenaria rebocada	92,13
Piso cerâmico	59,50
Teto reboco liso	59,50
Portas de madeira	3,65
Vidro, porta	0,65
Vidro, janela	10,30
Persianas	10,30

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 26 - Interior da Sala de Artes Visuais.



Fonte: Acervo da autora.

Figura 27 - Interior da Sala de Artes Visuais.



Fonte: Acervo da autora.

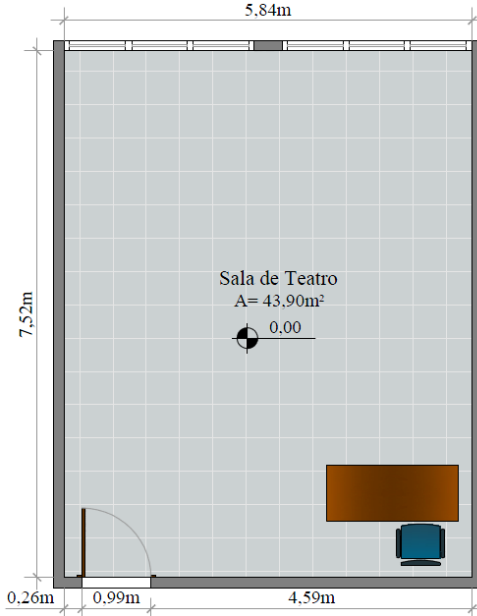
4.3 SALA DE TEATRO

A Sala de Teatro é a menor das três salas, com uma área de 43,90 m² e volume de 151 m³. É utilizada principalmente para as atividades de teatro pelos alunos da instituição. Possui uma porta de acesso, do tipo de giro de uma folha, e, no sentido oposto a essa, há seis janelas do tipo maxim-ar.

Em relação aos materiais das superfícies, as paredes são simples de alvenaria de tijolos cerâmicos furados, rebocadas e pintadas com tinta látex acrílica preta. O piso é de cerâmica. O teto não possui forro, sendo apenas de reboco alisado e pintado com tinta látex acrílica preta. As janelas são de estrutura de PVC e vidro simples 6 mm pintados com tinta preta. A porta é de madeira maciça. Ao contrário das salas anteriores, esta sala não possui persianas. A Figura 28 apresenta a planta baixa da sala e o Quadro 4 apresenta as áreas de superfícies de cada material.

O mobiliário desta sala é composto por uma mesa de madeira maciça, uma cadeira estofada, cadeiras de plástico e cadeiras de madeira, duas estantes metálicas, um armário para as instalações de som (Figuras 29 e 30). Assim como nas outras salas, os objetos presentes na sala serão quantificados e caracterizados no momento dos ensaios experimentais.

Figura 28 - Planta baixa da Sala de Teatro



Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 4 - Área de superfície de cada material na Sala de Teatro.

Quadro de áreas por superfície	
Material	Área (m ²)
Parede alvenaria rebocada	82,80
Piso cerâmico	43,90
Teto reboco liso	43,90
Porta de madeira	2,15
Vidro, janela	7

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 29 - Interior da Sala de Teatro.



Fonte: Acervo da autora.

Figura 30 - Interior da Sala de Teatro.



Fonte: Acervo da autora.

5 PARTICULARIDADES ACÚSTICAS DAS SALAS

Cálculos analíticos foram realizados a fim de conhecer as particularidades acústicas de cada uma das salas, ou seja, como se comportam as ondas sonoras em cada uma das salas, podendo assim justificar possíveis incoerências nas medições quando comparadas à simulação computacional, tendo em vista as limitações da simulação em baixas frequências.

5.1 FREQUÊNCIA DE SCHROEDER

A Frequência de Schroeder marca a transição abaixo da qual é mais útil analisar a sala sob a ótica da acústica ondulatória e, acima desta, basta a análise a partir da acústica estatística e acústica geométrica. Dessa forma, abaixo das Frequências de Schroeder calculadas para cada uma das salas, algumas diferenças entre dados obtidos *in loco* e dados da simulação computacional podem ser explicadas pela ocorrência de modos normais de vibrações das salas, tendo em vista que o *Odeon* utiliza o método de traçado de raios, onde os modos acústicos podem não ser tão bem representados quanto são quando obtidos analiticamente.

A Frequência de Schroeder para cada uma das salas, apresentada na Tabela 4, foi obtida aplicando a Equação 2 apresentada no item 2.4, utilizando o volume da sala e o TR médio da frequência de 500 Hz obtido nos ensaios experimentais. Abaixo dessas frequências, é importante conhecer os modos normais de cada uma das salas.

Tabela 4 - Frequência de Schroeder calculada para cada uma das salas.

	TR ₅₀₀ (s)	Volume (m ³)	F. de Schoreder (Hz)
Sala de Música	1,92	263,0	171
Sala de Artes Visuais	1,91	204,7	193
Sala de Teatro	3,42	151,1	301

Fonte: Elaborado pela autora.

5.2 MODOS NORMAIS

Para analisar o comportamento das ondas sonoras nas salas é útil analisar os primeiros modos normais axiais – que ocorrem quando as frentes de onda se movimentam paralelas a um eixo coordenado, ou seja, entre superfícies paralelas em um eixo x ou y, equivalente as paredes, ou entre superfícies paralelas em um eixo z, equivalente ao piso e teto da sala.

Os primeiros modos normais axiais calculados para cada uma das salas são apresentados na Tabela 5.

Antes de analisar os modos que poderiam influenciar nos resultados das medições e posterior calibragem do modelo de simulação computacional, convém ressaltar que as medições experimentais serão realizadas em bandas de oitava, de 125 até 4000 Hz. Assim, os modos que agem abaixo da Frequência de Schroeder e dentro da faixa de medição podem influenciar em uma medição experimental não coerente com a simulação computacional, considerando as limitações do software *Odeon* no que diz respeito à acústica ondulatória. O resultado de uma medição experimental em um determinado ponto x pode se apresentar discrepante do resultado simulado para o mesmo ponto, visto que o *software* não considera a existência de modos nas salas.

Tabela 5 - Modos normais axiais

Sala de Música					Sala de Artes Visuais					Sala de Teatro				
	m	n	l	f(m,n,l)		m	n	l	f(m,n,l)		m	n	l	f(m,n,l)
f_1	1	0	0	16	f_1	1	0	0	22	f_1	1	0	0	23
f_2	0	1	0	23	f_2	0	1	0	23	f_2	0	1	0	29
f_3	2	0	0	32	f_3	2	0	0	43	f_3	2	0	0	46
f_4	0	2	0	46	f_4	0	2	0	46	f_4	0	0	1	50
f_5	3	0	0	48	f_5	0	0	1	50	f_5	0	2	0	59
f_6	0	0	1	53	f_6	3	0	0	65	f_6	3	0	0	69
f_7	0	3	0	69	f_7	0	3	0	69	f_7	0	3	0	88
f_8	5	0	0	80	f_8	0	4	0	91	f_8	0	0	2	100
f_9	0	4	0	91	f_9	0	0	2	100	f_9	5	0	0	114
f_{10}	6	0	0	96	f_{10}	5	0	0	108	f_{10}	0	4	0	118
f_{11}	0	0	2	106	f_{11}	0	5	0	114	f_{11}	6	0	0	137
f_{12}	7	0	0	112	f_{12}	6	0	0	130	f_{12}	0	5	0	147
f_{13}	0	5	0	114	f_{13}	0	6	0	137	f_{13}	0	0	3	150
f_{14}	8	0	0	128	f_{14}	0	0	3	150	f_{14}	7	0	0	160
f_{15}	0	6	0	137	f_{15}	7	0	0	152	f_{15}	0	6	0	177
f_{16}	9	0	0	144	f_{16}	0	7	0	160	f_{16}	8	0	0	183
f_{17}	0	0	3	159	f_{17}	8	0	0	174	f_{17}	0	0	4	200
f_{18}	10	0	0	160	f_{18}	0	8	0	183	f_{18}	9	0	0	206
f_{19}	0	7	0	160	f_{19}	9	0	0	195	f_{19}	0	7	0	206
f_{20}	0	8	0	183	f_{20}	0	0	4	200	f_{20}	4	0	4	220

Fonte: Elaborado pela autora.

Para a Sala de Música, os modos equivalentes a 128, 159 e 160 Hz podem afetar mais significativamente as medições experimentais, pois agem muito próximos da frequência de medição 125 Hz e estão

dentro da faixa de medição abaixo da Frequência de Schroeder calculada para essa sala, 171 Hz. O mesmo ocorre na Sala de Artes Visuais com os modos equivalentes a 130, 137, 150, 152, 160, 174, 183, 195 e 200 Hz, considerando a Frequência de Schroeder calculada para essa sala igual a 193 Hz. Já na Sala de Teatro, uma grande quantidade de modos tende a ser relevante, considerando as bandas de oitava de 125 e 250 Hz abaixo da Frequência de Schroeder calculada para essa sala, 301 Hz, frequência mais alta do que as calculadas para as outras duas salas devido ao volume dessa sala que é o menor de todas as três.

5.3 CARTA DE BOLT

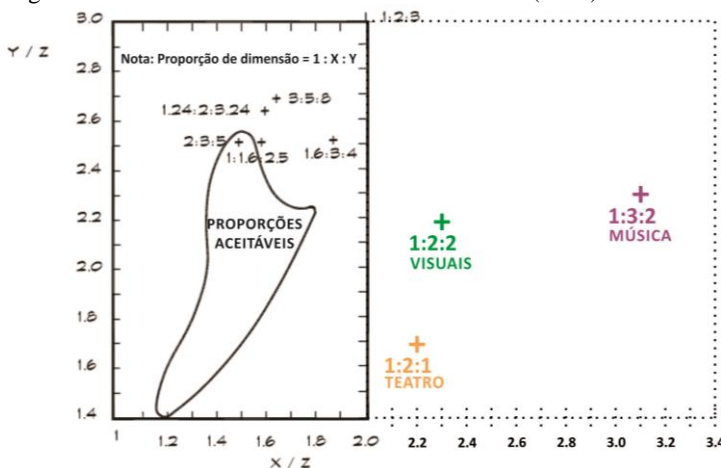
A carta elaborada por Bolt (1946) foi utilizada a fim de verificar se as dimensões de cada uma das salas (Tabela 6) contribuem ou não para uma resposta acústica mais suave das mesmas nas baixas frequências, ou seja, distribuição espacial mais homogênea dos níveis de pressão sonora. Conforme pode ser visto na Figura 31, nenhuma das salas avaliadas se encontra dentro dessas proporções.

Tabela 6 - Dimensões, em metros, dos eixos x, y, z das salas.

	z	x	y
Sala de Música	3,25	10,77	7,52
Sala de Artes Visuais	3,44	7,93	7,52
Sala de Teatro	3,44	5,84	7,52

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 31 - Salas avaliadas através da carta de Bolt (1946).



Fonte: Adaptado pela autora, de Long (2006).

6 ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Nesta etapa da pesquisa foram realizados ensaios experimentais nas salas escolhidas a fim de obter os parâmetros acústicos da sala de modo experimental para posterior ajuste e compatibilização do modelo simulado em computador.

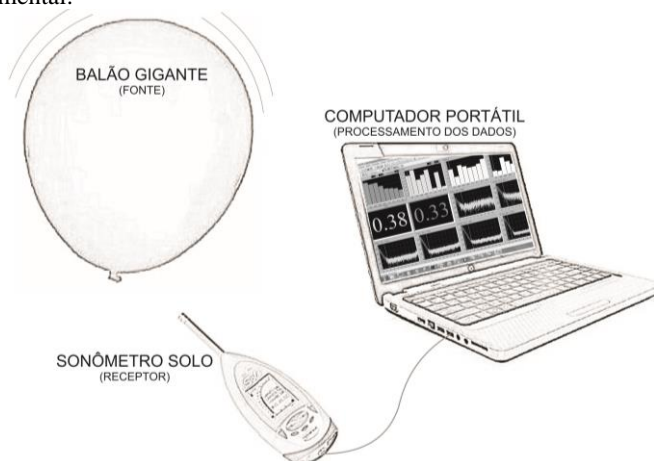
A resposta impulso das salas foi obtida através de medições acústicas realizadas de acordo com as determinações da norma ISO 3382-1:2009, que apresenta os métodos para obtenção dos parâmetros acústicos utilizados para determinar a qualidade acústica de salas. Os parâmetros resultantes dessa medição foram: Tempo de reverberação (T_{30}), Tempo de decaimento inicial (EDT), Clareza (C_{80}), Definição (D_{50}) e Índice de transmissão da fala (STI).

O sistema utilizado para a medição da resposta impulso foi o seguinte:

- Sonômetro SOLO da marca 01 dB;
- Computador portátil com o software dBati32, ligado ao sonômetro SOLO;
- Balões de latex tamanho gigante.

Os balões gigantes foram utilizados como fonte para a geração do impulso sonoro, enquanto que o Sonômetro SOLO ligado a um computador portátil foram responsáveis pela aquisição dos dados e pós-processamento dos mesmos, conforme mostra a Figura 32.

Figura 32 - Equipamentos utilizados para aquisição dos dados no ensaio experimental.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em cada uma das três salas foram utilizadas duas posições de fontes e para cada fonte foram fixados quatro pontos de receptor. Em cada ponto de receptor foram realizadas três medições a fim de garantir maior precisão da medição, dessa forma, valores incoerentes podem ser eliminados. As fontes foram posicionadas a uma altura de 1,50 m e o microfone, em cada um dos pontos receptores, a 1,20 m. As distâncias entre cada um dos pontos receptores e a fonte sonora correspondente são apresentadas na Tabela 7. A nomenclatura utilizada corresponde, na sequência, às medições nos oito pontos de receptores: P1, P2, P3, P4, para a Fonte 1 (F1); e PP1, PP2, PP3, PP4, para a Fonte 2 (F2). A distribuição dos pontos e das fontes é apresentada em planta baixa nas Figuras 33, 34 e 35, para as Salas de Música, Artes Visuais e Teatro, respectivamente. Na planta da Sala de Música, excepcionalmente, os pontos P1, P2, P3 e P4 correspondem aos 4 pontos de receptores para ambas as fontes.

Tabela 7 - Distâncias (x,y) entre ponto receptor e fonte sonora correspondente.

		FONTE 1				FONTE 2			
		P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4
DISTÂNCIA (m) DA FONTE (x; y)	Localização								
	Sala de Música	(2,57; 1,80)	(3,47; 1,92)	(1,57; 1,43)	(1,26; 1,39)	(2,05; 1,63)	(1,15; 2,09)	(6,19; 1,60)	(5,88; 1,39)
	Sala de Artes Visuais	(1,71; 1,46)	(3,79; 0,64)	(4,38; 2,11)	(1,15; 2,07)	(0,57; 3,55)	(2,64; 2,71)	(3,22; 0,05)	(1,15; 2,07)
	Sala de Teatro	(1,09; 2,22)	(0,48; 5,00)	(1,20; 4,60)	(2,91; 3,25)	(1,20; 4,60)	(0,10; 2,38)	(1,68; 0,39)	(1,71; 1,35)

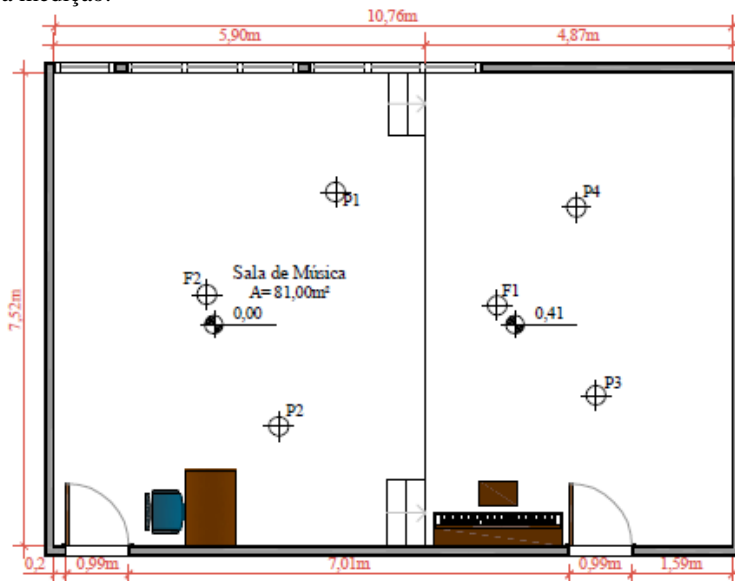
Fonte: Elaborado pela autora.

Cabe aqui observar que antes das medições preocupou-se em remover as cadeiras existentes em todas as salas, tendo em vista que esse mobiliário não é fixo nas salas e também provisório, bem como considerando a diminuição da complexidade do modelo computacional a ser confeccionado na etapa de simulação computacional, já que algumas salas contavam com dezenas de cadeiras empilhadas. Além disso, as persianas foram mantidas fechadas nas salas que eram dotadas delas.

Os resultados das medições foram tratados inicialmente no software dBbati32 a fim de corrigir os intervalos de decaimento para

ajuste do Tempo de Reverberação aproximando-o mais próximo possível da correlação⁵ igual a 1.

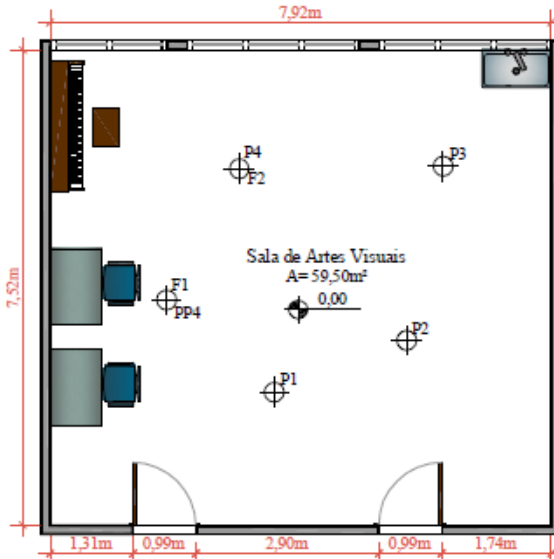
Figura 33 - Planta baixa da Sala de Música com distribuição espacial dos pontos para medição.



Fonte: Elaborado pela autora.

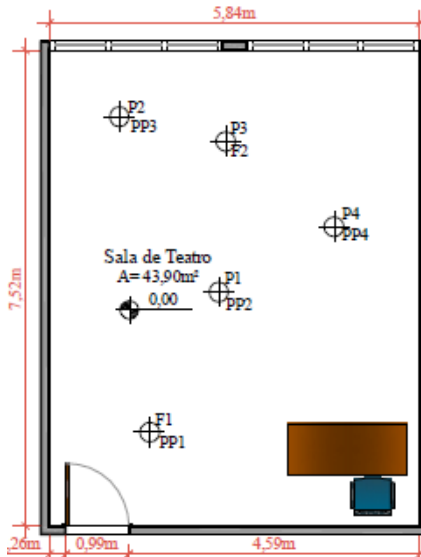
⁵ Segundo o menu "Ajuda" do *software dBbati*, no caso do cálculo do tempo de reverberação o coeficiente de correlação representa a capacidade da linha reta calculada de ajustar a curva de decaimento real. Normalmente, um coeficiente de 0,95 é considerado como satisfatório para estimativas de tempo de reverberação.

Figura 34 - Planta baixa da Sala de Artes Visuais com distribuição espacial dos pontos para medição.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 35 - Planta baixa da Sala de Teatro com distribuição espacial dos pontos para medição.



Fonte: Elaborado pela autora.

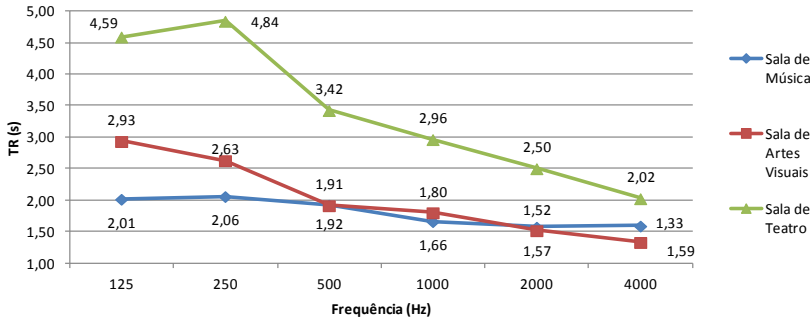
6.1 RESULTADOS

Os dados exportados do software dBbati32 foram analisados e os valores de medição que se encontravam discrepantes com os medidos em um mesmo ponto foram eliminados, considerando a ocorrência de alguma interferência no momento da medição que justificava tal eliminação. Os resultados para cada parâmetro médio obtido em cada um dos pontos de receptor, por faixa de frequência, em bandas de oitava, de 125 Hz até 4000 Hz, conforme recomenda a norma ISO 3382-1:2009, encontram-se no APÊNDICE A. Para fins de análise comparativa dos parâmetros medidos entre as salas, utilizou-se a média desses parâmetros de cada sala por banda de frequência, dados esses apresentados na sequência.

O tempo de reverberação é o principal parâmetro acústico para o estudo de ambientes internos. Analisando os resultados medidos, na Figura 36, a diferença dos TRs medidos na Sala de Teatro é visivelmente grande quando se observam os TRs medidos nas Salas de Música e de Artes Visuais. Esse contraste se deve à quantidade de elementos absorvedores nas salas, tendo em vista que a Sala de Teatro possui quase nenhum mobiliário quando comparada as outras duas salas, bem como não possui persianas. Enquanto que as respostas das Salas de Música e de Artes Visuais se apresentam bastante similares nas frequências de 500 Hz à 2000 Hz, diferindo-se nas baixas frequências, 125 Hz e 250 Hz, demonstrando que a Sala de Música possui maior absorção do som nas baixas frequências.

Em seus estudos em salas de concerto, Beranek (1996) sugere o TR ideal para a música variando de 1,4 a 2,0 s para a faixa de frequência de 500 a 1000 Hz. Já a síntese organizada por Rocha (2010) apresenta TRs considerados adequados para salas pequenas voltadas para a prática musical, com TRs médios variando de 0,3 a 1,2 s, o que demonstra uma relação direta com o volume, onde salas maiores, como as de concerto, requerem um TR mais longo com relação a salas menores, que requerem um TR um pouco mais curto. Vergara, Marros e Paul (2017) identificaram como preferida pelos músicos, para prática em conjunto, salas com TR medindo 1,4 s na média entre 500 e 1000 Hz. Neste sentido, os TRs de todas as três salas estão mais longos do que o recomendado pela bibliografia, já que, nestas médias, o TR medido na Sala de Música e na Sala de Artes Visuais ficou entre 1,79 e 1,85 s, e o da Sala de Teatro chegando a 3,19 s.

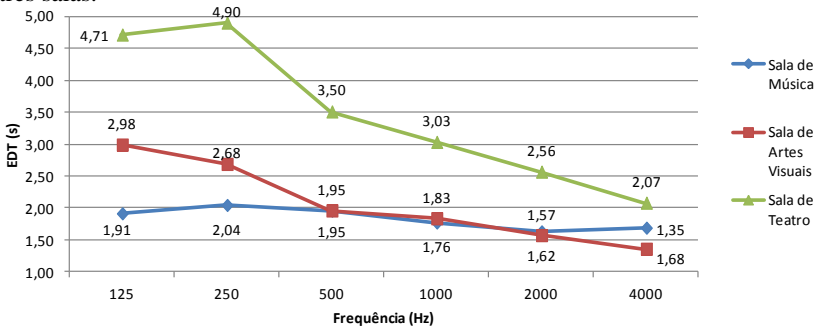
Figura 36 - Tempo de Reverberação (TR), por banda de frequência, das três salas.



Fonte: Elaborado pela autora.

O tempo de decaimento inicial (EDT) pode ser considerado subjetivamente mais importante do que o TR, considerando que é o EDT o parâmetro que descreve a percepção do tempo de reverberação pelo ouvido humano. Na Figura 37 é possível verificar que o EDT medido nas salas estudadas segue a mesma tendência que o TR e que se apresenta ligeiramente além do TR, aumentando em no máximo 0,12 s a percepção do TR. Ainda assim, o EDT médio entre 500 Hz e 100 Hz ultrapassa o limite considerado adequado pelos estudos de Vergara, Marros e Paul (2017), que apresentam uma sala com EDT de 1,4 s como adequada para a prática em conjunto e de 1,6 s como inadequada.

Figura 37 - Tempo de Decaimento Inicial (EDT), por banda de frequência, das três salas.



Fonte: Elaborado pela autora.

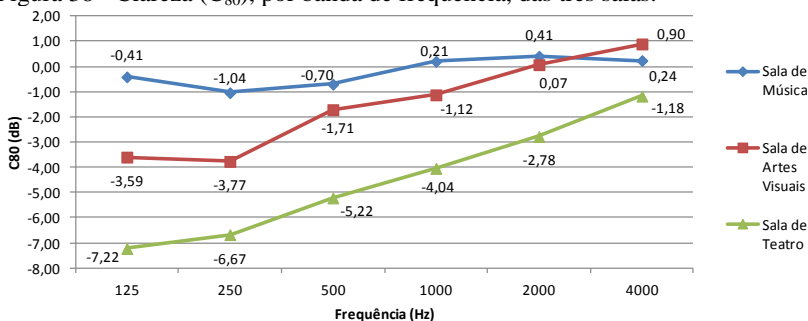
A Clareza (C_{80}) é o parâmetro acústico que demonstra o quão limpo e preciso um som se apresenta na sala. Quando C_{80} não está adequada, o som se torna confuso. Analisando resultados de C_{80}

medidos nas três salas, na Figura 38, fica clara a relação inversamente proporcional que C_{80} tem com o TR, ou seja, quanto maior o tempo em que o som se apresenta audível, menor é a clareza como ele é percebido, mais confuso ele soa. Isso não quer dizer que quanto maior o grau de Clareza, mais definido se apresenta o som.

Seguindo a mesma relação de proporcionalidade inversa, nos estudos de Beranek (1996) é possível perceber que um mesmo músico prefere, para salas de concerto, C_{80} entre -1 e -4 dB, e já para salas de ensaios C_{80} entre 1 e 5 dB. Vergara, Marros e Paul (2017) corroboram essa preferência, já que a sala preferida pelos músicos para prática em conjunto, apresenta C_{80} medindo 1 dB, e a sala identificada como adequada para o estudo, que deve ser mais seca (baixo tempo de reverberação) com C_{80} medindo 14 dB.

Neste sentido, as salas aqui estudadas não se encontram adequadas para a prática em conjunto, onde o C_{80} médio entre 500 e 1000 Hz encontra-se entre -1,71 e 0,21 dB nas Salas de Música e de Artes Visuais, e mais baixa ainda na Sala de Teatro, entre -5,22 e -4,04 dB. Para adequar o grau de Clareza das salas para a prática musical de conjunto seria necessário aumentar a absorção do som nas salas, principalmente na Sala de Teatro, para diminuir o Tempo de Reverberação, aumentando o grau de Clareza.

Figura 38 - Clareza (C_{80}), por banda de frequência, das três salas.



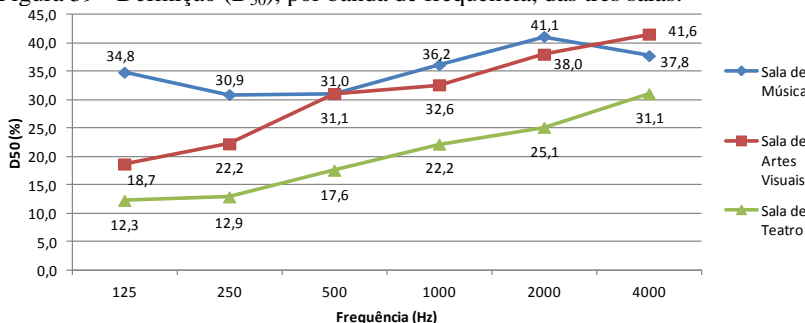
Fonte: Elaborado pela autora.

A Definição (D_{50}) é um parâmetro acústico comumente mais utilizado para analisar salas voltadas para a palavra falada, enquanto que, apesar de muito similar, C_{80} é habitualmente utilizada para analisar salas voltadas para a música. Nas salas aqui analisadas, de acordo com Figura 39, fica clara essa similaridade entre C_{80} e D_{50} . Apesar daquele ser quantificado em decibéis (dB) e esse em porcentagem (%), o

resultado da medição de ambos os dois parâmetros seguem a mesma linha de tendência.

Considerando os valores de referência apresentados por Custódio (2004), onde salas para música devem proporcionar Definição entre 50 e 65% para as frequências médias de 500 e 1000 Hz, a Figura 39 mostra que nenhuma das três salas estaria próxima desse ideal. As Salas de Música e Artes Visuais continuam demonstrando maior proximidade de uma sala adequada do que a Sala de Teatro, precisando assim de menos tratamento acústico do que essa última para se adequar a prática musical.

Figura 39 - Definição (D_{50}), por banda de frequência, das três salas.



Fonte: Elaborado pela autora.

O índice de transmissão da fala (STI) é outro parâmetro utilizado para avaliar salas utilizadas para a palavra falada. Esse trata especificamente da inteligibilidade da fala. Considerando que STI trata de uma escala simples de 1 a 0 onde 1 é uma de inteligibilidade excelente e 0 a fala é totalmente inteligível, observando a Tabela 8, é possível notar que todas as três salas possuem um STI abaixo da média nesta escala. Utilizando a referência da norma IEC 60268-16 (2003), a Sala de Música possui inteligibilidade adequada para a fala, enquanto que as Salas de Artes Visuais e Teatro possuem inteligibilidade fraca, a primeira beirando a adequada e a última beirando a fraca.

Naturalmente, considerando que são desejáveis salas vivas onde o uso é prioritariamente a prática musical, dificilmente a mesma sala possuirá um índice de transmissão da fala excelente. Entretanto, considerando que as salas também são utilizadas para o ensino teórico de música e, portanto, palavra falada, o ideal é alcançar STI igual ou maior que 0,45, mesmo para salas vivas, possuindo inteligibilidade da fala, no mínimo, adequada.

Tabela 8 - Índice de transmissão da fala (STI) medido nas três salas.

Sala de Música	Sala de Artes Visuais	Sala de Teatro
0,50	0,44	0,33

Fonte: Elaborado pela autora.

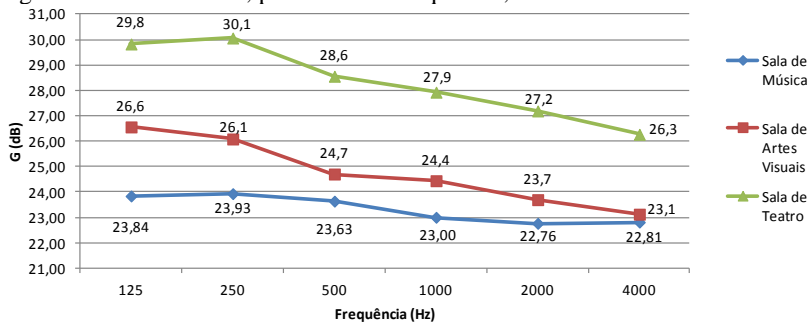
A partir dos dados obtidos experimentalmente foi possível obter analiticamente o Parâmetro G, o Calor, o Brilho e a Vivacidade de cada uma das salas, utilizando os métodos analíticos antes apresentados em 2.5.

O Parâmetro G, também chamado de Fator de força do som, é o parâmetro que representa a impressão subjetiva da força, volume ou intensidade do som. Considerando que nas salas o som se propaga em campo difuso, o parâmetro G foi aqui determinado em função do tempo de reverberação e do volume de cada uma das salas, de acordo com a expressão apresentada no item 2.5.8.

Beranek (1996) apresenta valores de G variando entre 4 e 5,5 dB, nas frequências médias de 500 e 1000 Hz para salas de concerto com uma boa qualidade acústica. Por outro lado, Vergara, Marros e Paul (2017) em seus estudos em salas de menor volume, comparadas a salas de concerto, apresentam uma sala seca para estudos individuais adequada com um G de 22 dB e inadequada com G de 21 e 17 dB. Já para sala reverberante de prática em conjunto adequada com G de 21 dB e inadequada medindo 25 e 28 dB.

Considerando um G adequado para pequenas salas de prática musical de acordo a bibliografia, as Salas de Música e Artes Visuais seguem a mesma tendência de se aproximarem mais de um resultado ideal do que a Sala de Teatro, como mostra a Figura 40.

Figura 40 - Parâmetro G, por banda de frequência, das três salas.



Fonte: Elaborado pela autora.

Vivacidade, Calor e Brilho são três parâmetros determinados por Beranek (1996) que tratam da percepção subjetiva que o músico tem do tempo de reverberação das médias (500 e 1000 Hz), baixas (125 e 250 Hz) e altas (2000 e 4000 Hz) frequências, relacionando-as com o TR das médias frequências como referência para percepção das outras faixas.

De acordo com a referência de Beranek (2004) para a Vivacidade, observando a Tabela 9, todas as três salas aqui analisadas podem ser consideradas vivas, tendo em vista que TR deve ser maior do que 1,6 s, do contrário, seriam consideradas secas. Isso reitera as análises já realizada nos parâmetros anteriores sobre os elevados tempos de reverberação dessas salas. As salas serem consideradas vivas não quer dizer que as mesmas encontram-se adequadas para a música, já que Beranek não propõe um limite até o qual a Vivacidade deva ser considerada adequada. Mannis (2008) atenta para esse fato quando trata da Vivacidade, afirmando que o excesso de reverberação não implica necessariamente em excesso da qualidade, pelo contrário, a partir de um certo ponto, essa vivacidade da sala pode interferir na inteligibilidade dos sons e se tornar um aspecto indesejável em uma sala. Deve-se atentar ainda para o fato de que Beranek (2004) utiliza essa referência para salas de concerto, que possuem volumes muito elevados quando comparados a pequenas salas de prática musical.

Quanto ao Calor, Beranek (1996) sugere, para salas com TR maiores que 1,8 s, valores entre 1,1 e 1,25, e para salas com TR abaixo de 1,8 s, valores entre 1,1 e 1,45. Dessa forma, observando a tabela, a Sala de Música pode ser considerada adequada, com Calor 1,14, enquanto que as Salas de Artes Visuais e de Teatro ultrapassam os limites considerados adequados pela literatura. Isso implica que a resposta do tempo de reverberação nas baixas frequências, ou seja, nos sons graves, está irregular para o TR medido nas médias frequências, e assim o resultado sonoro é de baixa qualidade (MANNIS, 2008).

Para o Brilho, parâmetro que demonstra o quão claro, vibrante e rico em harmônico é o som (som brilhante), Beranek (2004) sugere que o mesmo não deve estar abaixo de 0,7. Considerando essa referência e observando a tabela, todas as três salas preservam o brilho desejável para salas de música.

Tabela 9 - Vivacidade, Calor e Brilho calculado para as três salas.

	Vivacidade	Calor	Brilho
Sala de Música	1,79	1,14	0,88
Sala de Artes Visuais	1,86	1,50	0,77
Sala de Teatro	3,19	1,48	0,71

Fonte: Elaborado pela autora.

7 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A simulação computacional foi realizada com software *Odeon* através dos mesmos processos antes descritos no estudo piloto, a fim de resultar no modelo geométrico mais próximo possível do real comparando os parâmetros medidos experimentalmente com os obtidos na simulação (T_{30} , EDT, C_{80} , D_{50} , G, STI).

As etapas da simulação foram realizadas em quatro fases principais: confecção do modelo geométrico, definição e aplicação de materiais, ajuste do modelo e simulação acústica, conforme antes descrito no item 3.1.3 e representadas pelo diagrama esquemático na Figura 16 daquele mesmo capítulo.

Na confecção do modelo, inicialmente decidiu-se trabalhar com a geometria da sala sem a inserção dos mobiliários e objetos existentes nas salas, levando-se em conta que a complexidade do modelo geométrico gera arquivos mais pesados e com isso uma simulação lenta. O modelo da Sala de Teatro, por se tratar de uma sala com poucos elementos e mobiliários que influenciam na absorção sonora do espaço, conforme apresentado em 4.3, chegou muito próximo do modelo real logo na primeira simulação, o que não ocorreu com os modelos das Salas de Música e de Artes Visuais, visto que estas duas são compostas de diversos elementos que se acredita terem relevância na absorção sonora desses ambientes, conforme apresentado em 4.1 e 4.2.

Diante da não compatibilidade dos modelos computacionais das Salas de Música e de Artes Visuais com o modelo real, optou-se por inserir no modelo geométrico os elementos existentes nas salas que, conhecendo seus coeficientes de absorção proposto pelas bibliografias consultadas, apresentavam área e coeficientes de absorção sonora relevantes, aqui considerados maiores do que 0,10. Esses elementos foram as mesas de madeira, os pianos, as estantes de livros, bem como a inserção no modelo também de duas pessoas, conforme a presença dessas nas salas no momento da medição – uma estourando o balão e outra controlando o computador. Para inserir simplificada duas pessoas no modelo geométrico utilizou-se a referência de Silva (2016), que afirma que a área da superfície do corpo humano considerado normal é de aproximadamente 1,6 m² para mulheres e 1,9 m² para homens.

Nesta segunda simulação para ambas as salas, agora com a existência desses elementos aqui considerados relevantes para a absorção sonora dos ambientes, os modelos computacionais conseguiram chegar tão próximo dos modelos reais quanto antes já

havia chego o modelo computacional da Sala de Teatro. Apesar dessa proximidade, os modelos ainda não estavam dentro do JND proposto pela norma ISO 3382-1:2009, sugerindo que a simulação computacional ainda não estava atingindo uma precisão desejável para o trabalho. Dessa forma, a estratégia adotada para um novo ajuste de ambos os três modelos das salas foi variar alguns coeficientes de absorção 5% para mais ou para menos, levando em conta a variabilidade de absorção sonora de um elemento existente nestas salas com um mesmo elemento apresentado pelas bibliografias, como, por exemplo, um piano de coeficiente de absorção x em uma bibliografia possuir absorção não exatamente igual ao piano existente na sala estudada. Além disso, existe ainda uma extensa diversidade de dados de coeficientes de absorção sonora para mesmos elementos em diferentes bibliografias consultadas, conforme observado por Bork (2000), o que vem a justificar essa possibilidade de simulação dos modelos utilizando pequenas variações nos coeficientes.

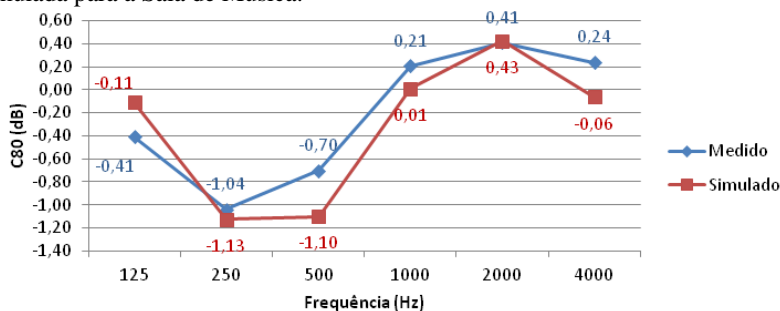
Após realizar os devidos ajustes descritos em cada um dos modelos foi possível encontrar resultados satisfatórios dentro da simulação computacional, atingindo parâmetros dentro do JND proposto pela ISO 3382-1:2009, conforme mostra a Tabela 10, apresentando os valores medidos e simulados, bem como a diferença entre eles que deve estar dentro do limite de JND. As Figuras de 41 a 46 apresentam uma comparação dos resultados obtidos nas simulações com os resultados obtidos nos ensaios experimentais para os parâmetros considerados mais relevantes para a sensação do músico, EDT – sensação da reverberação – e C_{80} – clareza com que se percebe a música –, utilizando os valores médios obtidos por banda de frequência, confirmando a proximidade do modelo computacional simulado com o modelo real. A comparação entre os demais parâmetros obtidos na simulação computacional com os valores obtidos nos ensaios experimentais são apresentados no APÊNDICE B, assim como os dados utilizados na simulação para obter esses modelos estão especificados no APÊNDICE C.

Tabela 10 - Diferença entre valores medidos e simulados, na faixa de 500 e 1000 Hz, comparados com o JND para as três salas.

		Sala de Música	Sala de A. Visuais	Sala de Teatro
TR	MEDIDO	1,79 s	1,86 s	3,19 s
	SIMULADO	1,83 s	1,93 s	3,26 s
	DIFERENÇA	2%	4%	2%
	JND	5%		
EDT	MEDIDO	1,86 s	1,89 s	3,27 s
	SIMULADO	1,89 s	1,95 s	3,32 s
	DIFERENÇA	2%	3%	2%
	JND	5%		
C80	MEDIDO	-0,25 dB	-1,42 dB	-4,63 dB
	SIMULADO	-0,54 dB	-0,86 dB	-3,79 dB
	DIFERENÇA	0,30 dB	0,56 dB	0,84 dB
	JND	1 dB		
D50	MEDIDO	33,6 %	31,9 %	19,9 %
	SIMULADO	34,6 %	32,3 %	20,5 %
	DIFERENÇA	3%	1%	3%
	JND	5 %		

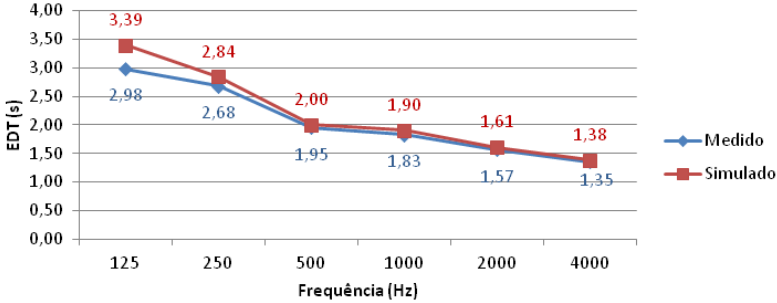
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 41 - Comparativo da Clareza (C_{80}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Música.



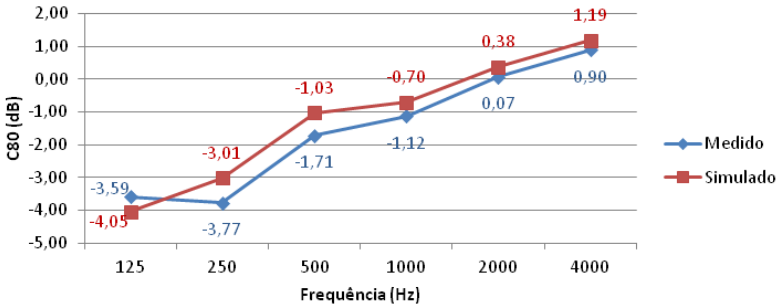
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 42 - Comparativo do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Artes Visuais.



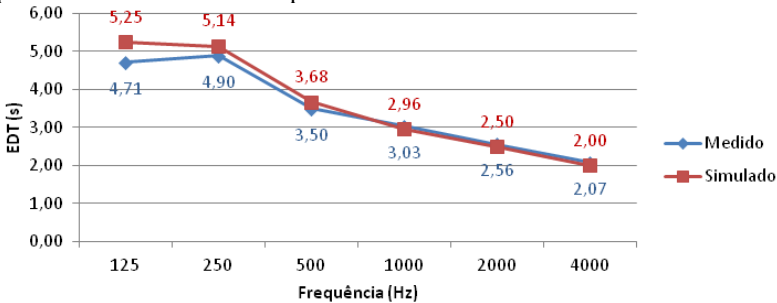
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 43 - Comparativo da Clareza (C_{80}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Artes Visuais.



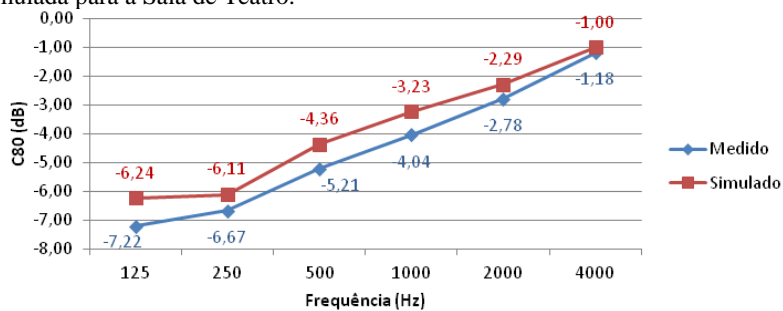
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 44 - Comparativo do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Teatro.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 45 - Comparativo da Clareza (C_{80}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Teatro.



Fonte: Elaborado pela autora.

8 ALTERNATIVAS DE ADAPTAÇÃO AO USO

Após resultar em um modelo computacional fiel ao modelo real para cada uma das três salas, e considerando que todas as três não se encontram adequadas para a prática musical, extrapolando a maioria dos valores desejados para os parâmetros indicados pela bibliografia, novas simulações foram realizadas para sugerir alternativas de adaptação das salas ao uso.

Antes de iniciar as simulações, os valores dos parâmetros simulados foram compilados em um único quadro que apresentasse esses valores simulados frente aos valores desejados para a prática musical indicados pela literatura, conforme pode ser visto no Quadro 5.

Quadro 5 - Valores simulados e valores desejados para os parâmetros de acústica de salas voltadas para a prática musical.

		Sala de Música	Sala de A. Visuais	Sala de Teatro	Observação
TR (s)	S	1,83	1,93	3,26	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4			
EDT (s)	S	1,89	1,95	3,32	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4			
C80 (dB)	S	-0,54	-0,86	-3,79	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 1 e 5			
D50 (%)	S	33,50	31,50	19,50	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 50 e 65			
STI	S	0,50	0,44	0,33	
	D	> 0,45			
G (dB)	C	24,49	24,55	28,25	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 21 e 25			
Vivacidade	C	1,83	1,86	3,19	
	D	> 1,6			
Calor	C	1,05	1,5	1,48	Considerando que o TR ideal seja aproximadamente 1,4
	D	Entre 1,1 e 1,45			
Brilho	C	0,88	0,77	0,71	
	D	> 0,7			

Legenda: S: Simulado; D: Desejado; C: Calculado.

Fonte: Elaborado pela autora.

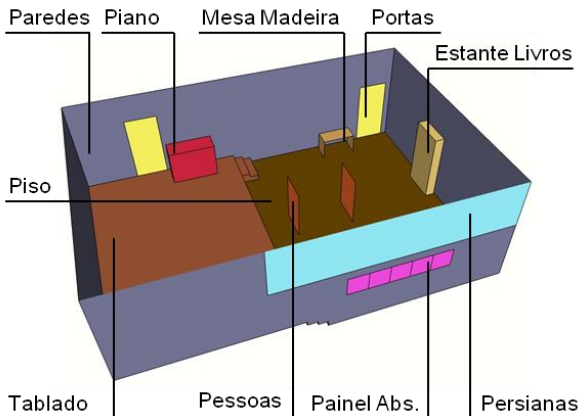
As alternativas pensadas e simuladas para cada uma das salas são apresentadas resumidamente a seguir, bem como um detalhamento com especificações dos dispositivos inseridos, seus coeficientes de absorção sonora e localização em cada uma das salas.

8.1 SALA DE MÚSICA

A Sala de Música foi aquela que mais se aproximou de uma sala adequada para a prática musical, com valores muito próximos dos desejáveis. Supõe-se que isso se deve ao fato do uso considerado para esta sala em sua última reforma, quando assumida pela Coordenadoria Artística da instituição, tenha sido exatamente a prática musical, cobrindo o piso, antes cerâmico, com tacos de madeira em algumas áreas e laminado de madeira em outras. Além do piso de madeira, a existência de elementos absorvedores também colabora para tais resultados.

Apesar dos valores estarem próximos daqueles desejados, algumas simulações foram realizadas a fim de adequar esses valores dentro dos limites desejados. Não foram necessárias muitas alterações, sendo que o modelo simulado que mais se adequou ao desejado foi a sala com a inserção de alguns dispositivos absorvedores nas paredes paralelas a circulação externa das salas, conforme descritas na Figura 46 e nos Quadros 6 e 7.

Figura 46 - Volumetria do modelo adotado para a Sala de Música indicando os diferentes elementos considerados.



Obs.: O teto – superfície única – foi removido apenas para obtenção das imagens internas.
 Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 6 - Especificações de materiais, áreas e coeficientes de absorção simulados para a Sala de Música.

Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora								
Material	Área (m ²)	Coeficiente de absorção						Referência
		125	250	500	1000	2000	4000	
Piso - Tacos de madeira	42,84	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	Bistafa, 2006
Tablado - Assoalho em tábua	41,27	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10	Bistafa, 2006
Teto rebocado liso	81,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Parede alvenaria rebocada	101,93	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Portas de madeira fechadas	4,25	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	Bistafa, 2006
Persiana	10,35	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	Bistafa, 2006
Pessoa de pé ¹	3,20	0,11	0,20	0,27	0,26	0,28	0,23	Bistafa, 2006
Mesa Madeira	1,36	0,10	0,10	0,05	0,05	0,04	0,04	Carvalho, 2010
Piano	5,56	0,20	0,52	0,60	0,57	0,52	0,43	Carvalho, 2010
Estante Livro	6,50	0,11	0,33	0,90	0,60	0,79	0,68	Carvalho, 2010
Painel Absorvedor Decorosound	1,80	0,04	0,40	0,86	0,97	0,93	0,98	Fabricante

¹ Calculado em função da área do corpo humano, adaptado da Absorção publicada em Bistafa (2006)

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 7 - Especificações dos dispositivos inseridos.

Item	Especificação	Localização
Painel Absorvedor	DECORSOUND - Painel decorativo acústico para paredes. Fabricante: Isover	5 placas na parede oposta ao acesso da sala, a uma altura da base de 0,90 m.

Fonte: Elaborado pela autora.

8.2 SALA DE ARTES VISUAIS

A Sala de Artes Visuais, assim como a Sala de Música, também apresentou valores relativamente próximos daqueles considerados adequados para a prática musical. Neste caso, supõe-se que isso se deve ao fato da existência de diversos elementos absorvedores.

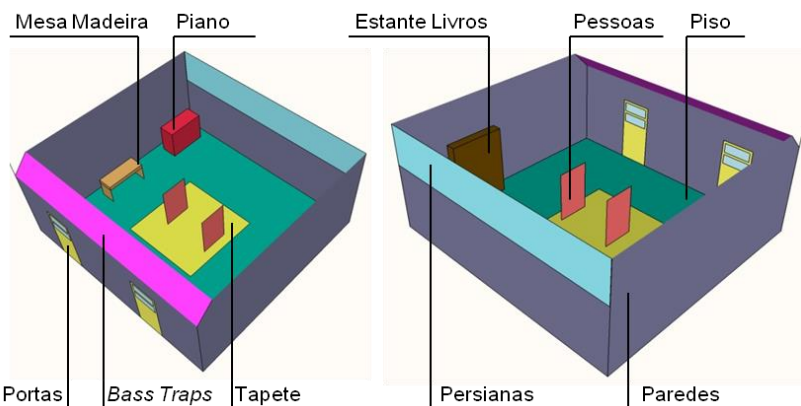
Ainda que exista alguma proximidade dos valores dos parâmetros encontrados nesta sala com aqueles considerados adequados para a prática musical, seriam necessárias algumas adaptações para que esses valores se adequassem dentro dos limites desejados.

Uma limitação para a inserção de dispositivos para corrigir esses parâmetros nesta sala foi a pouca área disponível nas paredes para fixação de algum dispositivo, considerando os dois quadros que ocupam grande parte de duas paredes, a utilização das paredes na projeção de vídeos, e ainda a existência estantes para o armazenamento de materiais, mesas, entre outros elementos.

Diante dessa limitação inicial, uma primeira alternativa foi inserção de um tapete aumentando consideravelmente a absorção do piso. O resultado foi satisfatório para que o TR e outros parâmetros se aproximassem ainda mais dos limites desejados, mas o cálculo do parâmetro Calor, com base nos valores simulados de TR, ainda se encontrava distante do desejado, o que significava que a sensação dos TRs das baixas frequências encontrava-se irregular para a sensação dos TRs das médias frequências. Os TRs nas baixas frequências estavam ainda muito altos quando comparados aos TRs das médias frequências ainda se encontrava distante do desejado.

A alternativa adotada para corrigir essa irregularidade foi utilizar dispositivos chamados de *bass traps*. Esses dispositivos servem para controlar os sons graves dentro de salas, sendo capaz de absorver consideravelmente o som nas baixas frequências. Uma boa sugestão de localização desses dispositivos é entre parede e teto, o que foi de encontro à limitação de área de parede existente nesta sala. Após alguns ajustes, o modelo simulado com as alternativas adotadas resultou em valores de parâmetros acústicos dentro dos limites desejáveis para a prática musical, conforme descritas na Figura 47 e nos Quadros 8 e 9.

Figura 47 - Volumetria do modelo adotado para a Sala de Artes Visuais indicando os diferentes elementos considerados.



Obs.: O teto – superfície única – foi removido apenas para obtenção das imagens internas.

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 8 - Especificações de materiais, áreas e coeficientes de absorção simulados para a Sala de Artes Visuais.

Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora								
Material	Área (m ²)	Coeficiente de absorção						Referência
		125	250	500	1000	2000	4000	
Piso cerâmico	50,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	Carvalho, 2010
Teto rebocado liso	54,77	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Parede alvenaria rebocada	86,64	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Portas de madeira fechadas	4,26	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	Bistafa, 2006
Persiana	10,20	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	Bistafa, 2006
Pessoa de pé ¹	3,20	0,11	0,20	0,27	0,26	0,28	0,23	Bistafa, 2006
Mesa Madeira	2,97	0,10	0,10	0,05	0,05	0,04	0,04	Carvalho, 2010
Piano	5,56	0,20	0,52	0,60	0,57	0,52	0,43	Carvalho, 2010
Estante Livro	9,48	0,11	0,33	0,90	0,60	0,79	0,68	Carvalho, 2010
Tapete 5 mm de Espessura	9,00	0,04	0,04	0,15	0,29	0,52	0,59	ABNT, 1992
Bass Traps Megafusor Bass	6,72	0,50	1,00	0,85	0,70	0,65	0,76	Fabricante

¹ Calculado em função da área do corpo humano, adaptado da Absorção publicada em Bistafa (2006)

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 9 - Especificações dos dispositivos especiais inseridos.

Item	Especificação	Localização
Bass Traps SuperBassExtreme	Bass Trap VICOUSTIC SUPER BASS EXTREME - Fabricante: Vicoustic	Entre teto e parede, na parede de acesso da sala, por toda extensão.

Fonte: Elaborado pela autora.

8.3 SALA DE TEATRO

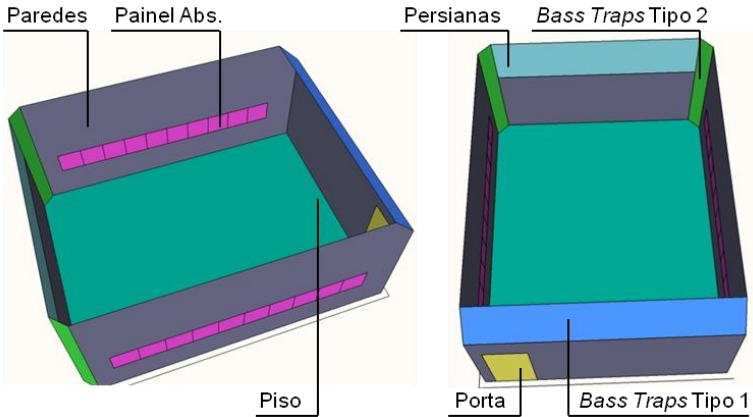
Das três salas estudadas, a Sala de Teatro é aquela que se encontra mais crítica quando o uso para a mesma é a prática musical. A insuficiência de elementos absorvedores resultou em um tempo de reverberação muito alto e inadequado para o uso. Dessa forma, a primeira adequação pensada para esta sala foi a inserção de painéis absorvedores nas duas paredes perpendiculares ao acesso da sala, além de persianas iguais as das outras salas, a fim de reduzir o TR e aproximar o parâmetro de valores desejáveis.

Com a inserção desses elementos o TR simulado pode se aproximar significativamente dos valores desejados, apesar disso, o valor calculado do parâmetro Calor, assim como na Sala de Artes Visuais, ainda se encontrava muito distante do desejável. A alternativa adotada nesta sala para atingir os níveis desejados desse parâmetro foi a mesma utilizada naquela a fim de corrigir a absorção nas baixas frequências: *bass traps*. Isto porque, na Sala de Teatro, os TRs nas

baixas frequências também se encontravam muito longos com relação aos TRs nas médias frequências.

Após alguns ajustes de posição dos *bass traps*, alterações nas quantidades de dispositivos bem como nas suas especificações – alguns absorvem muito mais nas baixas frequências e quase nada nas médias e altas; outros absorvem bastante nas baixas frequências, porém também existe alguma absorção considerável nas médias e altas – foi possível encontrar um modelo que se adequasse aos parâmetros desejáveis indicados pela literatura, conforme mostram as especificações descritas na Figura 48 e nos Quadros 10 e 11.

Figura 48 - Volumetria do modelo adotado para a Sala de Teatro indicando os diferentes elementos considerados.



Obs.: O teto – superfície única – foi removido apenas para obtenção das imagens internas.
 Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 10 - Especificações de materiais, áreas e coeficientes de absorção simulados para a Sala de Teatro.

Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora								
Material	Área (m²)	Coeficiente de absorção						Referência
		125	250	500	1000	2000	4000	
Piso cerâmico	43,81	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	Carvalho, 2010
Teto rebocado liso	40,31	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Parede alvenaria rebocada	67,80	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Portas de madeira fechadas	2,12	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	Bistafa, 2006
Persiana	6,75	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	Bistafa, 2006
Painel Absorvedor Decoround	7,20	0,04	0,40	0,86	0,97	0,93	0,98	Fabricante
Bass Traps Megafusor Bass	2,92	0,50	1,00	0,85	0,70	0,65	0,76	Fabricante
Bass Traps SuperBassExtreme	4,95	0,61	0,39	0,28	0,43	0,43	0,32	Fabricante

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 11 - Especificações dos dispositivos especiais inseridos.

Item	Especificação	Localização
Painel Absorvedor	DECORSOUND - Painel decorativo acústico para paredes. Fabricante: Isover	10 placas em cada uma das paredes perpendiculares ao acesso da sala, a uma altura da base de 0,90 m.
Bass Traps Megafusor	Bass Trap VICOUSTIC MEGAFUSOR - Fabricante: Vicoustic	De piso a teto nos dois cantos entre paredes no fundo oposto ao acesso da sala.
Bass Traps SuperBassExtreme	Bass Trap VICOUSTIC SUPER BASS EXTREME - Fabricante: Vicoustic	Entre teto e parede, na parede de acesso da sala, por toda extensão.

Fonte: Elaborado pela autora.

8.4 CONSIDERAÇÕES

Apesar das simulações desses modelos considerarem apenas duas pessoas dentro das salas, outras simulações foram realizadas com diferentes combinações de ocupação das salas, bem como a inserção de cadeiras de plástico conforme as utilizadas, e os parâmetros continuaram dentro dos limites considerados adequados para a prática, tendo em vista a variação do TR dentro dos limites de 0,4 e 1,4 s. Essas diferentes combinações bem como os coeficientes de absorção e resultados obtidos estão detalhados no APÊNDICE D.

Para todas as três salas, apenas o parâmetro Vivacidade não ficou dentro do recomendado pela bibliografia consultada, entretanto cabe ressaltar que a referência encontrada tratava de Vivacidade adequada para salas de concerto, com volumes muito superiores – acima de 1000 m³ – aos de pequenas salas de prática – inferior a 300 m³. Dessa forma, considerou-se que as salas estando dentro dos limites desejados para o TR indicado para pequenas salas de prática musical, consequentemente a Vivacidade também estaria adequada para essa tipologia.

Os resultados obtidos para cada um dos modelos das três salas foram compilados no Quadro 12, apresentando esses valores simulados comparados com os valores indicados como adequados para a prática musical.

Quadro 12 - Resultados obtidos nos modelos após adaptações comparados aos resultados desejados.

		Sala de Música	Sala de A. Visuais	Sala de Teatro	Observação
TR (s)	S	1,34	1,25	1,40	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4			
EDT (s)	S	1,40	1,25	1,37	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4			
C80 (dB)	S	1,61	1,98	1,28	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 1 e 5			
D50 (%)	S	56,25	56,13	52,06	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 50 e 65			
STI	S	0,54	0,56	0,53	
	D	> 0,45			
G (dB)	C	23,15	22,84	24,65	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 21 e 25			
Vivacidade	C	1,34	1,25	1,40	
	D	> 1,6			
Calor	C	1,17	1,36	1,40	Considerando que o TR ideal seja aproximadamente 1,4
	D	Entre 1,1 e 1,45			
Brilho	C	0,94	0,81	0,84	
	D	> 0,7			

Fonte: Elaborado pela autora.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do ambiente acústico de cada uma das três salas utilizadas pela Coordenação Artística do IFSC para as práticas musicais confirmou o pressuposto considerado no início das pesquisas desse trabalho de que essas salas não se encontravam adequadas à prática musical, principalmente pelo fato dessas não terem sido projetadas para o uso ao qual se destinam nos dias de hoje. As adaptações – mudança no material do piso e inserção de um tablado de madeira – realizadas na Sala de Música quando o uso dessa foi destinado a prática musical não foram suficientes, provavelmente por não haver um projeto acústico específico para tais adaptações.

A leitura de bibliografias relacionadas foi essencial para entender quais as reais necessidades de um local adequado para essas práticas, bem como os métodos e instrumentos acessíveis para caracterizar o ambiente acústico de cada uma das salas e propor alternativas de adaptação ao uso. Além disso, percebeu-se que a literatura disponível ainda carece de estudos e considerações da qualidade acústica de pequenas salas de prática musical, como é o caso de salas de aula comum na rede de ensino básico no Brasil, sendo os estudos e referências da temática frequentemente direcionados a grandes salas de concerto musical.

O estudo piloto permitiu conhecer os materiais e métodos disponíveis para a caracterização acústica dessas salas, tanto para os ensaios experimentais – método utilizado por Oliveira (2014) –, quanto para a simulação computacional – método testado utilizando os dados obtidos experimentalmente por Oliveira (2014). As limitações encontradas ainda nessa etapa – dificuldade em calibrar o modelo computacional frente ao real em se tratando dos parâmetros EDT, C_{80} , D_{50} – foram importantes para a investigação dos fatos que estariam resultando em modelos computacionais não compatíveis com o modelo real de estudo e posterior tomada de decisões importantes para a etapa de ensaios experimentais nas salas. Essas decisões foram: conhecer as frequências naturais das salas (modos acústicos), bem como a Frequência de Schroeder, considerando a limitação do *software Odeon* nas baixas frequências, a fim de justificar possíveis discrepâncias na comparação dos dados medidos com os dados simulados; Remover as cadeiras das salas, a fim de facilitar a calibragem do modelo computacional, considerando que existem diferentes indicações de coeficiente de absorção desse elemento nas bibliografias consultadas; Máxima atenção na realização dos procedimentos indicados pela norma

ISO 3382-1:2009, a fim de garantir resultados experimentais mais precisos possíveis.

Conhecer as particularidades acústicas de cada uma das salas contribuiu para explicar possíveis incoerências nas medições que poderiam ser justificadas pela existência de modos normais de vibração dentro das salas – na faixa de 125 Hz para as Salas de Música e Artes Visuais, e na faixa de 125 e 250 Hz para a Sala de Teatro. Porém, as soluções apresentadas para adaptação das salas se limitou a corrigir os valores dos parâmetros acústicos TR, EDT, C_{80} , D_{50} , STI, G, Vivacidade, Calor e Brilho, de forma que se considerou essa uma limitação do trabalho para a maior resolução de problemáticas acústicas desses ambientes. Da mesma forma, a impossibilidade de intervir nas dimensões das salas, o que poderia resultar em uma resposta acústica mais suave – nas frequências abaixo da Frequência de Schroeder –, limitou as adequações propostas à inserção de elementos que fossem capazes de equilibrar a resposta acústica das mesmas.

As análises dos resultados das medições mostraram que nenhuma das três salas se encontrava adequada à prática musical, de acordo com os valores de referência encontrados nas bibliografias. Ainda que alguns valores de alguns parâmetros estivessem dentro dos limites sugeridos, aqueles considerados essenciais para a música, EDT e C_{80} – reverberação percebida e clareza com que a música é ouvida, respectivamente –, extrapolavam esses valores indicados para o uso. A Sala de Teatro era aquela que estava mais distante de ser considerada uma sala adequada à prática e, portanto, exigiria mais tratamento acústico. Esse distanciamento do ideal foi explicado pela carência de elementos absorvedores na sala, quase vazia e também a única sem persianas, que resultava em um TR bastante longo – variando de 4,59 a 4,84 s nas frequências de 125 e 250 Hz, de 3,42 a 2,96 s nas frequências de 500 e 1000 Hz, e de 2,50 a 2,02 s nas frequências de 2000 e 4000 Hz. Em contrapartida, as Salas de Música e Artes Visuais se aproximavam mais de um modelo adequado, possivelmente pela existência de diversos elementos capazes de absorver mais o som, resultando em um TR mais curto – variando de 2,93 a 2,06 s nas frequências de 125 e 250 Hz, de 1,92 a 1,66 s nas frequências de 500 e 1000 Hz, e de 1,57 a 1,33 s nas frequências de 2000 e 4000 Hz –, porém ainda não suficientemente curto para a prática musical.

A simulação computacional possibilitou criar um modelo computacional para cada uma das salas, fiel ao real, flexível a testes de diferentes combinações de modelos adaptados das salas com o objetivo de propor aquele que melhor se adequasse as necessidades da prática

musical, permitindo a inserção e remoção de materiais e dispositivos acústicos, conforme os resultados mostravam necessários ou não tais elementos. Em contrapartida, as limitações dessa etapa se concentraram na grande diversidade de características acústicas disponíveis para um mesmo material e/ou objeto, de modo que foram necessários ajustes nos coeficientes de absorção dos materiais para resultar em modelos computacionais dentro dos limites de diferença, para o modelo real, indicados por norma.

Compilando os valores de referência encontrados nas bibliografias em um quadro, foi possível listar valores desejáveis para os parâmetros acústicos conhecidos que caracterizassem um modelo de sala adequada a prática musical. Assim, os resultados das diferentes simulações eram comparados com esses valores até que fosse possível encontrar modelos de salas adequadas ao uso. As diferentes ocupações possíveis das salas foram testadas para garantir a manutenção dos valores dentro dos limites aceitáveis.

Por fim, o trabalho permitiu verificar que salas de aula multiuso podem se adequar à prática musical com a efetivação de algumas intervenções, desde que um adequado estudo acústico seja realizado a fim de garantir padrões aceitáveis de qualidade ao uso para o qual a sala se destina.

9.1 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- Aprofundar os estudos acerca dos fenômenos da acústica ondulatória e os modos normais que agem nas salas para garantir uma resposta acústica mais adequada possível;
- Explorar mais a difusão sonora dos elementos, tanto in loco quanto em um software de simulação, considerando o "envolvimento acústico" – sensação que o ouvinte tem de que o som vem de todos os lados da sala – desejado para a música e proporcionado por aquele fenômeno;
- Investigar mais a fundo as especificações dos diferentes materiais/dispositivos acústicos com o objetivo de testar todas as possibilidades de adequação disponíveis, levando-se em conta a viabilidade econômica para a adaptação;
- Utilizar o recurso de Auralização do software Odeon a fim de obter amostras sonoras dos modelos acústicos virtuais e analisar as preferências da qualidade acústicas das salas frente a um júri de avaliação treinado (músicos experientes).

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12179: Tratamento acústico em recintos fechados.** Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
- BARRON, Michael. **Auditorium acoustics and architectural design.** 2. ed. New York: Spon Press, 2010.
- BERANEK, Leo L. **Concert halls and opera house: music, acoustics & architecture.** 2. ed. New York: Springer, 2004. 661 p.
- BERANEK, Leo L.; **Concert and opera halls: how they sound.** EUA: Acoustical Society of America, 1996.
- BISTAFA, Sylvio R. **Acústica aplicada ao controle de ruído,** São Paulo: Blucher, 2006.
- BISTAFA, Sylvio R. **Difusão sonora em salas: paradigmas do passado e estado da arte.** In: SEMINÁRIO MUSICA CIENCIA E TECNOLOGIA: ACUSTICA MUSICAL, 1., 2004, São Paulo. Anais. Disponível em: <http://gsd.ime.usp.br/acmus/publi/seminario2004.htm>. Acesso em: 30 mai. 2015
- BISTAFA, Sylvio R. **Predicting reverberation times in a simulated classroom.** J.Acoust. Soc. Am, v.67, p1721-1731, 2000.
- BLASZAK, M.A. **Acoustic design of small rectangular rooms: Normal frequency statistics,** Applied Acoustics, 69, pp. 1356-1360, 2008.
- BORK, Ingolf. **A Comparison of Room Simulation Software – The 2nd Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation.** Acta Acustica, Vol. 86, 2000, pp 943-956.
- BORK, Ingolf. **Report on the 3rd Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation – Part II: Calculations.** Acta Acustica United with Acustica, Vol. 91, 2005, pp 753 - 763.
- BRADLEY, John. S. **Review of objective room acoustics measures and future needs.** Applied Acoustics. v. 72, p. 713-720. 2011.

BUILDING BULLETIN 93: **Acoustic, Design of Schools**. 2003 (replacing 1986 edition).

CANHOTA, C. **Qual a importância do estudo piloto?** In: SILVA, E. E. (Org.). *Investigação passo a passo: perguntas e respostas para investigação clínica*. Lisboa: APMCG, 2008. p. 69-72.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica**. 2.ed. – Brasília: Thesaurus, 2010.

CHRISTENSEN, Claus. L.; KOUTSOURIS, Georgios. **Odeon Room Acoustics Software**, Version 12, User Manual. Universidade Técnica da Dinamarca, 2013.

CUSTÓDIO, Marcelo F. **Qualidade sonora através da modelagem numérica e ensaios experimentais no centro de convenções “Centro Sul” de Florianópolis-SC**. 2004, 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

EGAN, M. David. **Architectural acoustics**. New York: McGraw-Hill, 1988.

EVEREST, F. Alton. Acoustics of small rooms. In: BALLOU, Glen (Ed.) **Handbook for sound engineers: the new audio cyclopedia**. Indianapolis (EUA): Howard W. Sams & Co., 1987. Cap.3 p.41-60

FIGUEIREDO, F. L. **Parâmetros acústicos subjetivos: Critérios para avaliação da Qualidade acústica de salas de música**, 2005. 259 p. Dissertação (Mestrado em Musicologia) Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

GADE, C. **Acoustics in Halls for Speech and Music**. Springer Handbook of Acoustics, Ed. T. D. Rossing, 2007.

GERGES, Samir N.Y. Acústica e ambiente fechado. In: GERGER, Samir N.Y. **Ruído - Fundamentos e Controle**. Florianópolis - SC: LVA: 2000.

IAZZETTA, F.H ;Figueiredo, F.L., Masiero, B.S. **Parâmetros Subjetivos em Salas Destinadas à Prática Musical**. Anais do IV

Congresso Ibero-Americano de Acústica, Guimarães, Portugal, pp 1-8, 2004.

INTERNACIONAL ELECTROTECHINICAL COMMISSION (IEC). **IEC 60268-16**: Sound system equipment – Part 16: Objective Rating of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - **ISO 3382-1**: Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 1: Performance spaces, 2009.

KUTTRUFF, H. **Room acoustics**. 5. ed. New York: Spon Press, 2000.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LLINARES G.; LLOPIS R. A.; SANCHO J. V. **Acústica arquitectónica y urbanística**. Valência: Universidade Politécnica de Valência, 1996.

LONG, M. **Architectural acoustics**. Londres: Elsevier Academic Press, 2006.

MACKEY, A.; GASS, S. **Common data collection measures**. In: _____. Second language research: methodology and design. Mahwah: Lawrence Erlbaum, 2005. p. 43-99.

MANNIS, J. A. **Design de difusores sonoros a partir de processo serial**: adequação acústica de pequenas salas à performance e audição musical. 2008. 396 p. Tese (Doutorado em Música) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

MARROS, F. ; PAUL, S. ; VERGARA, E. F. M. **Avaliação da confiabilidade de um modelo computacional**. In: Semana Acadêmica da UFSM, Santa Maria: 2010.

MARROS, F.; DORNELES, L. F. F. ; VERGARA, E. F. M. **Compatibilidade de modelos geométricos com programa de simulação acústica**. In: I Congresso de Iniciação Científica e Pós-Graduação do Sul do Brasil, Florianópolis: 2010.

MARROS, Fernanda. **Caracterização acústica de salas para prática e ensino musical**. 2011. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Universidade Federal de Santa Maria.

MASIERO, B. S.; IAZZETTA, F. **Estudo e implementação de métodos de medição de resposta impulsiva**. In: I Seminário Música Ciência Tecnologia: Acústica Musical, São Paulo, 2004.

MASIERO, Bruno. **Estudo e Implementação de Métodos de Medição e Resposta Impulsiva em Salas de Pequeno Porte**. Relatório Técnico - Fapesp, em <http://gsd.ime.usp.br/acmus/public.html> , 2004.

MEHTA, Madan; JOHNSON, James; ROCAFORD, Jorge. **Architectural Acoustics: Principles and design**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.

NAYLOR, G.M. **ODEON - Another Hybrid Room Acoustical Model**. Applied Acoustics Vol. 38, 1993, p. 131-143.

OLIVEIRA, Gabriella Kurtz. **Avaliação do comportamento acústico de auditórios utilizados para a fala**. 2014. Qualificação (Mestrado em arquitetura e urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina.

OLIVEIRA, Nádía Freire. **Avaliação acústica de salas de aula de dimensões reduzidas através da técnica impulsiva**. Campinas, SP: [s.n.], 2006.

PISANI, Raffaele. Valutazione delle qualità austiche delle sale per spettacolo. In: SPAGNOLO, Renato (Org.) **Manuale di acustica applicata**. Torino: UTET, 2001. cap. 7, item 7.3, p. 684-714.

RINDEL, Jens H. et al. **Comparisons between computer simulations of room acoustical parameters and those measured in concert halls**. Joint meeting of the Acoustical Society of America and the European Acoustics Association, Berlin, 14-19. 1999.

RINDEL, Jens H. **The Use of Computer Modeling in Room Acoustics**. Journal of VibroEngineering, no. 3(4) /Index 41-72 Paper of the International Conference BALTIC-ACOUSTIC 2000/ISSN 1392-8716, 2000.

ROCHA, Letícia de Sá. **Acústica e educação em música: estudo qualitativo para sala de ensaio e prática de instrumento e canto**.

2010. Dissertação (Mestrado em construção civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

SALA, E.; VILJANEN, V. **Improvement of acoustic conditions for speech communication in classrooms**. Applied Acoustics. v. 45, n. 1, p. 81-91, 1995.

SAVIOJA, Lauri; SVENSSON, Peter U. **Overview of geometrical room acoustic modeling techniques**. The Journal of the Acoustical Society of America, EUA v. 138, p. 708-730, 2015.

SCHMID, Aloísio Leoni, org. **Espaços para aprender e ensinar música: construção e adequação**. Ministério da Cultura e Ministério da Educação, Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior - CAPES, Programa Pró-Cultura, Pacto Ambiental, 2013. 32 f., 53 il.

SHIOKAWA, Hiroyoshi; RINDEL, Jens Holger. **Comparisons between Computer Simulations of Room Acoustical Parameters and Those Measured in Concert Halls**. Report of the Research Institute of Industrial Technology, Nihon University, Number 89, 2007, ISSN 0386-1678.

SILTANEN, S. et al. **Reduction in Room Acoustics Modeling**. Acta Acustica united with Acustica, 94(3):410–418, 2008.

SILVA, Marcos Noé Pedro Da. **Área da Superfície de um Corpo Humano**; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/matematica/area-superficie-um-corpo-humano.htm>>. Acesso em 24 de março de 2016.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar**. 5.ed. Belo Horizonte: EDTAL E. T., 2005.

SILVA, Roberto Starck Nogueira da. **Inteligibilidade da Palavra Falada em Salas Destinadas a Comunicação Verbal**. São Carlos, 1983, 230p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SVENSSON, Peter. The early history of ray tracing in room acoustics. In: **Reflections on sound:** In honour of Professor Emeritus Asbjørn Krokstad. Norwegian University of Science and Technology, 2008.

TAKAHASHI, Vanessa Fátima de Medeiros. **Influência das características arquitetônicas na qualidade acústica de salas de concerto.** Campinas, SP: [s.n.], 2010.

VERGARA, E. F.; MARROS, F.; PAUL, S. **Caracterização da qualidade acústica de salas de aula para prática e ensino musical.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 23-37, jan./mar. 2017. ISSN 1678-8621 Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

VERGARA, Erasmo Felipe. Medições acústicas e simulação computacional de salas de aula. In: SCHMID, Aloísio Leoni. **Espaços para aprender e ensinar música: construção e adequação.** [s. L.]: Ministério da Cultura e Ministério da Educação, Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior - Capes, Programa Pró-Cultura, Pacto Ambiental, 2013. Cap. 6. p. 36-44

VIVEIROS, Elvira B. **Excelência Acústica: O objetivo de projeto de uma edificação escolar.** In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC, 19., 2000, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Anais... Belo Horizonte: UFMG, 2000, p.183-188.

VIVEIROS, Elvira B. **Acústica de Salas e Técnicas Impulsivas.** In: III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 1995, Gramado. Anais do III Encontro Nacional e I Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído, 1995. p. 725-730.

APÊNDICE A – Resultados da média por ponto de receptor medido para cada parâmetro, por faixa de frequência, em bandas de oitava, de 125 Hz até 4000 Hz.

Tabela 11 - Resultados experimentais do TR (s) - Sala de Música.

localização	TEMPO DE REVERBERAÇÃO MÉDIO MEDIDO POR PONTO								MÉDIA	DESVIO
	P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4		
Frequência (Hz)										
125	2,06	2,03	2,01	1,89	2,16	2,02	1,97	1,98	2,01	0,08
250	2,03	1,99	1,97	1,98	2,17	2,12	2,07	2,13	2,06	0,08
500	1,87	1,88	1,91	1,92	2,01	1,92	1,89	1,97	1,92	0,05
1000	1,64	1,61	1,61	1,63	1,71	1,68	1,72	1,68	1,66	0,04
2000	1,54	1,56	1,54	1,55	1,63	1,57	1,59	1,59	1,57	0,03
4000	1,56	1,58	1,59	1,62	1,62	1,59	1,57	1,58	1,59	0,02

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 12 - Resultados experimentais do EDT (s) - Sala de Música.

localização	EDT (s) MÉDIO MEDIDO POR PONTO								MÉDIA	DESVIO
	P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4		
Frequência (Hz)										
125	1,98	1,74	1,67	1,65	2,25	1,99	2,10	1,87	1,91	0,21
250	2,03	2,12	1,94	1,98	2,03	2,13	2,08	1,99	2,04	0,07
500	1,94	1,94	1,90	1,97	1,99	1,95	1,97	1,92	1,95	0,03
1000	1,78	1,77	1,75	1,77	1,78	1,79	1,66	1,80	1,76	0,04
2000	1,62	1,60	1,62	1,65	1,65	1,67	1,60	1,58	1,62	0,03
4000	1,68	1,65	1,69	1,69	1,70	1,74	1,63	1,67	1,68	0,03

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 13 - Resultados experimentais da C_{80} (dB) - Sala de Música.

localização	C_{80} (dB) MÉDIO MEDIDO POR PONTO								MÉDIA	DESVIO
	P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4		
Frequência (Hz)										
125	-1,3	-0,8	0,4	0,5	-0,7	-0,1	-0,6	-0,8	-0,41	0,61
250	-3,0	-1,3	0,0	-0,5	-0,8	-0,5	-0,9	-1,2	-1,04	0,89
500	-0,4	-1,8	-0,5	-0,3	-0,5	-0,4	-0,8	-1,0	-0,70	0,50
1000	-0,5	0,1	1,1	1,1	0,9	0,2	-0,5	-0,9	0,21	0,78
2000	-1,1	0,4	1,5	1,3	1,0	0,6	0,0	-0,4	0,41	0,87
4000	-0,1	0,2	1,2	1,0	0,3	0,3	-0,4	-0,7	0,24	0,63

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 14 - Resultados experimentais da D_{50} (%) - Sala de Música.

		D50 (%) MÉDIO MEDIDO POR PONTO									
localização		P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4	MÉDIA	DESVIO
Frequência (Hz)											
	125	30,7	30,2	40,1	42,0	33,0	35,8	35,0	31,8	34,8	4,32
	250	24,8	26,8	38,2	36,1	30,4	32,0	31,2	27,8	30,9	4,55
	500	25,3	28,1	36,1	37,0	31,0	33,7	29,8	27,0	31,0	4,28
	1000	31,2	32,2	43,8	42,0	36,9	37,7	33,6	32,0	36,2	4,78
	2000	35,0	36,3	48,9	49,7	42,7	42,5	39,4	34,8	41,1	5,89
	4000	33,0	33,3	44,4	44,0	40,0	40,4	35,0	32,0	37,8	5,05

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 15 - Resultados experimentais de STI - Sala de Música.

		STI MÉDIO MEDIDO POR PONTO									
localização		P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4	MÉDIA	DESVIO
STI		0,49	0,49	0,50	0,49	0,49	0,51	0,49	0,50	0,50	0,01

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 16 - Resultados experimentais do TR (s) - Sala de Artes Visuais.

		TEMPO DE REVERBERAÇÃO MÉDIO MEDIDO POR PONTO									
localização		P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4	MÉDIA	DESVIO
Frequência (Hz)											
	125	2,93	2,97	2,77	2,87	2,92	2,89	3,09	3,01	2,93	0,10
	250	2,62	2,66	2,58	2,66	2,67	2,61	2,59	2,63	2,63	0,03
	500	1,92	1,90	1,92	1,87	1,91	1,97	1,93	1,88	1,91	0,03
	1000	1,78	1,81	1,83	1,77	1,82	1,77	1,81	1,81	1,80	0,02
	2000	1,53	1,52	1,52	1,50	1,55	1,50	1,51	1,50	1,52	0,02
	4000	1,33	1,31	1,33	1,32	1,32	1,33	1,34	1,35	1,33	0,01

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 17 - Resultados experimentais do EDT (s) - Sala de Artes Visuais.

		EDT MÉDIO MEDIDO POR PONTO									
localização		P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4	MÉDIA	DESVIO
Frequência (Hz)											
	125	2,96	3,03	2,90	2,90	2,98	2,95	3,11	3,04	2,98	0,07
	250	2,68	2,75	2,68	2,67	2,72	2,66	2,66	2,63	2,68	0,04
	500	1,98	1,98	1,94	1,90	1,97	1,98	1,94	1,93	1,95	0,03
	1000	1,85	1,88	1,84	1,79	1,82	1,78	1,82	1,85	1,83	0,03
	2000	1,58	1,62	1,55	1,55	1,60	1,55	1,55	1,52	1,57	0,03
	4000	1,35	1,38	1,33	1,35	1,35	1,34	1,36	1,35	1,35	0,01

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 18 - Resultados experimentais da C_{80} (dB) - Sala de Artes Visuais.

		C80 (dB) MÉDIO MEDIDO POR PONTO									
localização		P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4	MÉDIA	DESVIO
Frequência (Hz)											
125		-3,30	-2,28	-2,99	-2,39	-2,65	-5,50	-5,02	-4,62	-3,59	1,27
250		-4,45	-3,40	-4,03	-3,68	-3,43	-3,98	-3,99	-3,16	-3,77	0,42
500		-2,37	-1,39	-1,93	-1,54	-1,22	-2,41	-1,86	-0,98	-1,71	0,52
1000		-1,80	-0,80	-1,25	-0,96	-0,56	-2,05	-1,29	-0,28	-1,12	0,60
2000		-0,27	0,46	-0,20	0,35	0,59	-1,08	-0,23	0,97	0,07	0,64
4000		0,13	1,42	0,67	1,39	1,50	-0,32	0,59	1,79	0,90	0,75

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 19 - Resultados experimentais da D_{50} (%) - Sala de Artes Visuais.

		D50 (%) MÉDIO MEDIDO POR PONTO									
localização		P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4	MÉDIA	DESVIO
Frequência (Hz)											
125		14,5	18,3	19,2	19,4	18,8	19,2	19,7	20,3	18,7	1,78
250		18,4	24,0	23,0	23,2	24,6	18,0	20,4	26,4	22,2	3,02
500		25,6	34,0	29,6	34,0	33,2	24,9	29,7	37,7	31,1	4,44
1000		27,0	34,6	32,5	34,4	35,4	27,2	31,0	39,0	32,6	4,12
2000		31,0	42,0	35,0	39,5	41,8	33,0	36,7	45,3	38,0	4,94
4000		35,0	45,0	39,0	44,7	46,0	35,0	39,8	48,0	41,6	5,05

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 20 - Resultados experimentais de STI - Sala de Artes Visuais.

		STI MÉDIO MEDIDO POR PONTO									
localização		P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4	MÉDIA	DESVIO
STI		0,44	0,41	0,43	0,44	0,41	0,44	0,49	0,47	0,44	0,03

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 21 - Resultados experimentais do TR (s) - Sala de Teatro.

		TEMPO DE REVERBERAÇÃO MÉDIO MEDIDO POR PONTO									
localização		P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4	MÉDIA	DESVIO
Frequência (Hz)											
125		4,10	4,88	4,39	4,65	4,74	4,80	4,57	4,60	4,59	0,25
250		4,88	4,82	4,90	4,83	4,93	4,89	4,88	4,60	4,84	0,10
500		3,23	3,39	3,48	3,49	3,41	3,45	3,45	3,49	3,42	0,09
1000		2,98	2,95	2,97	2,95	2,99	2,93	2,98	2,95	2,96	0,02
2000		2,50	2,49	2,48	2,50	2,49	2,58	2,58	2,38	2,50	0,06
4000		2,01	1,97	1,97	2,03	2,04	2,04	1,93	2,20	2,02	0,08

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 22 - Resultados experimentais do EDT (s) - Sala de Teatro.

		EDT MÉDIO MEDIDO POR PONTO									
localização		P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4	MÉDIA	DESVIO
Frequência (Hz)											
125		4,50	4,92	4,52	4,78	4,80	4,82	4,63	4,70	4,71	0,15
250		4,92	4,89	4,98	4,89	4,95	4,90	4,93	4,71	4,90	0,08
500		3,32	3,48	3,60	3,59	3,49	3,47	3,56	3,52	3,50	0,09
1000		3,03	2,97	3,04	3,07	3,00	3,02	3,10	2,98	3,03	0,04
2000		2,60	2,51	2,55	2,53	2,57	2,61	2,62	2,49	2,56	0,05
4000		2,09	1,98	2,07	2,08	2,07	2,10	2,00	2,20	2,07	0,07

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 23 - Resultados experimentais da C_{80} (dB) - Sala de Teatro.

		C80 (dB) MÉDIO MEDIDO POR PONTO									
localização		P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4	MÉDIA	DESVIO
Frequência (Hz)											
125		-7,70	-7,30	-7,90	-7,00	-6,90	-7,27	-6,70	-7,00	-7,22	0,41
250		-7,10	-7,00	-6,80	-6,47	-6,85	-6,80	-6,23	-6,11	-6,67	0,36
500		-5,20	-5,30	-5,18	-5,21	-5,33	-5,30	-5,00	-5,20	-5,22	0,10
1000		-4,00	-4,42	-4,10	-4,00	-4,15	-4,00	-3,65	-4,02	-4,04	0,21
2000		-2,80	-3,10	-3,03	-3,00	-2,70	-2,70	-2,25	-2,65	-2,78	0,27
4000		-1,00	-1,62	-1,20	-1,25	-1,20	-1,10	-1,03	-1,00	-1,18	0,20

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 24 - Resultados experimentais da D_{50} (%) - Sala de Teatro.

		D50 (%) MÉDIO MEDIDO POR PONTO									
localização		P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4	MÉDIA	DESVIO
Frequência (Hz)											
125		12,02	12,00	12,00	12,45	11,30	12,90	13,00	12,55	12,28	0,56
250		12,20	12,30	12,30	13,00	12,97	12,63	13,80	13,87	12,88	0,66
500		18,33	16,87	16,05	17,80	16,00	17,00	19,60	19,00	17,58	1,33
1000		21,80	21,00	21,60	21,20	21,65	22,00	24,10	24,10	22,18	1,23
2000		26,45	24,20	24,00	24,60	24,00	24,90	27,00	26,00	25,14	1,18
4000		31,00	30,00	30,00	30,54	29,83	30,40	33,60	33,10	31,06	1,47

Fonte: Elaborado pela autora.

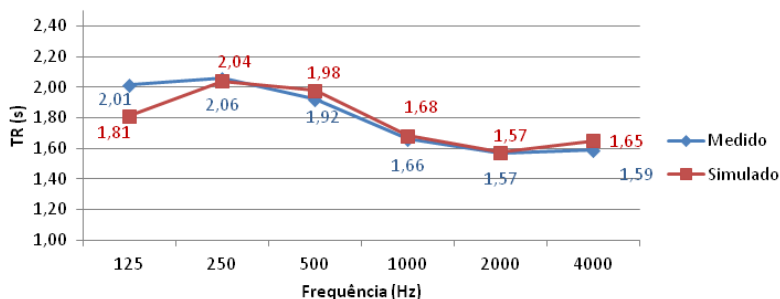
Tabela 25 - Resultados experimentais de STI - Sala de Teatro.

		STI MÉDIO MEDIDO POR PONTO									
localização		P1	P2	P3	P4	PP1	PP2	PP3	PP4	MÉDIA	DESVIO
STI		0,32	0,33	0,33	0,33	0,34	0,30	0,34	0,33	0,33	0,01

Fonte: Elaborado pela autora.

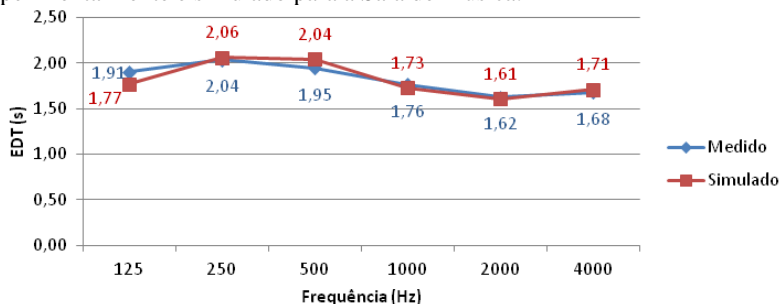
APÊNDICE B – Gráficos comparativos dos parâmetros simulados com os parâmetros medidos para cada uma das salas.

Figura 49 - Comparativo do Tempo de Reverberação (TR) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Música.



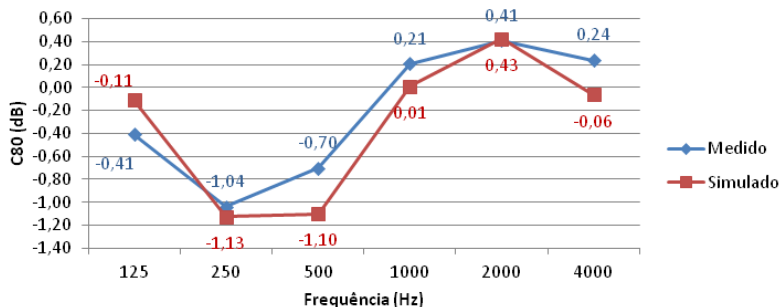
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 50 - Comparativo do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Música.



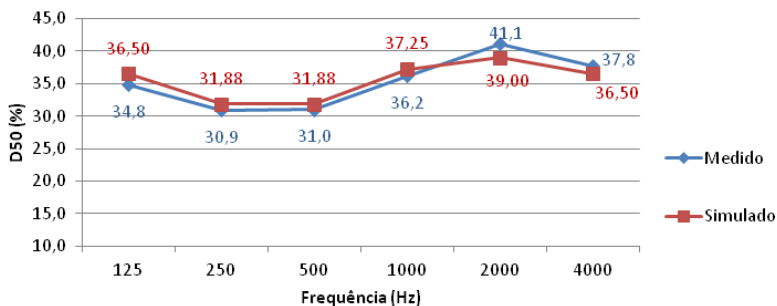
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 51 - Comparativo da Clareza (C_{80}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Música.



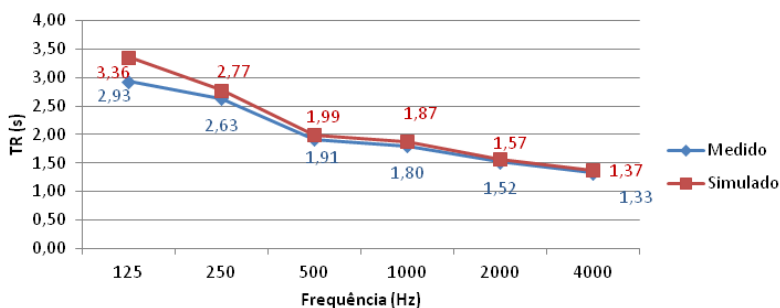
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 52 - Comparativo da Definição (D_{50}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Música.



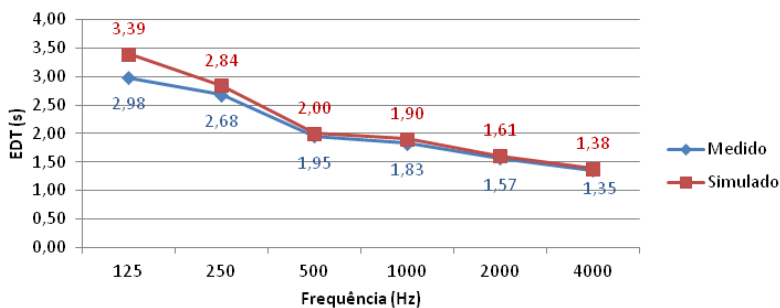
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 53 - Comparativo do Tempo de Reverberação (TR) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Artes Visuais.



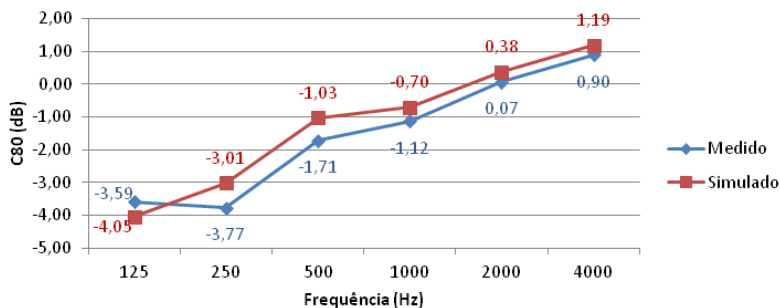
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 54 - Comparativo do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Artes Visuais.



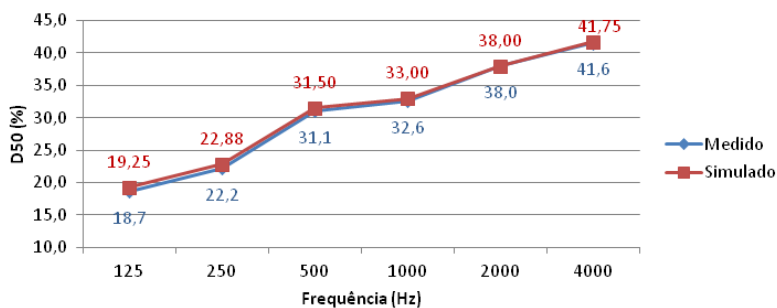
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 55 - Comparativo da Clareza (C_{80}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Artes Visuais.



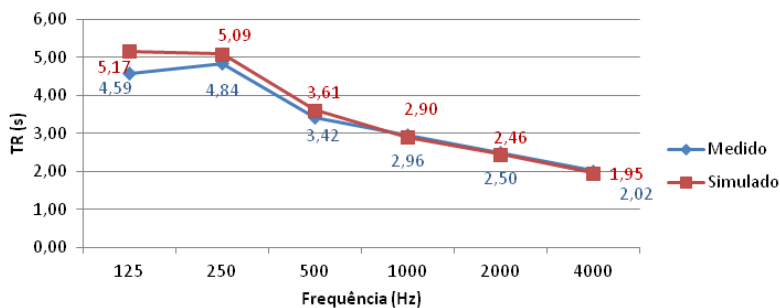
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 56 - Comparativo da Definição (D_{50}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Artes Visuais.



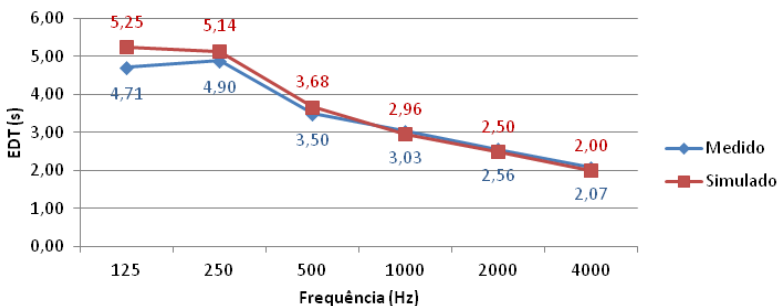
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 57 - Comparativo do Tempo de Reverberação (TR) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Teatro.



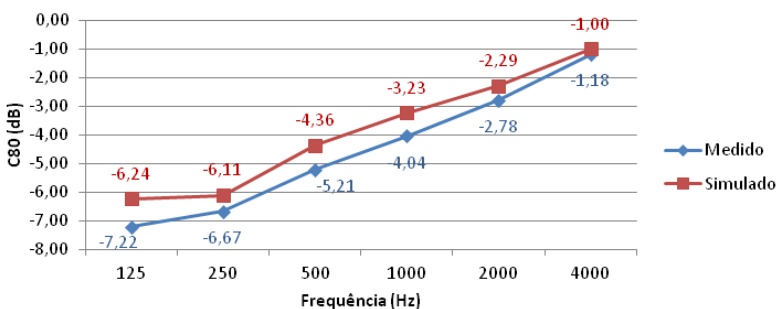
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 58 - Comparativo do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) medido experimentalmente e simulado para a Sala de Teatro.



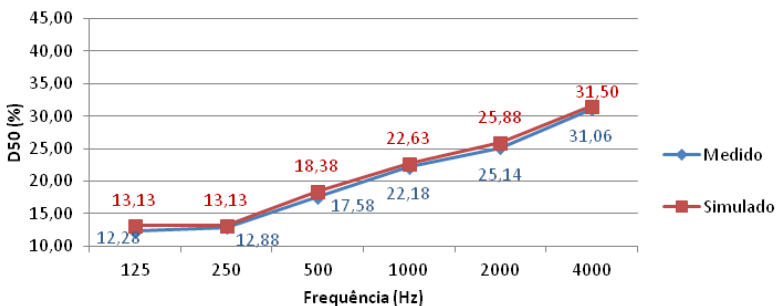
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 59 - Comparativo da Clareza (C_{80}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Teatro.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 60 - Comparativo da Definição (D_{50}) medida experimentalmente e simulada para a Sala de Teatro.



Fonte: Elaborado pela autora.

APÊNDICE C – Especificações utilizadas nas simulações computacionais do modelo computacional calibrado com o modelo real.

Quadro 13 - Especificações da simulação computacional para o modelo real da Sala de Música.

Quadro de materias e coeficientes de absorção sonora								
Material	Área (m²)	Coeficiente de absorção						Referência
		125	250	500	1000	2000	4000	
Piso - Tacos de madeira	42,84	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	Bistafa, 2006
Tablado - Assoalho em tábua	41,27	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10	Bistafa, 2006
Teto rebocado liso	81,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Parede alvenaria rebocada	103,73	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Portas de madeira fechadas	4,25	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	Bistafa, 2006
Persiana	10,35	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	Bistafa, 2006
Pessoa de pé ¹	3,20	0,11	0,20	0,27	0,26	0,28	0,23	Bistafa, 2006
Mesa Madeira	1,36	0,10	0,10	0,05	0,05	0,04	0,04	Carvalho, 2010
Piano	5,56	0,20	0,52	0,60	0,57	0,52	0,43	Carvalho, 2010
Estante Livro	6,50	0,11	0,33	0,90	0,60	0,79	0,68	Carvalho, 2010
¹ Calculado em função da área do corpo humano, adaptado da Absorção publicada em Bistafa (2006)								
Room Setup - Odeon								
Suggest point response	Precision							
Scattering method	Lambert							
Reflection based scatter	Enable							
Source Receiver List								

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 14 - Especificações da simulação computacional para o modelo real da Sala de Teatro.

Quadro de materias e coeficientes de absorção sonora								
Material	Área (m²)	Coeficiente de absorção						Referência
		125	250	500	1000	2000	4000	
Piso cerâmico	43,81	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	Carvalho, 2010
Teto rebocado liso	43,90	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Parede alvenaria rebocada	82,28	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Portas de madeira fechadas	2,12	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	Bistafa, 2006
Janela de vidro	6,75	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,40	Bistafa, 2006
Room Setup - Odeon								
Suggest point response	Precision							
Scattering method	Lambert							
Reflection based scatter	Enable							
Source Receiver List								
*Posições conforme descrito no item 6.								

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 15 - Especificações da simulação computacional para o modelo real da Sala de Artes Visuais.

Quadro de materias e coeficientes de absorção sonora								
Material	Área (m²)	Coeficiente de absorção						Referência
		125	250	500	1000	2000	4000	
Piso cerâmico	59,11	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	Carvalho, 2010
Teto rebocado liso	59,52	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Parede alvenaria rebocada	91,65	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Portas de madeira fechadas	4,26	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	Bistafa, 2006
Persiana	10,20	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	Bistafa, 2006
Pessoa de pé ¹	3,20	0,11	0,20	0,27	0,26	0,28	0,23	Bistafa, 2006
Mesa Madeira	2,97	0,10	0,10	0,05	0,05	0,04	0,04	Carvalho, 2010
Piano	5,56	0,20	0,52	0,60	0,57	0,52	0,43	Carvalho, 2010
Estante Livro	9,48	0,11	0,33	0,90	0,60	0,79	0,68	Carvalho, 2010
¹ Calculado em função da área do corpo humano, adaptado da Absorção publicada em Bistafa (2006)								
Room Setup - Odeon								
Suggest point response	Precision							
Scattering method	Lambert							
Reflection based scatter	Enable							
Source Receiver List								
*Posições conforme descrito no item 6.								

Fonte: Elaborado pela autora.

APÊNDICE D – Especificações utilizadas nas simulações computacionais com as diferentes ocupações das salas analisadas.

Quadro 16 - Resultados simulados com ocupação de 42 pessoas na Sala de Música.

		Sala de Música	Observação
TR (s)	S	1,07	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4	
EDT (s)	S	1,01	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4	
C80 (dB)	S	2,89	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 1 e 5	
D50 (%)	S	49,63	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 50 e 65	
STI	S	0,60	
	D	> 0,45	
G (dB)	C	22,18	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 21 e 25	
Vivacidade	C	1,07	
	D	> 1,6	
Calor	C	1,23	Considerando que o TR ideal seja aproximadamente 1,4
	D	Entre 1,1 e 1,45	
Brilho	C	0,87	
	D	> 0,7	
Legenda S: Simulado; D: Desejado; C: Calculado			
Combinação:		42 pessoas em pé.	

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 17 - Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora simulados com ocupação de 42 pessoas na Sala de Música.

Quadro de materias e coeficientes de absorção sonora								
Material	Área (m²)	Coeficiente de absorção						Referência
		125	250	500	1000	2000	4000	
Piso - Tacos de madeira	42,84	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	Bistafa, 2006
Tablado - Assoalho em tábua	41,27	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10	Bistafa, 2006
Teto rebocado liso	81,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Parede alvenaria rebocada	101,93	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Portas de madeira fechadas	4,25	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	Bistafa, 2006
Persiana	10,35	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	Bistafa, 2006
Pessoa de pé ¹	67,20	0,11	0,20	0,27	0,26	0,28	0,23	Bistafa, 2006
Mesa Madeira	1,36	0,10	0,10	0,05	0,05	0,04	0,04	Carvalho, 2010
Piano	5,56	0,20	0,52	0,60	0,57	0,52	0,43	Carvalho, 2010
Estante Livro	6,50	0,11	0,33	0,90	0,60	0,79	0,68	Carvalho, 2010
Painel Absorvedor Decorsound	1,80	0,04	0,40	0,86	0,97	0,93	0,98	Fabricante

¹ Calculado em função da área do corpo humano, adaptado da Absorção publicada em Bistafa (2006)

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 18 - Resultados simulados com ocupação de 36 pessoas sentadas na Sala de Música.

		Sala de Música	Observação
TR (s)	S	0,94	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4	
EDT (s)	S	0,84	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4	
C80 (dB)	S	4,81	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 1 e 5	
D50 (%)	S	57,50	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 50 e 65	
STI	S	0,64	
	D	> 0,45	
G (dB)	C	21,57	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 21 e 25	
Vivacidade	C	0,94	
	D	> 1,6	
Calor	C	1,29	Considerando que o TR ideal seja aproximadamente 1,4
	D	Entre 1,1 e 1,45	
Brilho	C	0,89	
	D	> 0,7	
Legenda S: Simulado; D: Desejado; C: Calculado			
Combinação:		36 pessoas sentadas em cadeira.	

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 19 - Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora simulados com ocupação de 36 pessoas sentadas na Sala de Música.

Quadro de matérias e coeficientes de absorção sonora								
Material	Área (m ²)	Coeficiente de absorção						Referência
		125	250	500	1000	2000	4000	
Piso - Tacos de madeira	42,84	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	Bistafa, 2006
Tablado - Assoalho em tábua	41,27	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10	Bistafa, 2006
Teto rebocado liso	81,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Parede alvenaria rebocada	101,93	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Portas de madeira fechadas	4,25	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	Bistafa, 2006
Persiana	10,35	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	Bistafa, 2006
Pessoa de pé ¹	57,60	0,11	0,20	0,27	0,26	0,28	0,23	Bistafa, 2006
Mesa Madeira	1,36	0,10	0,10	0,05	0,05	0,04	0,04	Carvalho, 2010
Piano	5,56	0,20	0,52	0,60	0,57	0,52	0,43	Carvalho, 2010
Estante Livro	6,50	0,11	0,33	0,90	0,60	0,79	0,68	Carvalho, 2010
Painel Absorvedor Decorsound	1,80	0,04	0,40	0,86	0,97	0,93	0,98	Fabricante
Cadeira Plastico	11,16	0,06	0,10	0,10	0,20	0,30	0,20	Bistafa, 2006

¹ Calculado em função da área do corpo humano, adaptado da Absorção publicada em Bistafa (2006)

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 20 - Resultados simulados com ocupação máxima na Sala de Música.

		Sala de Música	Observação
TR (s)	S	0,59	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4	
EDT (s)	S	0,54	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4	
C80 (dB)	S	7,64	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 1 e 5	
D50 (%)	S	67,00	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 50 e 65	
STI	S	0,72	
	D	> 0,45	
G (dB)	C	20,58	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 21 e 25	
Vivacidade	C	0,59	
	D	> 1,6	
Calor	C	1,33	Considerando que o TR ideal seja aproximadamente 1,4
	D	Entre 1,1 e 1,45	
Brilho	C	0,93	
	D	> 0,7	
Legenda S: Simulado; D: Desejado; C: Calculado			
Combinação:		42 pessoas em pé e 36 pessoas sentadas em cadeira - Lotação máxima.	

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 21 - Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora simulados com ocupação máxima na Sala de Música.

Quadro de materias e coeficientes de absorção sonora								
Material	Área (m ²)	Coeficiente de absorção						Referência
		125	250	500	1000	2000	4000	
Piso - Tacos de madeira	42,84	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	Bistafa, 2006
Tablado - Assoalho em tábua	41,27	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10	Bistafa, 2006
Teto rebocado liso	81,01	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Parede alvenaria rebocada	101,93	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Portas de madeira fechadas	4,25	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	Bistafa, 2006
Persiana	10,35	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	Bistafa, 2006
Pessoa de pé ¹	124,80	0,11	0,20	0,27	0,26	0,28	0,23	Bistafa, 2006
Mesa Madeira	1,36	0,10	0,10	0,05	0,05	0,04	0,04	Carvalho, 2010
Piano	5,56	0,20	0,52	0,60	0,57	0,52	0,43	Carvalho, 2010
Estante Livro	6,50	0,11	0,33	0,90	0,60	0,79	0,68	Carvalho, 2010
Painel Absorvedor Decorsound	1,80	0,04	0,40	0,86	0,97	0,93	0,98	Fabricante
Cadeira Plastico	11,16	0,06	0,10	0,10	0,20	0,30	0,20	Bistafa, 2006

¹ Calculado em função da área do corpo humano, adaptado da Absorção publicada em Bistafa (2006)

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 22 - Resultados simulados com ocupação de 2 pessoas em pé e 8 pessoas sentadas na Sala de Artes Visuais.

		Sala de Artes Visuais	Observação
TR (s)	S	0,99	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4	
EDT (s)	S	1,00	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4	
C80 (dB)	S	2,69	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 1 e 5	
D50 (%)	S	46,50	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 50 e 65	
STI	S	0,59	
	D	> 0,45	
G (dB)	C	21,85	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 21 e 25	
Vivacidade	C	0,99	
	D	> 1,6	
Calor	C	1,59	Considerando que o TR ideal seja aproximadamente 1,4
	D	Entre 1,1 e 1,45	
Brilho	C	0,82	
	D	> 0,7	
Legenda S: Simulado; D: Desejado; C: Calculado			
Combinação:		2 pessoas em pé e 8 pessoas sentadas em cadeira.	

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 23 - Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora simulados com ocupação de 2 pessoas em pé e 8 pessoas sentadas na Sala de Artes Visuais.

Quadro de materias e coeficientes de absorção sonora								
Material	Área (m ²)	Coeficiente de absorção						Referência
		125	250	500	1000	2000	4000	
Piso cerâmico	50,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	Carvalho, 2010
Teto rebocado liso	54,77	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Parede alvenaria rebocada	86,64	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Portas de madeira fechadas	4,26	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	Bistafa, 2006
Persiana	10,20	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	Bistafa, 2006
Pessoa de pé ¹	16,00	0,11	0,20	0,27	0,26	0,28	0,23	Bistafa, 2006
Mesa Madeira	2,97	0,10	0,10	0,05	0,05	0,04	0,04	Carvalho, 2010
Piano	5,56	0,20	0,52	0,60	0,57	0,52	0,43	Carvalho, 2010
Estante Livro	9,48	0,11	0,33	0,90	0,60	0,79	0,68	Carvalho, 2010
Tapete 5 mm de Espessura	9,00	0,04	0,04	0,15	0,29	0,52	0,59	ABNT, 1992
Bass Traps Megafusor Bass	6,72	0,50	1,00	0,85	0,70	0,65	0,76	Fabricante
Cadeira Plastico	11,16	0,06	0,10	0,10	0,20	0,30	0,20	Bistafa, 2006

¹ Calculado em função da área do corpo humano, adaptado da Absorção publicada em Bistafa (2006)

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 24 - Resultados simulados com ocupação de 1 pessoa sentada na Sala de Teatro.

		Sala de Teatro	Observação
TR (s)	S	1,31	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4	
EDT (s)	S	1,31	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4	
C80 (dB)	S	1,51	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 1 e 5	
D50 (%)	S	53,19	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 50 e 65	
STI	S	0,54	
	D	> 0,45	
G (dB)	C	24,37	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 21 e 25	
Vivacidade	C	1,31	
	D	> 1,6	
Calor	C	1,49	Considerando que o TR ideal seja aproximadamente 1,4
	D	Entre 1,1 e 1,45	
Brilho	C	0,84	
	D	> 0,7	
Legenda S: Simulado; D: Desejado; C: Calculado			
Combinação:		1 pessoa sentada em cadeira.	

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 25 - Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora simulados com ocupação de 1 pessoa sentada na Sala de Teatro.

Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora								
Material	Área (m²)	Coeficiente de absorção						Referência
		125	250	500	1000	2000	4000	
Piso cerâmico	43,81	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	Carvalho, 2010
Teto rebocado liso	40,31	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Parede alvenaria rebocada	67,80	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Portas de madeira fechadas	2,12	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	Bistafa, 2006
Persiana	6,75	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	Bistafa, 2006
Painel Absorvedor Decoround	7,20	0,04	0,40	0,86	0,97	0,93	0,98	Fabricante
Bass Traps Megafusor Bass	2,92	0,50	1,00	0,85	0,70	0,65	0,76	Fabricante
Bass Traps SuperBassExtreme	4,95	0,61	0,39	0,28	0,43	0,43	0,32	Fabricante
Pessoa de pé ¹	1,60	0,11	0,20	0,27	0,26	0,28	0,23	Bistafa, 2006
Cadeira Plastico	0,31	0,06	0,10	0,10	0,20	0,30	0,20	Bistafa, 2006

¹ Calculado em função da área do corpo humano, adaptado da Absorção publicada em Bistafa (2006)

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 26 - Resultados simulados com ocupação de 2 pessoas sentadas na Sala de Teatro.

		Sala de Teatro	Observação
TR (s)	S	1,25	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4	
EDT (s)	S	1,26	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4	
C80 (dB)	S	1,94	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 1 e 5	
D50 (%)	S	55,75	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 50 e 65	
STI	S	0,55	
	D	> 0,45	
G (dB)	C	24,18	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 21 e 25	
Vivacidade	C	1,25	
	D	> 1,6	
Calor	C	1,48	Considerando que o TR ideal seja aproximadamente 1,4
	D	Entre 1,1 e 1,45	
Brilho	C	0,85	
	D	> 0,7	
Legenda S: Simulado; D: Desejado; C: Calculado			
Combinação:		2 pessoas sentadas em cadeira.	

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 27 - Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora simulados com ocupação de 2 pessoas sentadas na Sala de Teatro.

Quadro de materias e coeficientes de absorção sonora								
Material	Área (m ²)	Coeficiente de absorção						Referência
		125	250	500	1000	2000	4000	
Piso cerâmico	43,81	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	Carvalho, 2010
Teto rebocado liso	40,31	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Parede alvenaria rebocada	67,80	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Portas de madeira fechadas	2,12	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	Bistafa, 2006
Persiana	6,75	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	Bistafa, 2006
Painel Absorvedor Decorsound	7,20	0,04	0,40	0,86	0,97	0,93	0,98	Fabricante
Bass Traps Megafusor Bass	2,92	0,50	1,00	0,85	0,70	0,65	0,76	Fabricante
Bass Traps SuperBassExtreme	4,95	0,61	0,39	0,28	0,43	0,43	0,32	Fabricante
Pessoa de pé ¹	3,20	0,11	0,20	0,27	0,26	0,28	0,23	Bistafa, 2006
Cadeira Plástico	0,62	0,06	0,10	0,10	0,20	0,30	0,20	Bistafa, 2006

¹ Calculado em função da área do corpo humano, adaptado da Absorção publicada em Bistafa (2006)

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 28 - Resultados simulados com ocupação de 10 pessoas sentadas na Sala de Teatro.

		Sala de Teatro	Observação
TR (s)	S	0,93	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4	
EDT (s)	S	0,90	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 0,4 e 1,4	
C80 (dB)	S	4,07	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 1 e 5	
D50 (%)	S	64,69	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 50 e 65	
STI	S	0,62	
	D	> 0,45	
G (dB)	C	22,89	média entre 500 e 1000 Hz
	D	Entre 21 e 25	
Vivacidade	C	0,93	
	D	> 1,6	
Calor	C	1,51	Considerando que o TR ideal seja aproximadamente 1,4
	D	Entre 1,1 e 1,45	
Brilho	C	0,86	
	D	> 0,7	
Legenda S: Simulado; D: Desejado; C: Calculado			
Combinação:		10 pessoas sentadas em cadeira.	

Fonte: Elaborado pela autora.

Quadro 29 - Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora simulados com ocupação de 10 pessoas sentadas na Sala de Teatro.

Quadro de materiais e coeficientes de absorção sonora								
Material	Área (m ²)	Coeficiente de absorção						Referência
		125	250	500	1000	2000	4000	
Piso cerâmico	43,81	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	Carvalho, 2010
Teto rebocado liso	40,31	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Parede alvenaria rebocada	67,80	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	Bistafa, 2006
Portas de madeira fechadas	2,12	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10	Bistafa, 2006
Persiana	6,75	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35	Bistafa, 2006
Painel Absorvedor Decoround	7,20	0,04	0,40	0,86	0,97	0,93	0,98	Fabricante
Bass Traps Megafusor Bass	2,92	0,50	1,00	0,85	0,70	0,65	0,76	Fabricante
Bass Traps SuperBassExtreme	4,95	0,61	0,39	0,28	0,43	0,43	0,32	Fabricante
Pessoa de pé ¹	16,00	0,11	0,20	0,27	0,26	0,28	0,23	Bistafa, 2006
Cadeira Plástico	3,10	0,06	0,10	0,10	0,20	0,30	0,20	Bistafa, 2006

¹ Calculado em função da área do corpo humano, adaptado da Absorção publicada em Bistafa (2006)

Fonte: Elaborado pela autora.