

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DAS SALAS DO CURSO  
DE MÚSICA DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA EM FLORIANÓPOLIS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**Ana Carolina Mendonça Mansur**

Florianópolis, SC

Julho de 2016

**ANA CAROLINA MENDONÇA MANSUR**

**CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DAS SALAS DO CURSO  
DE MÚSICA DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA EM FLORIANÓPOLIS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de  
Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina,  
como parte dos requisitos para obtenção do título de  
Engenheira Civil.

**Orientador: Erasmo Felipe Vergara**

Florianópolis, SC

Julho de 2016

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

Mansur, Ana Carolina

Caracterização acústica das salas do curso de música da  
Universidade do Estado de Santa Catarina em Florianópolis /  
Ana Carolina Mansur ; orientadora, Erasmo Vergara -  
Florianópolis, SC, 2016.

93 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.  
Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Acústica de salas. I. Vergara,  
Erasmo. II. Universidade Federal de Santa Catarina.  
Graduação em Engenharia Civil. III. Título.


**ANA CAROLINA MENDONÇA MANSUR**

**CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DAS SALAS DO CURSO  
DE MÚSICA DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DE  
SANTA CATARINA EM FLORIANÓPOLIS**

Florianópolis, SC, julho de 2016

Trabalho de conclusão de curso aprovado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenharia Civil na Universidade Federal de Santa Catarina pela seguinte banca examinadora:

Orientador:



---

Erasmo Felipe Vergara

(Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina)

Examinadores:

**Gabriella Kurtz Oliveira**

Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Santa Catarina

**Liseane Padilha Thives**

Doutora em Engenharia Civil pela Universidade do Minho

**Vitor Litwinczik**

Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina

In memoriam ao meu pai Eliézer Dalil Mansur, um dos fundadores do curso de Engenharia Civil da UFSC em 1968.

À minha mãe, Ana Maria Mendonça Mansur, por ser o meu porto seguro e me ensinar a amar as pessoas.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à minha mãe, Ana Maria Mendonça Mansur, por me apoiar e ser parte da minha motivação durante todos os anos de curso. Mãe, essa conquista é sua também.

Agradeço aos meus irmãos, Elias e Felipe Mansur, que mesmo longe algumas vezes, sempre deram um jeito de se manterem presentes.

A Antonio Freitas por me motivar nos momentos de dificuldade e por me fazer acreditar nos meus sonhos e na minha capacidade de realizá-los.

Ao meu orientador, Erasmo Felipe Vergara, por toda ajuda, disponibilidade e aprendizado.

A Alicia Cupani que tornou possível toda a realização deste trabalho ao autorizar o espaço do Departamento de Música da UDESC para realização das medições.

A Vítor Litwinczik, com quem tive as primeiras lições de acústica e me ofereceu oportunidade de estágio nesta área.

A Gabriella Kurtzde Oliveira, Juan Martin Aponte, Juan Camilo Arrubla, Ingrid Knochenhauer e Pollyanna Lima, colegas da área que me ajudaram nas medições e são os responsáveis por muito dos conhecimentos que adquiri.

A professora Liseane Padilha Thives, pelas disciplinas de estradas, pelas orientações de estágio e por aceitar fazer parte deste momento singular na minha formação.

A Aline Sardá e Vicente Machado, meus grandes amigos da graduação em Engenharia Civil.

A Margareth Beatriz e Gilmar Lopes de Freitas por todo o carinho que sempre me tratam.

Ao violinista Davys Moreno por todo apoio, credibilidade e parceria.

Aos pianistas Alexandre Gonçalves e Vanderlei Jochem por todos os ensinamentos que me fazem sentir realizada como ser humano e musicista.

Ao meu professor de hipismo, Nestor Angel Deluchi, por me presentear com a pontualidade e concentração.

À minha madrinha Regina Lopes, por ser como uma segunda mãe.

Ao engenheiro civil Gabriel Nogueira Bernardes pela ajuda com o AutoCAD, disponibilidade e motivação.

Aos colegas de banda Aurélio Aguiar, Fernando Dadald, Luciano Pereira e Plínio Ávila pela paciência e descontração.

Ao porteiro Ivan por ser como um irmão mais velho e ter sido um porto seguro nos momentos de incerteza e fragilidade.

A Valdete Zehnder por todas as histórias que me fizeram rir e tornaram meus dias mais leves.

Aos meus grandes amigos, Brunno Rocha Levone e Renato Caggiano Concílio por dividirem comigo os momentos inesquecíveis das épocas de colégio e sempre tornarem viva a nossa amizade.

A vida é como uma longa viagem de trem. Ele viaja sem parar e cabe a você saltar ou não nas estações. Existem aqueles que têm pressa, existem os que esperam, existem também os que se perguntam. Você pode decidir que a viagem ininterrupta é a forma mais confortável de chegar logo ao seu destino. Já outros podem fazer algumas pausas pelo caminho, pois para eles não importa o quão cedo se chega, mas a bagagem que levam. Nunca se sabe qual a próxima estação, quem você conhecerá, se é cedo demais ou tarde demais. Você não pode mudar o rumo do trem, mas pode fazer escolhas. Numa dessas pausas dessa viagem chamada tempo, há os que esbarram com o amor de suas vidas. Destino, sorte, determinação ou coincidência – acredito ser um pouco de tudo. Há os que encontram o emprego dos sonhos. Há os que esperam. Mas você não encontrará tudo na mesma estação. Precisa arriscar. Haverá surpresas, medos, dúvidas e a felicidade muitas vezes será questão de ponto de vista. Você pode não ser o primeiro a chegar ao destino do trem, mas pode viver tudo que escolheu nas estações que parou. Ou pode também chegar muito rápido, mas sem necessariamente a bagagem que lhe convinha. Para aqueles que há muito se encontram nessa viagem, dizem que a felicidade é uma questão de equilíbrio. De quantas vezes você teve que deixar o trem andar para arriscar uma estação, e de quantas vezes você decidiu prosseguir. No fim, as escolhas serão sempre suas e a história também. Escreva com calma a sua e coloque personalidade nisso. A única coisa que ninguém consegue levar de nossas “bagagens”, além do conhecimento, são os momentos que se viveu.



## RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso  
Graduação em Engenharia Civil  
Universidade Federal de Santa Catarina

### **CARACTERIZAÇÃO ACÚSTICA DAS SALAS DO CURSO DE MÚSICA DA UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA EM FLORIANÓPOLIS**

Autora: Ana Carolina Mendonça Mansur

Orientador: Erasmo Felipe Vergara

Data e local da apresentação: Florianópolis, 28 junho de 2016.

Há anos questiona-se a qualidade das salas de aula destinadas ao curso de música da Universidade do Estado de Santa Catarina. Embora a insatisfação afete a maioria dos usuários, não há estudos que comprovem o quão boas ou ruins tais salas se apresentam.

Com o intuito de caracterizar acusticamente os recintos do Departamento de Música daquela universidade, iniciaram-se os estudos e medições em prol dessa finalidade. Com a utilização de big balões, uma resposta impulsiva de cada estouro foi gerada. Esta resposta impulsiva pode ser traduzida como a pressão acústica entre os pontos de excitação e captação.

Parâmetros como tempo de reverberação, tempo de decaimento inicial, clareza, definição e índice de transmissão da fala foram obtidos, analisados e posteriormente comparados às sensações auditivas descritas pelos músicos através de questionários. Em alguns casos, houve valores dispersantes entre salas de volumes parecidos, principalmente para as baixas frequências (125 a 500 Hz). Sendo assim, outra abordagem foi levada em consideração: os modos acústicos, mais especificamente os modos axiais.

No geral, pode-se dizer que as salas apresentam-se um tanto quanto reverberantes, necessitando de mudanças no interior das mesmas em prol da qualidade acústica para que o músico possa desenvolver seu trabalho. Este trabalho caracteriza 17 salas e o auditório do departamento de Música. Cabe ressaltar que as medições foram feitas considerando os recintos como ambientes isolados; ou seja, sem a interferência de uma sala em relação à outra.

Palavras-chave: acústica de salas, acústica musical, qualidade acústica, resposta impulso.

## **ABSTRACT**

Undergraduate thesis  
Civil Engineering Graduation  
Federal University of Santa Catarina

### **ACOUSTIC CHARACTERIZATION OF THE MUSIC ROOMS IN THE SANTA CATARINA STADE UNIVERSITY IN THE FLORIANÓPOLIS CAMPUS**

Authoress: Ana Carolina Mendonça Mansur

Advisor: Erasmo Felipe Vergara

Place and time of defense: Florianópolis, june 28 2016.

For years the quality of the classrooms aimed at music course at the Santa Catarina Stade University had been questioned. Although dissatisfaction affects most users, there are no studies to prove how good or bad these rooms really are.

In order to characterize the acoustics from the enclosures at the Music Department of UDESC, the studies and measurements began towards this purpose. With the use of Big Globes, an impulse response for each burst was generated. This impulse response could be translated as the sound pressure between the points of excitement and capture.

Parameters such as reverberation time, initial decay time, clarity, definition and speech transmission index were obtained, analysed and then compared with the auditory sensations described by the musicians through questionnaires. In some cases, there were disparities between rooms with similar volume, especially for low frequencies (125 to 500 Hz). Thus, another approach was considered: the acoustic modes, or the axial modes specifically.

Overall, one can say that the rooms themselves are somewhat reverberant, requiring changes within in order to improve the sound quality so that the musicians can perform their work at their best. This Undergraduate Thesis characterize the 17 rooms and the auditorium of the Music Department. It is important to note that the measurements were made considering each enclosure as an isolated environment; that is, without the interference of one room to the other.

Key words: room acoustics, musical acoustic, acoustic quality, impulse response.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Estrutura da pesquisa
- Figura 2 - Faixa de frequência de acordo com o instrumento
- Figura 3 – Efeito da acústica em salas de concerto
- Figura 4 – Comprimento de onda em função da frequência
- Figura 5 – Modos acústicos
- Figura 6 – TR ótimo para cada ambiente segundo finalidade e volume ( $m^3$ )
- Figura 7 – Vista externa do DMU da UDESC
- Figura 8 – Salas de aula do curso de música
- Figura 9 – Balão utilizado para obtenção da resposta impulsiva das salas
- Figura 10 – Calibração do equipamento a partir da conexão com dBbati
- Figura 11 - Equipamento solo utilizado instalado para medição dos parâmetros acústicos
- Figura 12- Gráficos obtidos a partir de um estouro
- Figura 13 – Gráficos sem correlação analisada
- Figura 14 – Gráficos com correlação analisada
- Figura 15 – Valores de TR em função da frequência para salas do grupo I
- Figura 16 – Valores de EDT em função da frequência para salas do grupo I
- Figura 17 – Valores de  $C_{80}$  em função da frequência para salas do grupo I
- Figura 18 - Valores de  $D_{50}$  em função da frequência para salas do grupo I
- Figura 19 - Valores de TR em função da frequência para salas do grupo II
- Figura 20 - Valores de EDT em função da frequência para salas do grupo II
- Figura 21 - Valores de  $C_{80}$  em função da frequência para salas do grupo II
- Figura 22 – Valores de  $D_{50}$  em função da frequência para salas do grupo II
- Figura 23 – Valores de TR em função da frequência para salas do grupo III
- Figura 24 -Valores de EDT em função da frequência para salas do grupo III
- Figura 25 - Valores de  $C_{80}$  em função da frequência para salas do grupo III

Figura 26 - Valores de D50 em função da frequência para salas do grupo III

Figura 27 – Auditória do DMU

Figura 28 – Valores de TR em função da frequência para salas do grupo IV

Figura 29 – Valores de EDT em função da frequência para salas do grupo IV

Figura 30 – Valores de C80 em função da frequência para salas do grupo IV

Figura 31 – Valores de D50 em função da frequência para salas do grupo IV

Figura 32 – Instrumentos musicais estudados pelos músicos participantes do questionário

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fatores audíveis versus fatores acústicos da sala

Tabela 2 - Frequências centrais e de corte padronizadas dos filtros de oitava

Tabela 3– Classificação das ondas sonoras em função da frequência

Tabela 4– TR médio recomendado para salas desocupadas e sem mobília

Tabela 5 – TR médio para salas de prática e ensino musical

Tabela 6 – Valores de referência para EDT

Tabela 7 - Valores de referência para  $C_{80}$

Tabela 8 - Valores de referência para STI

Tabela 9– Descrição das características geométricas das salas de música da UDESC

Tabela 10– Distribuição das áreas e materiais das salas

Tabela 11– Discriminação dos grupos segundo volume ( $m^3$ ) do recinto

Tabela 12 – Frequências naturais das salas referentes aos grupos I e II

Tabela 13 - Frequências naturais das salas referentes aos grupos III e IV

Tabela 14 – Classificação do STI para salas do DMU

Tabela 15 - Valores limites de ruído de acordo com a finalidade

Tabela 16 – Ruído de fundo para os recintos analisados

Tabela 17 – Comparação entre valores medidos e sensação dos usuários

Tabela 18–Sensação dos usuários em relação do auditório

## LISTA DE SIGLAS

C<sub>80</sub> – clareza

CEART – Centro de Artes

D<sub>50</sub> – Definição

DMU – Departamento de Música

EDT – tempo de decaimento inicial

LVA - Laboratório de Vibrações e Acústica

SOLO - sonômetro

STI – índice de transmissão da fala

TR – tempo de reverberação

UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\alpha$  - coeficiente de absorção sonora médio dos materiais

$\alpha_i$  - coeficiente de absorção sonora de cada material dada para cada banda de oitava

$\lambda$  - comprimento de onda

$\mu$  - volume de absorção do ar (em função da umidade e da frequência do som absorvido)

$c$  - velocidade do som (m/s)

$f$  - frequência (Hz) do modo p, q, r

H - altura

L - largura

p, q, r - incógnitas (números naturais)

$S_{total}$  - área total das superfícies revestidas de todos os materiais, em m<sup>2</sup>

$S_i$  - área da superfície coberta por cada material, em m<sup>2</sup>

V - Volume do recinto (m<sup>3</sup>)

W - comprimento

## SUMÁRIO

1.	Introdução.....	17
1.1.	Justificativa .....	18
1.2.	Objetivo geral.....	18
1.3.	Objetivos específicos.....	18
1.4.	Estrutura da pesquisa.....	19
2.	Revisão Bibliográfica.....	21
2.1.	Acústica.....	21
2.2.	O som segundo a física.....	23
2.2.1.	Comprimento de onda.....	24
2.2.2.	Resposta Impulsiva.....	25
2.2.3.	Modos Acústicos .....	25
2.2.4.	Filtros de 1/n oitava .....	27
2.3.	Acústica de salas.....	28
2.3.1.	Propagação do som em recintos fechados.....	28
2.3.2.	Influência da forma.....	29
2.4.	Critérios para avaliação acústica de uma sala .....	29
2.4.1.	Tempo de reverberação.....	29
2.4.2.	Tempo de decaimento inicial (EDT) .....	33
2.4.3.	Clareza (C80) .....	34
2.4.4.	Definição (D50).....	35
2.4.5.	Índice de transmissão da fala (STI) .....	35
3.	Materiais e métodos.....	37
3.1.	Descrição do edifício do curso de Música da UDESC .....	37
3.2.	Análise qualitativa das salas pelos músicos.....	40
3.3.	Ensaio experimentais.....	41
3.3.1.	Equipamentos e sistemas de medição.....	42
3.4.	Posicionamento dos equipamentos e processo de medição .....	43
3.5.	Metodologia para tratamento de dados.....	44
4.	Apresentação e análise dos resultados .....	47
4.1.	Ensaio Experimentais.....	47
4.1.1.	Resultados referentes ao Grupo I .....	47
4.1.2.	Resultados referentes ao Grupo II .....	50
4.1.3.	Resultados referentes ao Grupo III.....	52
4.1.4.	Resultados referentes ao Grupo IV.....	54
4.1.5.	Frequência natural das salas.....	57
4.1.6.	Índice de transmissão da fala .....	59
4.1.7.	Ruído de fundo .....	60
4.2.	Análise subjetiva .....	62
5.	Conclusão .....	65
5.1.	Sugestões para trabalhos futuros .....	66
6.	BIBLIOGRAFIA .....	67



# CAPÍTULO I

## 1. Introdução

A indústria da construção civil cresce a todo vapor e junto a ela existe o aliado imprescindível para o usuário nos dias de hoje – a beleza. No entanto, mais importante que beleza é a funcionalidade.

Mais do que agradar aos olhos, a construção deve trazer conforto e bem estar ao usuário. Por maior beleza e sofisticação que um recinto possa oferecer, nunca será o suficiente caso não esteja aliado a ele as condições mínimas de qualidade.

E é nesse contexto que surge a necessidade de se trabalhar com parâmetros até então deixados de lado pelo projetista. Para elaboração deste trabalho, será evidenciada a questão da acústica para ambientes fechados; mais especificadamente a acústica para salas de música.

A percepção sonora e as sensações que a mesma produz, traz efeitos de fundamental importância para a saúde psíquica do ser humano. O estudo do comportamento das ondas sonoras em recintos fechados surgiu em meados de 1900 quando o então físico norte-americano Wallace C. Sabine aprimorou os conceitos e pesquisas em prol da qualidade acústica do ambiente.

A qualidade acústica de uma sala de música está diretamente associada às diversas impressões sonoras que ocorrem no recinto (FIGUEIREDO, 2005). Pode-se afirmar que a percepção musical e, conseqüentemente, a qualidade da música tocada são diretamente afetadas quando o local destinado ao estudo da mesma não é apropriado. Segundo o renomado violoncelista Mstislav, uma boa sala é tão importante quanto um bom instrumento (SÁ, 2010).

Este trabalho terá como propósito o estudo e análise do condicionamento acústico das salas de ensino e prática musical dos cursos de graduação em música da Universidade do Estado de Santa Catarina, na cidade de Florianópolis. Através de ensaios experimentais verificar-se-á se os recintos atendem ou não as necessidades mínimas para que possam oferecer conforto e viabilidade ao músico. Sendo possível julgar o ambiente também pela avaliação subjetiva com os usuários.

Pode-se dizer que o som é o material de trabalho para o músico, sendo assim, a qualidade acústica do ambiente torna-se fator crucial para o desenvolvimento e

percepção musical. “A música não precisa fazer as pessoas pensarem. Basta fazê-las escutar” (DEBUSSY, 1900).

### 1.1. Justificativa

O desenvolvimento técnico de um músico não depende somente das horas de estudo ou do currículo de uma instituição de ensino, mas também da qualidade do meio para que possa aprimorar tais habilidades. Deve-se considerar que as salas destinadas ao estudo de música se tornam a extensão das vozes ou instrumento.

Ao se pensar no projeto levando-se em conta o propósito a que será desfrutado pelo usuário, o mesmo passará a ter bons resultados no que se refere à qualidade e se enquadrará no requisito de funcionalidade. Medidas para o controle de ruído e condições adequadas para acústica de salas com esta finalidade não custam caro. Estudos desenvolvidos nos EUA e Inglaterra relatam o valor adicional na ordem 3% do total de uma obra para implementação do projeto acústico (RIBEIRO, 2000).

De acordo com Sloboda (2000), ambientes de ensino projetados especificadamente para o estudo musical, contribuem diretamente para a evolução das habilidades do artista. Altos níveis técnicos para execução das peças necessitam de treino contínuo. Quando as condições do local de ensaio são adequadas, a evolução tende a acontecer.

### 1.2. Objetivo geral

Caracterizar acusticamente as salas destinadas ao curso de música na Universidade do Estado de Santa Catarina em Florianópolis.

### 1.3. Objetivos específicos

A partir de medições experimentais realizados nas salas do departamento de música, serão analisados critérios de qualidade, energia e inteligibilidade da fala. Para o primeiro critério, os parâmetros acústicos dizem respeito ao tempo de reverberação (TR) e tempo de decaimento inicial (EDT). No que diz respeito à energia, tratar-se-á da definição (D50) e da clareza (C80). Por último, o índice de transmissão da fala (STI).

Através da aplicação de questionário aos alunos e usuários das salas de música, serão avaliadas subjetivamente as melhores e piores salas para a performance musical. Posteriormente, será elaborado um comparativo de qualidade entre os recintos, além de verificar se os aspectos medidos conferem com as sensações provocadas aos alunos.

#### 1.4. Estrutura da pesquisa

Para cumprir com os objetivos apresentados, este trabalho foi dividido em etapas. Foram obtidas inicialmente as dimensões das salas de ensino, além do levantamento de todos os materiais construtivos e decorativos presentes no local. Com a autorização da chefia do departamento de música da UDESC, foram realizadas as medições acústicas para obtenção dos parâmetros de interesse – TR, EDT, C80, D50, STI e ruído de fundo.

Juntamente com os questionários aplicados aos estudantes e professores do curso, os parâmetros acústicos medidos apresentaram resultados para caracterização dos recintos.

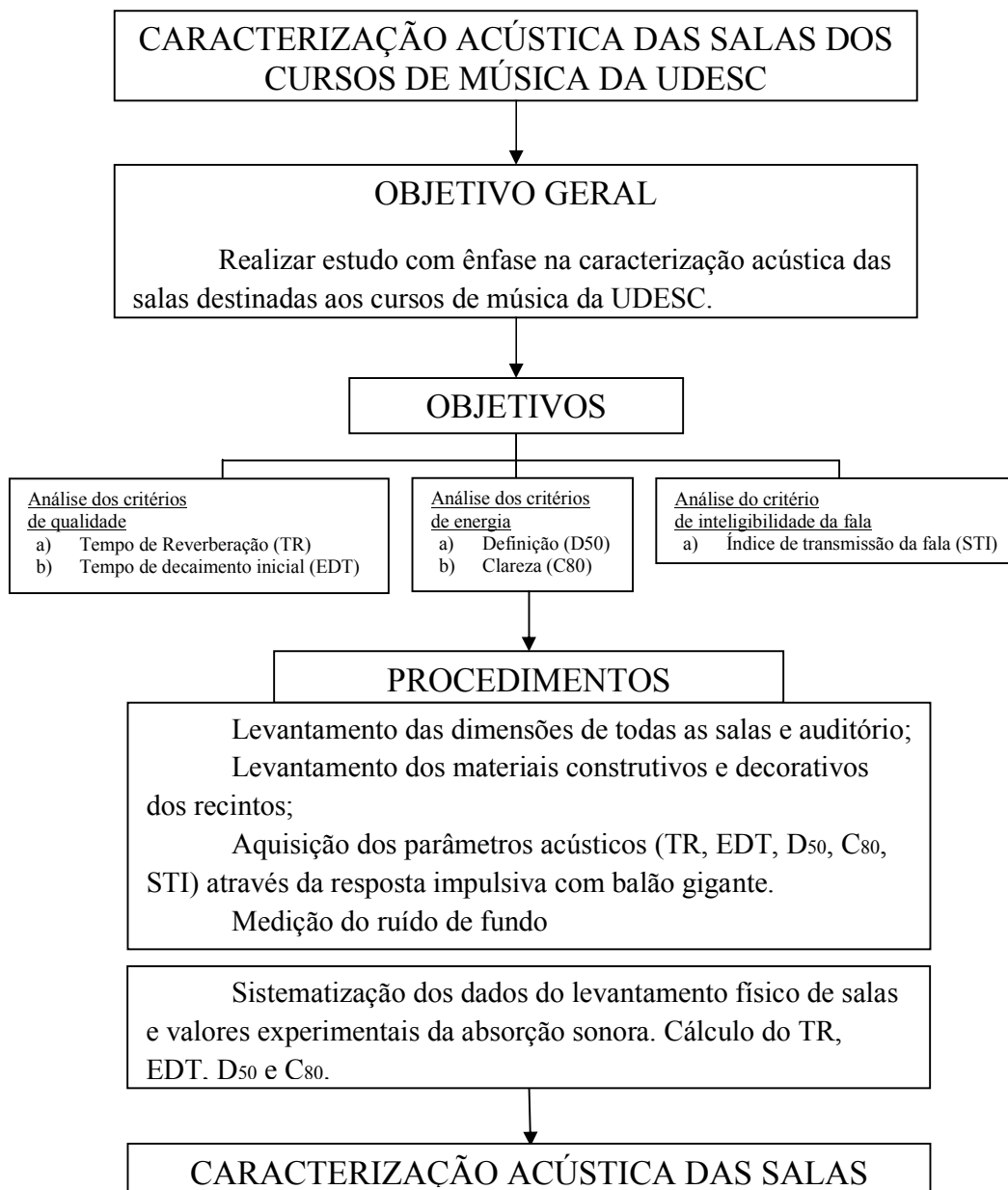


Figura 1. Estrutura da pesquisa

Fonte: Autora.

## CAPÍTULO II

### 2. Revisão Bibliográfica

#### 2.1. Acústica

A acústica é a ciência que estuda o comportamento do som. A música não pode ser pensada de forma separada à acústica das salas, visto que essa última é a condição fundamental para que a primeira possa se manifestar.

O estudo da acústica de salas tem como objetivo a análise do condicionamento acústico de ambientes fechados, ou seja, a propagação e qualidade do som emitido. A acústica para fins de qualidade musical vai além da resposta sonora ao ambiente arquitetônico; soma-se o estudo físico do som (GEERDES, 1991). Se comparadas as necessidades de uma sala de educação musical com aquelas destinadas a aulas convencionais, verifica-se que para a primeira os parâmetros como frequência e variedade dinâmica do som serão mais amplos. E ainda, nota-se a importância de um volume ideal para uma sala de ensaio (FREIHEIT, 2002). A qualidade do som gerado irá contribuir para o desempenho do instrumentista, pois dependendo daquilo que se ouve, mesmo que inconscientemente, poderá fazer com que o músico toque de maneira diferente.

Tabela 1. Fatores audíveis versus fatores acústicos da sala

<b>Fatores audíveis da música</b>	<b>Fatores acústicos da sala</b>
Preenchimento e clareza do tom	Tempo de reverberação
	Razão de intensidade do som direto para intensidade do som de reverberação
	Velocidade da música
Timbre	Riqueza de baixos
	Riqueza de agudos
	Distorção tonal
	Textura
	Difusão na sala
Grupo	Habilidade de um músico em ouvir um ao outro
Dinâmica de grupo	Vivacidade de fortissimo
	Relação do ruído de fundo e a vivacidade do pianíssimo

FONTE: Beranek (1962)

O instrumento tocado e a faixa de frequência que se enquadra são fatores cruciais para o estudo da acústica de salas de música, pois através deles a qualidade de um recinto

poderá ser caracterizada. Segundo Beranek, uma sala destinada ao estudo ou à performance de peças de música deve preservar parâmetros musicais como alcance, definição e timbre. A tabela 1 traz a associação entre os fatores acústicos da sala e os fatores audíveis gerados. Nota-se que um ambiente propício ao estudo da música vai além do retorno que um músico tem dele mesmo, mas também do que cada instrumento emite e proporciona dentro de um conjunto.

A Figura 2 traz os intervalos nos quais os instrumentos musicais se enquadram. É possível observar que a sensação dos músicos pode variar de acordo com o instrumento que estuda. A acústica para fins musicais vai além do tratamento de determinado recinto, trata-se da análise do comportamento de um amplo intervalo de frequências. O recinto onde a música se propaga é a extensão do músico e do seu instrumento. Um ambiente inadequado para esta finalidade afetará não somente a percepção do usuário, como também o desenvolvimento do mesmo.

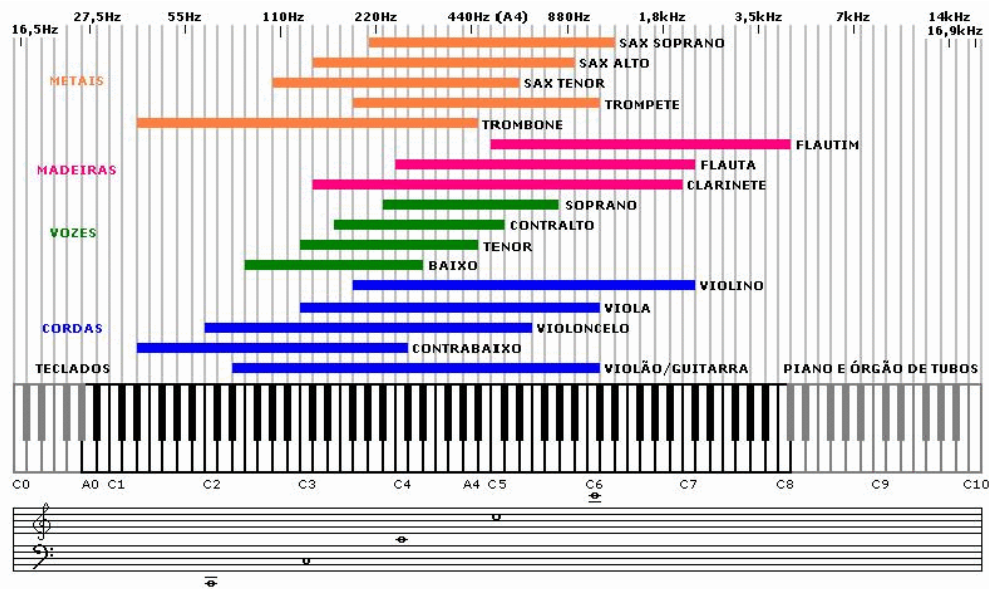


Figura 2. Faixa de frequência de acordo com o instrumento

Fonte: Google imagens

Ao se estudar a acústica de ambientes destinados à execução de música, é relevante ressaltar que grandes salas de concerto e salas de prática musical apresentam características diferentes. Embora as duas tenham a necessidade de oferecer condições acústicas adequadas, elas se tornam diferentes pelo uso. Segundo Wolfgang e Völker (1993), a sala de prática oferece condições melhores de percepção do instrumento particular, ao passo que as de concerto trazem a totalidade emitida por toda uma orquestra, por exemplo.

A condição sonora proporcionada por um ambiente acarreta em diferentes interpretações daquilo que é escutado. Através de pesquisas desenvolvidas por Beranek, as preferências entre músicos experientes se moldam de acordo com o estilo musical – peça tocada - em relação ao volume do recinto. Muitos deles afirmam que a execução de peças como concertos de Bach tornam-se melhores em salas pequenas, cujo tempo de reverberação se apresentam de certa forma menores. Em contrapartida, peças como Toccata e Fuga do mesmo compositor, se tornam melhores interpretadas quando executadas em ambientes com longo tempo de reverberação. Tal afirmativa pode ser justificada pelo fato do tempo de reverberação elevado contribuir para que as pausas sejam preenchidas pelos acordes anteriormente tocados. O tempo de reverberação reduzido neste caso faria com que a peça apresentasse longos intervalos de pausa, descaracterizando as características fundamentais da peça.

## 2.2. O som segundo a física

A partir da vibração de um corpo, é possível definir som como toda onda mecânica ou vibração que é passível de ter detectado pelo ouvido humano (CARVALHO, 2010).

Assim como a qualidade sonora de um recinto é crucial para um músico, podemos afirmar sua relevância na vida de qualquer pessoa. O som não interfere apenas na perturbação física, mas também nos efeitos psicológicos a partir das sensações que proporcionam.

É necessário um meio para que o som se propague, ou seja, não é possível que este se propague no vácuo. Para um campo livre, onde as superfícies refletoras estão muito distantes umas das outras ou até mesmo não existem, o som passa a ser influenciado também por fatores particulares do ambiente para determinado período, tais como temperatura, umidade e vento. BARRON (1978) afirma, ainda assim, que tais fenômenos naturais não afetam significativamente a acústica para distâncias na ordem de 50m.

O som produzido a partir do toque de um instrumento ou da voz de um cantor será diretamente influenciado pelo ambiente onde se propaga. Parte da energia sonora produzida será refletida, enquanto outra parte será absorvida e transformada em calor. Uma última parcela desta energia sonora, ainda, será transmitida através do meio adjacente.

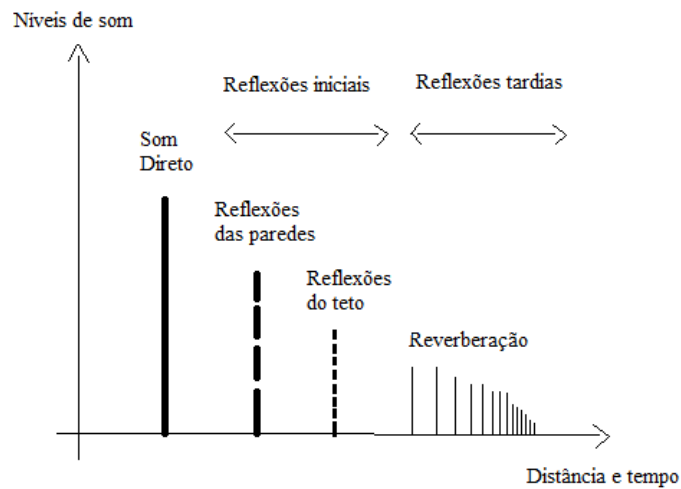


Figura 3. Efeito da acústica em salas de concerto  
 Fonte: DAMMERUD (2006)

O primeiro som que chega ao receptor é chamado de som direto. É a onda primária que percorre o recinto a partir da fonte. As primeiras reflexões sofridas no ambiente devido ao contato com as paredes, piso e teto constituirão as ondas secundárias. Estas por sua vez sofrerão muitas e muitas reflexões e a partir de então atuarão em conjunto com o som reverberante do recinto. O som preencherá a sala em todas as direções.

O som é afetado pelas superfícies de contorno, pelos objetos e respectivos coeficientes de absorção destes. Quando a onda sonora se propaga dentro de um recinto fechado podem ocorrer os fenômenos de reflexão, absorção, refração e difração.

### 2.2.1. Comprimento de onda

O comprimento de onda ( $\lambda$ ) pode ser definido como a distância percorrida por uma onda até completar um ciclo de vibração. Pode-se definir frequência como a razão existente entre a quantidade de ciclos por segundos. Cabe, ainda, definir período como o tempo que um dado evento leva para se repetir.

Na acústica as dimensões dos objetos estão diretamente relacionadas com o tamanho do comprimento de onda incidente.



A Figura 4 traz a representação simplificada das teclas de um piano. Percebe-se que à esquerda são as teclas cujas notas musicais representam as menores frequências, ou seja, sons mais graves e conseqüentemente com maiores comprimentos de onda. Em contrapartida, à medida que as teclas avançam para a direita, tem-se o conjunto das frequências – notas - mais agudas; menores comprimentos de onda.

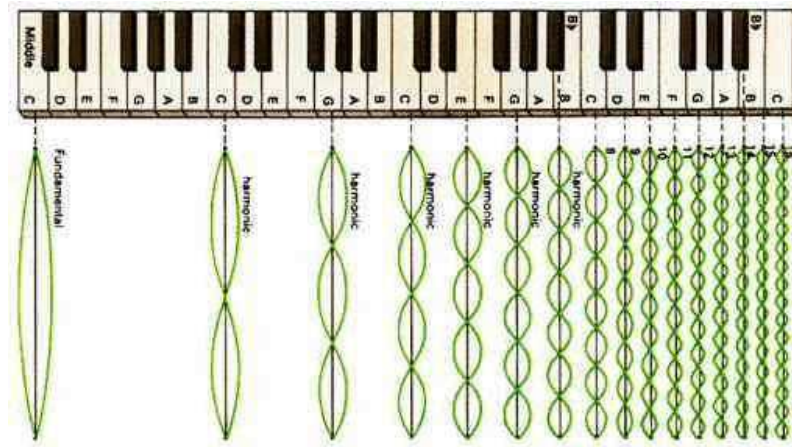


Figura 4. Comprimentos de onda em função da frequência  
Fonte: Google imagens

### 2.2.2. Resposta Impulsiva

A resposta impulsiva pode ser definida como a pressão sonora entre os pontos de excitação e captação. É medida através de uma fonte sonora gerada por um impulso, sendo o tiro proveniente de uma pistola, um bom exemplo. Nesta pesquisa, o método utilizado para geração de resposta impulsiva deu-se através do estouro de big balões.

### 2.2.3. Modos Acústicos

Este modelo traz como resultado a obtenção das frequências naturais em ambientes com forma de paralelepípedo. Levando-se em consideração que o som emitido da fonte pode propagar-se de forma axial, tangencial e oblíqua, é possível encontrar as frequências para as quais o material entra em ressonância.

A ressonância pode ser explicada como valores que se coincidem para a frequência de oscilação natural de um corpo com a oscilação da fonte sonora. Quando isto acontece, a amplitude de oscilação do determinado corpo atinge valores elevados, visto que a fonte acaba cedendo energia ao corpo.

O modo axial envolve apenas duas paredes opostas paralelas, enquanto o modo tangencial envolve quatro e o modo oblíquo envolve seis (Figura 5).

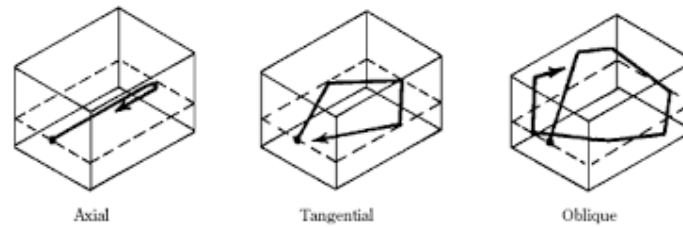


Figura 5. Modos acústicos  
Fonte: Google imagens

Os modos acústicos, em particular o modo axial, serão uma ferramenta importante para explicar no Capítulo IV os resultados elevados e fora dos padrões para alguns parâmetros em determinadas frequência  $s$ ; principalmente a 125 e 250 Hz. Os valores de frequência natural das salas analisadas foram obtidos através da Equação 1.

$$f = \frac{c}{2} \times \sqrt{\left[\frac{p}{L}\right]^2 + \left[\frac{q}{W}\right]^2 + \left[\frac{r}{H}\right]^2} \quad \text{Equação 1}$$

Onde,

$f$  – frequência (Hz) do modo  $p, q, r$

$c$  – velocidade do som (m/s)

$p, q, r$  - números naturais

$L$ – largura

$W$  – comprimento

$H$  – altura

Cabe ressaltar que os modos acústicos apenas são possíveis quando os valores de  $p, q$  e  $r$  pertencem aos números naturais – condição esta que cria as ondas estacionárias. Os modos axiais, modos calculados para este trabalho, são obtidos com dois elementos ( $p, q, r$ ) iguais a zero e o terceiro diferente de zero. Para o cálculo dos modos tangenciais, basta um dos três elementos ser igual a zero. Já para obtenção dos modos oblíquos, nenhum dos elementos deve ser igual a zero.

#### 2.2.4. Filtros de 1/n oitava

Os filtros podem ser definidos como medidores de níveis sonoros, uma vez que fornecem o nível de pressão sonora total de um determinado som. Como as salas analisadas têm por finalidade o desenvolvimento de músicos dos mais variados instrumentos – variadas frequências - a análise por espectro sonoro torna-se fundamental.

Tabela 2. Frequências centrais e de corte padronizadas dos filtros de oitava

Oitava		
Limite inferior (Hz)	Frequencia central (Hz)	Limite superior (Hz)
88	125	177
177	250	355
355	500	710
710	1000	1.420
1.420	2000	2.840
2.840	4000	5.680
5.680	8000	11.360

Fonte: Bistafa, 2000.

Os parâmetros analisados nessa pesquisa, tais como TR e EDT, apresentam resultados por frequência. No entanto, o valor obtido é um número único para a faixa de frequência que o medidor pode captar. Sendo assim, não se consegue analisar como a energia sonora se distribui.

A tabela 2 traz os valores das frequências analisadas nesta pesquisa, 125 a 8000 Hz, que são ditas como frequências centrais. Com o intuito de analisar como a energia se distribui e não ficar presa a um único valor determinada frequência, os filtros trazem os limites inferiores e superiores. Sendo assim, ampliam a gama de resultado e torna-se mais fácil a explicação de picos de energia que algumas salas apresentam principalmente às baixas frequências (125 a 500 Hz).

No capítulo referente aos resultados, será explicado com ênfase o uso dos filtros para análise, uma vez que a frequência de oscilação natural das salas coincidiu em algumas vezes com a oscilação da fonte sonora.

### 2.3. Acústica de salas

Quando o recinto em questão tem por finalidade o ensino de música, a reverberação é um dos parâmetros fundamentais para análise. A reverberação estará associada diretamente ao volume da sala, como também ao revestimento da mesma e mobília presente. Como a música compreende toda uma gama de instrumentos e também a voz, não podemos desconsiderar o parâmetro da inteligibilidade da fala.

#### 2.3.1. Propagação do som em recintos fechados

Segundo Carvalho, toda vibração produzida a partir de um corpo vibrante é denominada som. Para caracterizarmos o mesmo, existem algumas qualidades a serem consideradas, tais como: altura, timbre e intensidade sonora.

Para exemplificar o que vem a ser a altura de um som, utilizemos dois instrumentos musicais - o contrabaixo e o violino. O contrabaixo possui som grave, o que está associado diretamente à extensão do seu braço. Por ser bem maior que do violino, o contrabaixo produz ondas de comprimentos maiores, o que está diretamente ligado também à frequência do som. O violino, menor comprimento de braço, possui ondas com menores comprimentos, que por sua vez vibram muito mais e produzem sons agudos.

Tabela 3. Classificação das ondas sonoras em função da frequência

Onda sonora	Frequência	Percepção
Infrassons	Abaixo de 20 Hz	Não perceptíveis ao ouvido humano
Baixas frequências	20 a 200 Hz	Sons graves
Médias frequências	200 a 2.000 Hz	Sons médios
Altas frequências	2.000 a 20.000 Hz	Sons agudos
Ultrassons	Acima de 20.000 Hz	Não perceptíveis ao ouvido humano

Fonte. Régio Paniago Carvalho (2010)

O timbre pode ser definido como a possibilidade de diferenciar os mais variados sons. Como exemplo, tem-se uma banda ou uma orquestra. A diferenciação entre o som produzido por uma bateria, por uma guitarra e pela voz de um cantor é o que se pode chamar de timbre; caracterizando, assim, cada instrumento.

Já a intensidade pode-se definir coloquialmente como aquilo que se associa ao volume.

A Tabela 3 traz informações referentes às diferentes percepções do ser humano frente às variações de frequência. Uma nota musical nada mais é do que uma frequência. O ser

humano tem dificuldade em diferenciar e captar os sons das baixas frequências. É possível notar com muito mais facilidade as notas emitidas por uma guitarra do que por um baixo elétrico, por exemplo.

### 2.3.2. Influência da forma

A forma da sala é um critério muito importante para a caracterização acústica da mesma, visto que os sons podem ser refletidos e absorvidos quando chegam a sua superfície. A reflexão ou absorção dependerão da composição e dos materiais absorventes existentes ou não (GEERDES, 1991).

Recintos em forma retangular, com paredes paralelas na direção da largura e paralelas também na direção do comprimento, não são as melhores alternativas, visto que este tipo de forma promove reflexões laterais, além de promover baixos tempos para o som refletido. Salas muito irregulares devem também serem evitadas. Uma boa alternativa é uma leve modificação da estrutura retangular de paredes paralelas.

Geerdes (1991) afirma que além das formas da sala, deve-se levar em consideração o volume. Uma sala cuidadosamente projetada, verificando-se volume e levando-se em consideração as necessidades acústicas, pode ser destinada ao ensaio de canto e instrumental. Já as mesmas condições não são atendidas para uma sala de concerto, por exemplo. Parâmetros como clareza tornam-se essenciais para recintos de estudo.

Salas quadradas, hexagonais e octogonais devem ser evitadas quando a finalidade trata-se de música. Em recintos desses formatos, as notas emitidas possuirão amplitudes diferentes, assim não produzem um som equilibrado e tendem a serem ressonantes. O ideal é a distribuição da intensidade de maneira mais uniforme possível nos modos da sala em questão.

## 2.4. Crítérios para avaliação acústica de uma sala

### 2.4.1. Tempo de reverberação

Considerando-se um recinto fechado, o tempo de reverberação é o tempo que o som leva para cair 60 dB após cessar fonte sonora. Pode ser entendido também como o intervalo de tempo que o som gerado leva para tornar-se inaudível. As salas de concerto mais famosas apresentam tempo de reverberação entre 1,8 e 2,0 segundos; o que implica em médias frequências - entre 350 e 1400 Hz (BERANEK, 1962).

A partir de estudos desenvolvidos pelo físico norte-americano Wallace Sabine, considera-se para o cálculo do RT a equação dada por:

$$RT = 0,161 \times \frac{V}{A+4 \times \mu \times V} \times s \quad \text{Equação 2}$$

$$A = \sum \alpha_i \times S_i \quad \text{Equação 3}$$

Onde,

V: Volume do recinto (m<sup>3</sup>)

$\alpha_i$ : coeficiente de absorção sonora de cada material dada para cada banda de oitava

$S_i$ : área da superfície coberta por cada material, em m<sup>2</sup>

$\mu$ : volume de absorção do ar (em função da umidade e da frequência do som absorvido)

Cabe ressaltar que a equação de Sabine apresenta resultados muito satisfatórios para ambientes com formas regulares e tempos de reverberação elevados. Se comparado com as demais equações desenvolvidas para este fim, os resultados obtidos através de Sabine não são muito precisos. Sendo assim, Eyring desenvolveu uma equação para recintos com altos coeficientes de absorção e menos reverberantes.

$$RT = 0,161 \times \frac{V}{4 \times \mu \times V - S_{total} \times \ln(1 - \bar{\alpha})} \times s \quad \text{Equação 4}$$

$$S_{total} = \sum_{i=1}^n S_i \quad \text{Equação 5}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i \times S_i}{S_{total}} \quad \text{Equação 6}$$

Onde,

V: Volume do recinto ( $m^3$ )

$\alpha_i$ : coeficiente de absorção sonora de cada material dada para cada banda de oitava

a: coeficiente de absorção sonora médio dos materiais

$S_{total}$ : área total das superfícies revestidas de todos os materiais, em  $m^2$

$S_i$ : área da superfície coberta por cada material, em  $m^2$

$\mu$ : volume de absorção do ar (em função da umidade e da frequência do som absorvido)

Bistafa (2005) afirma que o tempo de reverberação marca o início da acústica moderna. E, dos parâmetros referentes à qualidade sonora, é o único que atende simultaneamente os seguintes aspectos: possibilidade de ser calculado a partir das características construtivas das salas, mensurável para verificação, possibilita a verificação de características pertinentes à impressão subjetiva do recinto.

O volume de determinado recinto implicará na mudança do valor de TR. Em ambientes muito pequenos, mesmo que o tempo de reverberação seja julgado adequado, a sensação que proporcionará ao usuário é de desconforto, visto que o som será muito forte.

Segundo Beranek e Geerdes, em salas onde o tempo de reverberação é muito longo os sons das notas tocadas se misturam com as anteriores emitindo algo muito confuso e de difícil compreensão. Por outro lado, se o TR for muito curto, as notas soarão muito isoladas umas das outras.

A bibliografia traz uma adequação do TR para a prática e ensino da música. Em salas de pequeno volume, tal valor deve ser menor que 0,8; para salas de prática em conjunto aconselha-se valores entre 0,6 e 1,2s; enquanto que para salas com finalidade de performance musical e recitais tais valores ficam no intervalo compreendido entre 1,0 e 1,5s (BB93, 2003).

Tabela 4. Tempos de reverberação médios recomendados para salas desocupadas e sem mobília

Sala de prática e ensino de instrumento e canto	Área (m <sup>2</sup> )	Altura (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	TR[s]
Sala de teoria musical	50 - 70	2,4 - 3,0	120 - 210	0,4 - 0,8
Salas de prática de conjunto	16 - 50	2,4 - 3,1	38 - 150	0,5 - 1,0
Salas para recital	50 - 100	3,0 - 4,0	150 - 400	1,0 - 1,5
Salas para ensino individual	6,0 - 10	2,4 - 3,0	14 - 30	0,3 - 0,6

Fonte: Osaki e Schmid (2009)

A partir da análise da Tabela 4 é possível verificar que o volume e a finalidade da sala são cruciais para a determinação de um TR adequado. Uma sala, mesmo que com o mesmo volume, não trará o mesmo resultado para a prática de um instrumento de corda e para o canto. Da mesma forma, a variação de frequência entre os instrumentos musicais trazem a tona as diferentes sensações proporcionadas ao usuário.

Tabela 5. Tempos de reverberação médios para salas de prática e ensino musical

Referência	Prática/ensaio conjunto	Prática/ensaio individual	Ensino(teoria musical)	Frequência (Hz)
Lane e Mikeska (1955)	-	0,4 a 0,7 s	0,55 a 0,8 s	100
Karsai (1974)	-	0,8 s (105 m <sup>3</sup> )	-	125
		0,4 s (105 m <sup>3</sup> )		500
Lamberty (1980)	-	0,5 a 0,9 s (33-154 m <sup>3</sup> )	-	500
Nagata (1989)		0,3 a 0,5 s (100 m <sup>3</sup> )	-	125 - 4K
Cohen (1992)	0,3 a 0,5 s (30-40 m <sup>3</sup> )	-	-	125 - 4K
Teuber e Vöelker (1993)	0,2 a 0,6 s (30-200m <sup>3</sup> )	0,2 a 0,6 s (30-200 m <sup>3</sup> )	0,2 a 0,6 s (30-200 m <sup>3</sup> )	63 - 10K
ANSI S12.60-2002 (2002)	< 0,6 s (38-150 m <sup>3</sup> )	< 0,6 s (14-30 m <sup>3</sup> )	< 0,6 s (120-210 m <sup>3</sup> )	500 - 2K
DfES (2002)	0,5 a 1,0 s (38-150 m <sup>3</sup> )	0,3 a 0,6 s (14-30 m <sup>3</sup> )	0,4 a 0,8 s (120-210 m <sup>3</sup> )	500 - 2K
BB93 (2003)	0,6 a 1,2 s (38 a 150 m <sup>3</sup> )	< 0,8 s (14 a 30 m <sup>3</sup> )	< 1,0 s (120-210 m <sup>3</sup> )	500 - 2K
Lokki e Salmensaari (2007)	0,7 s (246 m <sup>3</sup> )	0,5 a 0,6 s (10-120 m <sup>3</sup> )	0,5 a 0,6 s (10-120 m <sup>3</sup> )	1K
Ryherd (2008)	0,8 a 1,0 s	-	0,4 a 0,5 s	1K

Fonte: VEGARA (2016)

Se comparados espaços com grandes volumes a outros menores, a percepção do usuário é que no maior há uma reverberação natural superior, afirmam FASOLD, SONNTAG e WINKLER (1987). Em contrapartida, se considerarmos os recintos voltados para uma determinada função, a dependência entre o tempo de reverberação considerado ótimo e o volume não serão tão grandes.



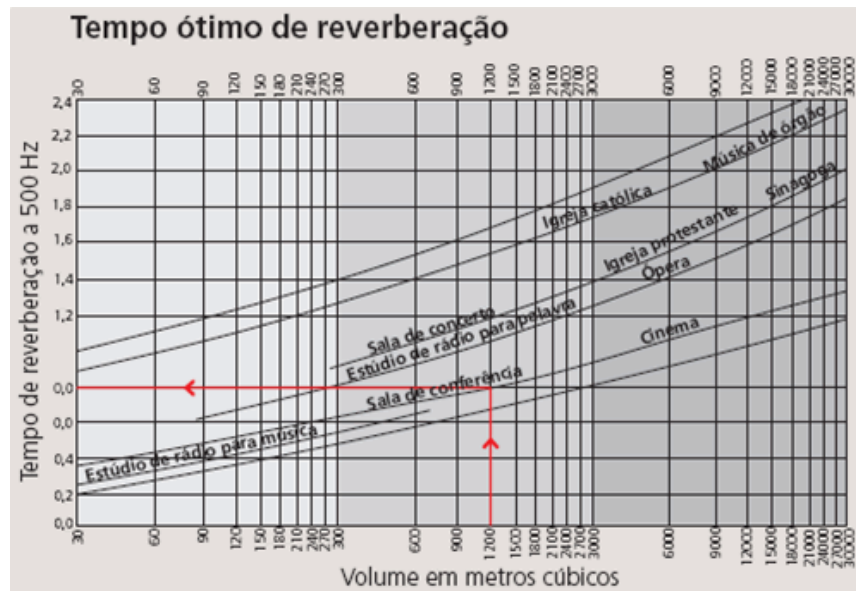


Figura 6 – TR ótimo para cada ambiente segundo finalidade e volume ( $m^3$ )

Fonte: Google imagens

A dependência entre o TR ótimo e o volume pode ser explicada pela relação entre área de absorção e volume. Entende-se que quanto maior o volume de determinado recinto, maior será também a área de absorção do mesmo. Sendo assim, para aumentar consideravelmente o TR de uma sala e manter a absorção média, é preciso aumentar muito o seu volume.

#### 2.4.2. Tempo de decaimento inicial (EDT)

Entende-se o tempo de decaimento inicial como aquele intervalo de tempo em que a energia gerada pela fonte sonora decresce o equivalente a 10 dB. Ao realizar uma análise comparativa entre o EDT e o tempo de reverberação, pode-se dizer que o primeiro está ligado à percepção da reverberação, enquanto o TR está associado às propriedades físicas da sala. É um parâmetro acústico expresso em milissegundos (ms) e descreve a percepção do ouvinte.

É importante que o tempo de reverberação e o tempo de decaimento inicial tenham o mesmo comportamento, pois desta maneira a sensação do usuário e o comportamento real da reverberação do recinto serão coincidentes.

Valores adequados para a avaliação do EDT não constam em norma, mas ainda assim existem estimativas para tal. A Tabela 6 traz valores referentes a pequenas salas para performance a audição musical, segunda pesquisas de adequação acústica desenvolvida por Mannis (2008).

Tabela 6. Valores de referência para EDT

<b>Autor</b>	<b>Valores de Referência de EDT (s)</b>	<b>Observação</b>
BERANEK (2004)	Entre 2,25 e 2,75	Sala mais favorecida
	Entre 1,4 e 2,0	Sala menos favorecida
PISANI (2001)	Entre 1,8 e 2,6	-

Fonte: GAIDA (2012), baseado em Mannis (2008)

### 2.4.3. Clareza ( $C_{80}$ )

De acordo com Bottazzini e Bertoli (2008), o parâmetro conhecido como clareza é imprescindível para a audição de música. Uma sala com grau adequado de clareza proporciona um esclarecimento e melhor percepção daquilo que é tocado, conferindo precisão e boa qualidade do som (FIGUEIREDO, 2005).

A clareza apresenta diferentes limites de intervalos de tempo quando associados à percepção musical e à fala. Quando se tratar de música seu intervalo é limitado a 80 ms; no caso da fala, a 50 ms.

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt} [\text{dB}] \quad \text{Equação 7}$$

Marros (2011) aponta que estudos realizados por Beranek (1996) tornaram possível o entendimento da definição e da clareza como os parâmetros aos quais a distinção entre sons emitidos pode ser obtida. Pode-se dizer que a clareza é a qualidade com que o ouvinte consegue distinguir os sons de uma música.

Tabela 7. Valores de referência de  $C_{80}$ 

<b>Situação ouvinte</b>	<b>Local de escuta</b>	<b>Valores de <math>C_{80}</math> (dB)</b>	<b>Situação do ambiente</b>	<b>Tipo de escuta</b>
<b>Regente</b> BERANEK (1996, 2004)	Ensaio	Entre +1 e +5	Sala vazia (mais seca)	Escuta técnica eficiente
	Platéia	Entre -1 e -4	Mais preenchimento do som	Escuta mais estética

Fonte: MANNIS (2008)

Além da velocidade com que a música é executada, existem outros quatro fatores que podem afetar a clareza de determinado recinto, afirma Beranek. O primeiro diz respeito ao ITD (initial time delay gap), definido como o tempo entre a chegada do som direto e o primeiro som refletido. Se este intervalo for curto, a clareza será maior; visto que a

reflexão adicionará força ao som direto. Sendo assim, obtêm-se o segundo fator, que trata da intensidade deste som direto. O terceiro afirma que este último não pode ser mascarado pelo som reverberante. Em outras palavras, o som reverberante deve ser igual ou menor que o som direto. E por último, não deve haver ecos na sala para que não comprometa a definição e, assim, a clareza do recinto em questão.

#### 2.4.4. Definição (D<sub>50</sub>)

A definição é um dos parâmetros que garante a percepção necessária para distinção entre os sons. O D<sub>50</sub> é utilizado para avaliar a qualidade dos recintos quando o foco se torna a palavra falada, uma vez que representa a relação entre o número de palavras ou sílabas faladas com aquelas entendidas pelo ouvinte (GAIDA, 2012).

A definição pode ser calculada de acordo com a equação:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{5 \text{ ms}} p^2(t) dt}{\int_5^{\infty} p^2(t) dt} 100\% \quad \text{Equação 8}$$

O valor pode variar entre 0 e 1, sendo que mais próximo de 1 melhor será a definição e, assim, melhor a inteligibilidade da fala.

Pode-se dizer, ainda, que a definição está em função do padrão de reflexões das superfícies de uma determinada sala, das dimensões da mesma bem como da distância entre o músico e o ouvinte.

#### 2.4.5. Índice de transmissão da fala (STI)

O índice de transmissão da fala é um critério de inteligibilidade da fala. Compreendida entre 500 e 5000 Hz, a palavra é composta por vogais e consoantes distribuídas ao longo do espectro audível.

A inteligibilidade existe quando, em um recinto, aquilo que é emitido torna-se facilmente interpretado em termos de audibilidade. Quando os parâmetros como tempo de reverberação e ruído de fundo são excessivos, a inteligibilidade é afetada e se torna prejudicada. Problemas de entendimento podem ser associados ao STI, tornando-se assim este último um bom indicativo da qualidade do som falado (MÜLLER, 2005).

Tabela 8. Valores de referência de STI

Valores de 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: Norma IEC 60268-16 (2003)

Quando o STI possui valor igual a 1 (um), pode-se afirmar que a inteligibilidade é excelente. Ao passo que para valores próximos ou iguais a zero, a fala torna-se incompreensível. A inteligibilidade pode ser afetada tanto pelo ruído de fundo quanto pela distância entre fonte sonora e ouvinte.

Long (2006) define a inteligibilidade da fala como o ruído produzido em banda de frequência a partir da vibração das cordas vocais. Quando um ambiente possui elevado tempo de reverberação e muito ruído de fundo, aquilo que fora emitido sofre alterações pelo ambiente até chegar ao ouvinte, diminuindo, assim, a inteligibilidade da fala.

## CAPÍTULO III

### 3. Materiais e métodos

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos adotados para realização da pesquisa. Com o intuito de caracterizar os parâmetros acústicos das salas do departamento de Música da UDESC, três etapas foram realizadas. Primeiramente fez-se o levantamento dos materiais de revestimento das salas, móveis e instrumentos presentes, bem como a análise das dimensões das mesmas. Nessa primeira etapa, ainda, aplicou-se um questionário (vide apêndice C) para alunos e professores deste departamento com o intuito de verificar a percepção sonora e opinião dos mesmos. A segunda etapa caracterizou-se pela medição acústica no local. Tal procedimento foi aplicado a partir de uma resposta impulsiva gerada pelo estouro de big balões. Com o uso do software dBbati e do equipamento sonômetro aliados aos estouros dos balões, parâmetros acústicos como tempo de reverberação, tempo de decaimento inicial, clareza, definição e índice de transmissão da fala foram obtidos. A última etapa tratou-se da avaliação dos dados e comparação com aquilo que se pode descrever como sensação dos músicos.

#### 3.1. Descrição do edifício do curso de Música da UDESC

O acesso ao departamento do curso de música é feito através da Avenida Madre Benvenuta, localizada no bairro Itacorubi, na cidade de Florianópolis. Este departamento faz parte do chamado CEART – Centro de Artes.

O Departamento de Música – DMU – é distribuído em dois pavimentos. No primeiro encontram-se a secretaria; auditório; salas 1, 2, 3 e 18. Já no pavimento superior, é possível encontrar as demais salas, separadas em salas de estudo coletivo (7, 8, 10, 12 a 16) e salas de estudo individuais (4 a 6, 9, 11 e 18).



Figura 7– Vista externa do DMU da UDESC

As salas destinadas ao estudo individual ou ensaio de pequenos grupos de músicos apresentam volume entre  $22,87 \text{ m}^3$  e  $47,79 \text{ m}^3$ . Já as salas de prática de grandes grupos como também salas de aula teórica apresentam volumes variando entre  $114,87 \text{ m}^3$  e  $175,6 \text{ m}^3$ . O maior volume dos recintos fechados avaliados nesta pesquisa diz respeito ao auditório do departamento. Com um total de  $221,36 \text{ m}^3$ , atende a recitais periódicos de alunos, bem como ensaios da orquestra de cordas desta universidade.



a)

b)

Figura 8 - Salas de aula do curso de música da UDESC: (a) sala de estudo individual, (b) sala de aula coletiva.

As salas apresentam plantas baixas em formato retangular, com superfícies paralelas a norte-sul e leste-oeste. Com exceção do auditório, cujo pé direito é variável na platéia, as demais salas apresentam valor igual a 3,30m.

Foi possível observar que o mobiliário presente nas salas coincide geralmente em função do volume dos recintos. Nas salas de estudo individuais, há em comum piano de armário e sua maioria, estantes de partitura, cortinas leves

para janelas, quadro branco, cadeiras de madeira com e sem estofamento e, em alguns casos, ainda, presença de armários de madeira e/ou metálicos. Nas salas de maior volume geralmente há mais de um piano, teclados eletrônicos, mesas de madeira com cadeiras metálicas ou de madeira para atender uma demanda entre 20 e 30 alunos, armários metálicos e de madeira, dentre outros. Cabe ressaltar que todas as salas analisadas possuem ar condicionado e aparelho móvel desumidificador de ambiente.

O auditório apresenta carpete na área de piso destinada à platéia e madeira na parte do palco. São mais de 15m<sup>2</sup> de janelas de vidro voltadas para área externa em divisa com a lanchonete e departamentos de moda e design. Apresenta pé direito variável em toda a extensão do público e ar condicionado que necessita ser desligado no momento das apresentações devido ao ruído excessivo proporcionado pelo mesmo.

Tabela 9. Descrição das características geométricas das salas da Música da UDESC

Sala	Dimensões* (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
DMU 01	3,19 x 4,54 x 3,30	14,48	47,79
DMU 02	4,44 x 7,84 x 3,30	34,81	114,87
DMU 03	5,80 x 9,10 x 3,30	52,78	174,17
DMU 04	2,12 x 3,28 x 3,30	6,95	22,95
DMU 05	2,12 x 3,28 x 3,30	6,95	22,95
DMU 06	2,12 x 3,28 x 3,30	6,95	22,95
DMU 07	3,24 x 4,40 x 3,30	14,26	47,04
DMU 08	3,24 x 3,24 x 3,30	10,5	34,64
DMU 09	2,14 x 3,22 x 3,30	6,89	22,74
DMU 10	3,30 x 4,32 x 3,30	14,26	47,04
DMU 11	2,28 x 5,72 x 3,30	13,04	43,04
DMU 12	6,78 x 7,86 x 3,30	53,29	175,6
DMU 13	6,78 x 7,86 x 3,30	53,29	175,6
DMU 14	4,50 x 7,83 x 3,30	35,24	116,28
DMU 15	4,50 x 7,83 x 3,30	35,24	116,28
DMU 16	4,50 x 7,83 x 3,30	35,24	116,28
DMU18	2,10 x 3,30 x 3,30	6,93	22,87
Auditório	7,80 x 8,60 x 3,30	67,08	221,36

As salas não apresentam materiais acústicos específicos de absorção sonora. Em sua totalidade, apresentam cortina em frente às janelas, que por sua vez não apresenta resultado significativo em termos de absorção sonora. Tais cortinas são de tecidos leves e finos na maioria, muitas vezes não sendo suficientes nem para ocultar luz solar. A

Tabela 10 traz valores de área referentes às janelas (todas de vidro) das salas analisadas. Um bom exemplo de problema é a sala 3 que praticamente toda lateral de uma das paredes é composta por janela de vidro, sendo que a mesma é voltada para o estacionamento da universidade. A sala 11, mesmo o vidro sendo voltado para a área interna do departamento, o isolamento é prejudicado em virtude da transferência de som desta mesma sala para as adjacentes via estrutural. Outro recinto que uma das laterais é composta praticamente por janelas de vidro é o auditório, conforme já mencionado.

Tabela 10. Distribuição das áreas e materiais das salas

Sala	Piso/Teto (m <sup>2</sup> )	Parede de alvenaria (m <sup>2</sup> )	Janela - vidro (m <sup>2</sup> )
DMU 01	14,48	43,97	4,96
DMU 02	34,81	73,68	5,47
DMU 03	52,78	85,2	11,25
DMU 04	6,95	31,31	2,25
DMU 05	6,95	31,31	2,25
DMU 06	6,95	31,31	2,25
DMU 07	14,26	43,63	4,9
DMU 08	10,5	38,38	2,49
DMU 09	6,89	31,02	2,47
DMU 10	14,26	43,34	5,07
DMU 11	13,04	25,31	17,34
DMU 12	53,29	87,15	7,59
DMU 13	53,29	87,15	7,59
DMU 14	35,24	73,90	5,59
DMU 15	35,24	73,9	5,59
DMU 16	35,24	73,9	5,59
DMU 18	13,86	31,3	2,45
Auditório	67,08	126,24	15,59

### 3.2. Análise qualitativa das salas pelos músicos

A maioria das construções geralmente não é projetada em função das atividades às quais serão desenvolvidas naquele local. Como toda estrutura em fase de cálculo estrutural deve atender à demanda a qual está sendo projetada, a preocupação com a finalidade da construção deveria ser imprescindível a todos os projetos arquitetônicos e de engenharia. Um prédio projetado para salas de escritório não será submetido ao mesmo carregamento de um depósito para maquinário, por exemplo. Uma estrutura cuja finalidade é alterada poderá



apresentar danos irreparáveis e riscos ao usuário. O mesmo deveria ser pensado no que diz respeito ao som – ele irá impactar, mesmo que indiretamente, no comportamento do usuário.

Com o intuito de levantar a opinião dos estudantes de música e dos professores, um questionário foi elaborado. É possível analisar que, mesmo para instrumentos de diferentes frequências, as salas conhecidas como boas ou ruins coincidem em sua maioria. O capítulo IV trará o resultado físico que poderá ser comparado à percepção dos usuários.

Foram 40 questionários respondidos na totalidade. Alunos e professores de instrumentos de sopro (tuba, trompete), voz, cordas (violino, viola, cello, contrabaixo, guitarra, violão) e piano. Cabe ressaltar que 40% dos questionários aplicados dizem respeito a alunos de piano, o que de certa forma, torna-se relevante para a pesquisa. O piano é um instrumento cuja faixa de frequência é uma das mais amplas dentre os instrumentos; variando de 16,5 Hz a 16,9 KHz. Com sons graves, médios e agudos, é possível fazer uma boa avaliação do condicionamento das salas em virtude da percepção do músico e das medidas físicas por meio das medições.

Os questionários foram disponibilizados no hall do departamento de música durante os meses de maio e junho de 2015. Já as medições acústicas foram realizadas durante o mês de fevereiro de 2016, em virtude da necessidade de ausência de aulas no local, bem como autorização da chefia de departamento. Além disso, foi necessário a instalação e estudo do programa dBbati, licença para uso do equipamento sonômetro e testes experimentais no Laboratório de Conforto do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFSC e no Laboratório de Vibrações e Acústica do Departamento de Engenharia Mecânica desta universidade.

### 3.3. Ensaio experimental

A resposta impulsiva das salas em estudo foi obtida através de medições acústicas de acordo com a norma ISO 3382 – 1: 2009. Levando-se em consideração o volume dos recintos, foram realizados mais ou menos pontos de medição, sendo que para cada ponto realizou-se três medições. Para salas de estudo individual com volumes entre 22,87 m<sup>3</sup> e 47,79 m<sup>3</sup>, apenas um ponto de

medição com duas repetições, totalizando três medições. Já para recintos como o auditório, cujo volume total é de 221,36 m<sup>3</sup>, foram realizados quatro pontos de medição, com três medidas para cada um.

### 3.3.1. Equipamentos e sistemas de medição

Para a realização das medições foram utilizados:

- Notebook de 32 bits, Windows 7;
- Programa dBati – software de processamento para acústica;
- Medidor de pressão sonora, SOLO, da 01dB, do Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC;
- Calibrador acústico, modelo CAL 21, fabricante 01dB;
- 145 big balões;
- Protetores auriculares do Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC.

O uso de balões de tamanho normal foi desconsiderado devido a erros de medição principalmente para baixas frequências (125-250 Hz). Os big balões utilizados são da marca Big Joy, cuja composição é: 97% látex centrifugado, 2% corante e 1% outros.



Figura 9 – Balão utilizado para obtenção da resposta impulsiva das salas

Em todas as salas aonde ia se iniciar uma nova medição era feita a calibração do equipamento SOLO. A calibração é necessária para que o aparelho utilizado esteja em condições adequadas para apresentar valores condizentes com a realidade a qual está inserido. O medidor de pressão sonora utilizado foi calibrado para 94 dB, na frequência de 1000 Hz, de acordo com instrução e selo presentes no mesmo.

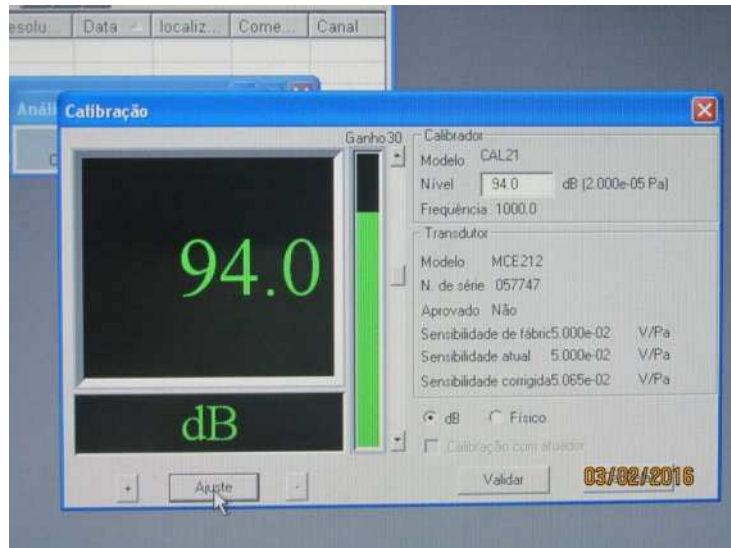


Figura 10 – Calibração do equipamento a partir da conexão com dBbati

#### 3.4. Posicionamento dos equipamentos e processo de medição

As posições de fonte e de estouro estão indicadas nas plantas baixas de cada recinto apresentado no Apêndice B deste trabalho. Como já dito anteriormente, de acordo com a norma técnica ISO 3382, foi considerado o critério do volume para quantidade de posições de microfones. Para salas com volume igual ou inferior a 28 m<sup>3</sup>, pelo menos uma posição foi realizada. Para salas até 110 m<sup>3</sup> de volume, pelo menos duas posições de microfones e, para volumes próximos ou superiores a 330 m<sup>3</sup>, pelo menos três posições. Cabe ressaltar que para cada posição do microfone, três estouros foram realizados para que posteriormente fosse obtida uma média e um desvio padrão. Em alguns casos, houve falha do programa ao captar a resposta impulsiva. Isso ocorre principalmente para as baixas frequências (125-250 Hz). No auditório, novas medições foram feitas até que todas as frequências adotadas para análise deste trabalho (125 a 8000 Hz) tivessem seus parâmetros acústicos obtidos.

As medições foram realizadas durante o mês de fevereiro de 2016, durante o recesso das atividades acadêmicas. Os materiais e objetos presentes nas salas foram mantidos durante as medições; sendo os aparelhos de ar condicionado e os desumidificadores desligados para não interferir na obtenção de dados. Durante as medições de todas as salas, sempre houve número máximo de duas pessoas no recinto – uma para estourar os balões e outra para dar início às medições pelo programa dBbati.



Figura 11. Equipamento solo instalado para medição dos parâmetros acústicos

As alturas de microfone e fonte empregadas foram de 1,2 e 1,5 m, respectivamente. As posições de microfone estiveram distante a pelo menos 1,0 m das paredes.

### 3.5. Metodologia para tratamento de dados

Supondo a análise do auditório, há quatro pontos de medição com três resultados para cada, totalizando 12 estouros de balão. Considerando que para cada estouro há resultado de todos os parâmetros analisados neste trabalho (TR, EDT, C80, D50 e STI), fez-se uma média de todos os resultados para cada critério de qualidade em função de cada frequência analisada.

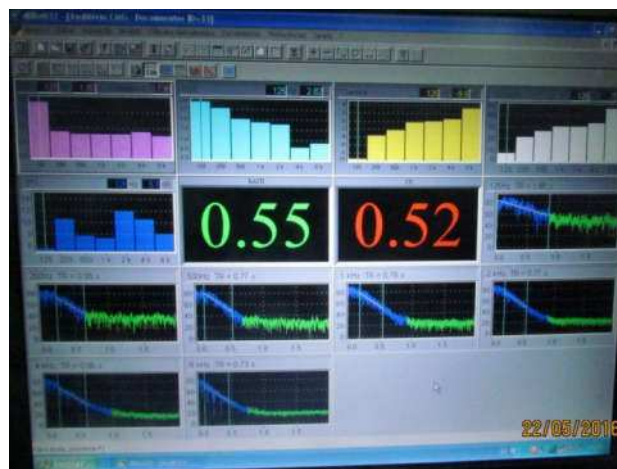


Figura 12. Gráficos obtidos a partir de um estouro

A Figura 12 traz o resultado de um estouro de balão para um determinado ponto. É possível visualizar cinco gráficos de barra, seguidos por dois valores numéricos e mais sete gráficos.

Os cinco primeiros gráficos dizem respeito ao TR, EDT, clareza, definição e STI, respectivamente. O primeiro valor numérico trata do RASTI (parâmetro não analisado neste trabalho) e o segundo do índice de transmissão da fala. Os sete gráficos seguintes representam as curvas de decaimento sonoro a partir do estouro do balão para cada frequência analisada – 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz.

A partir dos valores obtidos com o estouro, partiu-se para o chamado tratamento de dados. Tendo como exemplo o tratamento do TR para o auditório, para cada ponto e para cada repetição pertinente a ele, fez-se a correlação de cada frequência. Considerando que foram medidos quatro pontos do auditório e obtidas três medidas para cada, resultou em 12 medidas de TR para cada frequência. Ou seja, 12 medidas de TR para a frequência de 125 Hz, 12 medidas de TR para 250 Hz, 12 medidas de TR para 500 Hz e assim até os 8000 Hz analisados.

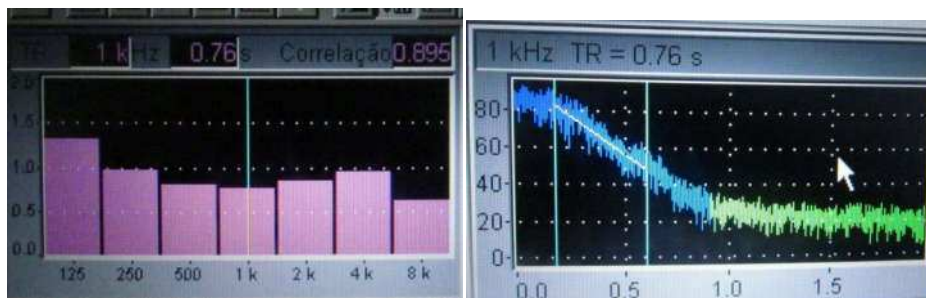


Figura 13. Gráficos sem correlação analisada

A Figura 13 traz uma forma visual de explicar a tratamento da correlação. A imagem da direita traz os valores de tempo de reverberação. Neste caso, é possível ver que a barra de ajuste se encontra na frequência de 1000 Hz (1k Hz). Ao lado, a figura do comportamento do som a partir da resposta impulsiva - estouro do balão. Uma correlação de 0,895 já é considerada boa, não necessitando repetir a medição deste ponto e até mesmo sem necessidade de ajuste nos gráficos. Mesmo assim, partiu-se para este último, pois quanto melhor a correlação (mais próximo de 1), mais confiáveis são os resultados.

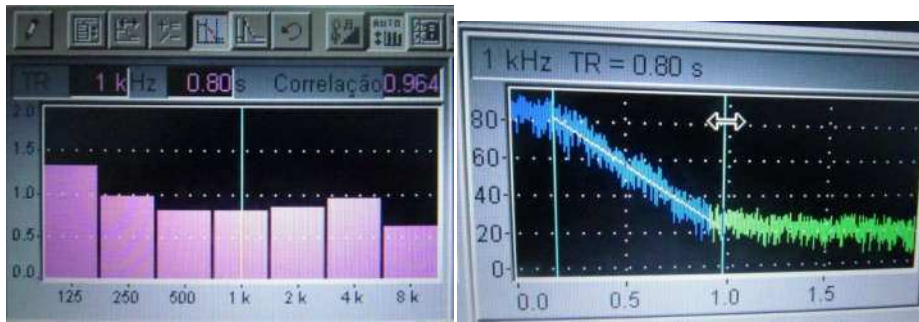


Figura 14. Gráficos com correlação analisada

Com uma correlação de 0,964 o ponto analisado traz resultados mais fiéis à realidade. Percebe-se também que a partir da correlação, mudam-se também os valores do TR. Com uma correlação anterior de 0,895 se obteve 0,76 s de TR; para a correlação de 0,964, 0,80 s.

## CAPÍTULO IV

### 4. Apresentação e análise dos resultados

#### 4.1. Ensaio Experimentais

Este capítulo trata da análise de dados a partir das medições realizadas nas salas de aula destinadas ao ensino e prática da música no departamento de música da UDESC. Os parâmetros analisados são tempo de reverberação, tempo de decaimento inicial, clareza, definição e índice de transmissão da fala. Como o número de recintos avaliados diz respeito a uma amostra considerável e em prol da facilidade de visualização dos gráficos, as salas foram divididas em quatro grupos; sempre em função do volume (m<sup>3</sup>).

Tabela 11. Discriminação dos grupos segundo volume (m<sup>3</sup>) dos recintos

<b>Grupo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Recintos</b>	<b>Valores min e max de volumes (m<sup>3</sup>)</b>
Grupo I	Individual/coletiva	Salas 4, 5, 6, 9 e 18	22,74 - 22,95
Grupo II	Individual/coletiva	Sala 1, 7, 8, 10 e 11	34,64 - 47,79
Grupo III	Grupal	Salas 2, 14, 15 e 16	114,87 - 116,28
Grupo IV	Grupal	Salas 3, 12, 13 e Auditório	174,17 - 221,36

#### 4.1.1. Resultados referentes ao Grupo I

As salas representadas pelo grupo I apresentam volumes praticamente iguais, como pode ser observado na Tabela 11. São destinadas ao estudo individual. Todas possuem piano vertical em seu interior, além de quadro branco, duas a três cadeiras metálicas com estofamento, uma a duas estantes de partituras e cortina de tecido leve em frente à janela de vidro. Para esta amostra de salas, a área de vidro equivalente está entre 2,25 e 2,50 m<sup>2</sup>. Com exceção da sala 18, todas se encontram no primeiro pavimento do prédio. A sala 18, localizada no térreo, adjacente à sala 1 e à escadaria que leva ao piso superior, é a única deste conjunto que possui mesa de escritório, aparelho e caixa de som. A presença de tais objetos pode justificar a absorção mais elevada em comparação às demais salas e, por isso, tempos de reverberação um pouco menores. Para as altas frequências, o TR pode ser considerado adequado para esta sala (ver Figura 15).

A partir da análise da Figura 15, observamos que de modo geral, se comparado à bibliografia e dados fornecidos pela Tabela 5, que estas salas são muito reverberantes. E, ainda, que a situação fica pior para as baixas frequências (abaixo de 500 Hz).

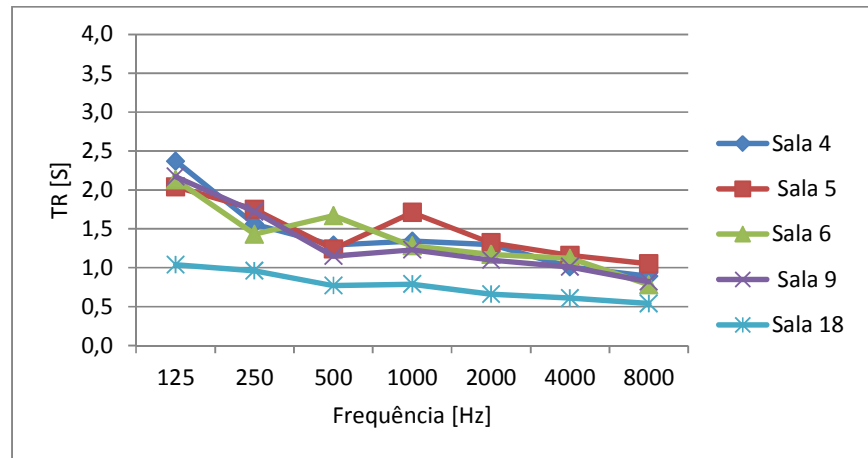


Figura 15. Valores de TR nas bandas de frequência de terço de oitava (125-8k Hz) para salas do grupo I

A percepção sonora e a reverberação real da sala para este grupo não são coincidentes. Percebe-se uma oscilação para os valores de EDT para diferentes frequências, enquanto que para o TR a tendência era a diminuição deste inversamente proporcional ao aumento da frequência.

Embora não existam normas específicas para determinação de valores adequados para tempo de decaimento inicial, podem-se levar em consideração os estudos de Beranek (2004) que considera valores de referência entre 2,25 e 2,75 segundos para uma sala desocupada.

A partir da Figura 16, percebe-se que nenhuma das salas em questão apresentaria uma percepção à reverberação adequada. A sala 18, em especial, é a que apresenta uma percepção menor de TR, em virtude da absorção um pouco mais elevada.



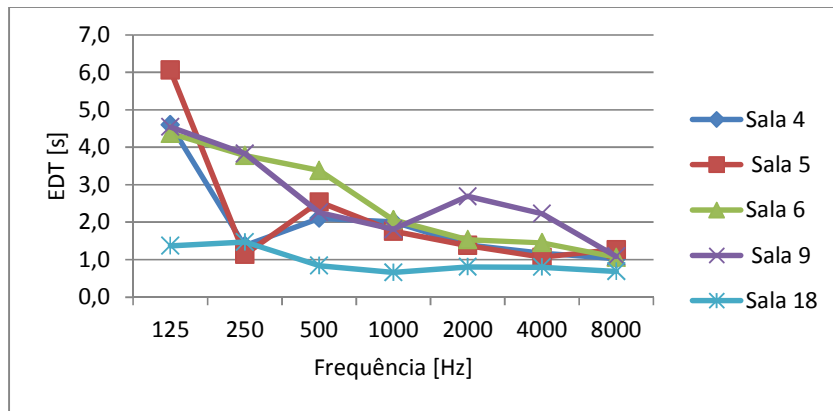


Figura16. Valores de tempo de EDT em bandas de frequência de terço de oitava (125-8k Hz) para salas do grupo I

Analisando o  $C_{80}$  referente a este grupo, é possível observar que para frequências abaixo de 250 Hz (com exceção da sala 18), o som não seria tão claro. Em termos de recinto propício para o ensaio de música, apenas a sala 18 se aproximaria para essa faixa de frequência. Já para uma audição, onde a ideia seria algo mais reverberante, nenhuma das salas seria indicada para tal situação, visto que o intervalo desejado de clareza estaria na ordem de - 4 a -1 dB (BERANEK).

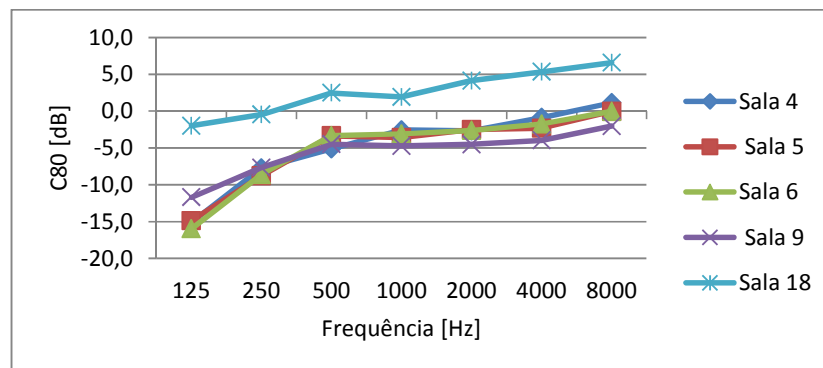


Figura 17. Valores  $C_{80}$  em bandas de frequência de terço de oitava (125-8k Hz) para salas do grupo I

A Figura 18 traz dados referentes à definição para a primeira amostragem de salas. Novamente a sala 18 destoa das demais. Com valores de  $D_{50}$  superiores a 50% para as frequências mais altas, isto confirma a ideia de que este recinto é um tanto quanto seco. Para as demais salas, principalmente as baixas e médias frequências (até 1000 Hz), pode-se dizer que apresentam característica reverberante.

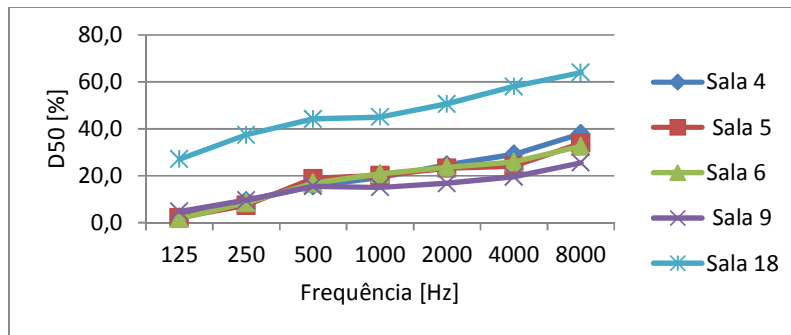


Figura 18. Valores de D50 nas bandas de frequência de terço de oitava (125-8k Hz) para salas do grupo I

#### 4.1.2. Resultados referentes ao Grupo II

De acordo com a Tabela 10, as salas nomeadas como grupo II apresentam volumes variando entre 34,64 e 47,79 m<sup>3</sup>. As salas 1 e 7 possuem dois pianos de cauda cada uma em seu interior; a sala 8 possui um piano de cauda e um de armário; a sala 10 apenas um piano de armário e a sala 11 não possui nenhum tipo de instrumento.

Com exceção da sala 8 para a frequência de 125 Hz, ambas tendem a apresentar valor de TR na ordem de 1 a 2 segundos para baixas frequências e caem para valores entre 1 e 0,5 s para frequências mais altas.

Sendo consideradas salas um pouco maiores do que as salas do grupo I e destinadas ao estudo de até três alunos, a absorção sonora, principalmente para as frequências mais baixas, poderia ser maior. O fato da sala 8 ter volume da ordem de 10m<sup>3</sup> inferior às demais para esta categoria, implica ao fato do tempo de reverberação ter que ser necessariamente menor, principalmente a 500 Hz (vide Figura 3 para tempo ótimo de reverberação).

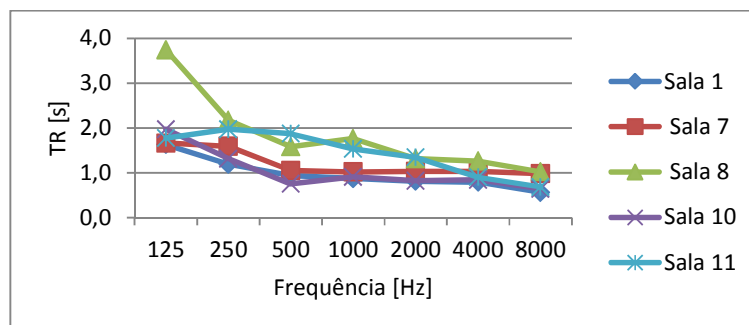


Figura 19. Valores de TR em função das frequências para salas do grupo II

Os valores de TR para frequências próximas a 125 e 500 Hz na sala 8 mostram-se um tanto quanto elevados em relação às demais salas. Isto será abordado na sessão referente à frequência natural das salas (modos acústicos).

O tempo de decaimento inicial pode ser analisado antes e depois dos 500 Hz. Para valores inferiores, há um acréscimo até 250 Hz seguido de um decréscimo até mais ou menos 500 Hz. Para médias e altas frequências (500 a 8000 Hz) os valores continuam praticamente constantes seguidos de uma sutil diminuição entre 4k e 8k Hz. Assim como para valores de TR, a sala 8 difere das demais para o parâmetro EDT. Principalmente o seu comportamento referente às baixas frequências (abaixo de 500 Hz).

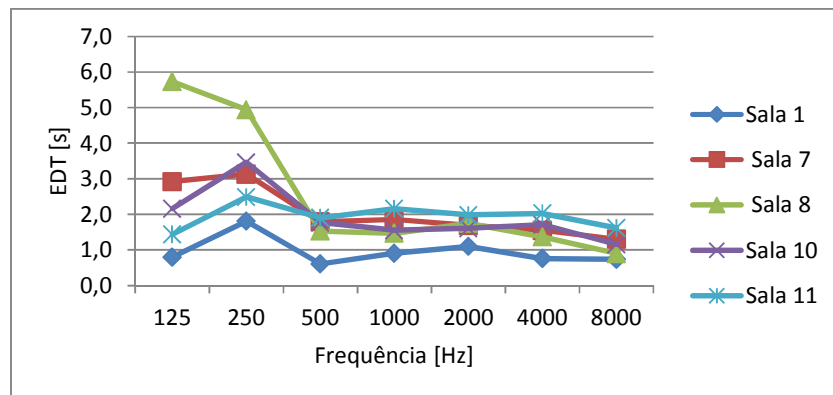


Figura 20. Valores de tempo de EDT em função das frequências para salas do grupo II

No que se refere à clareza, pode-se dizer que se apresentam nítidas para a música para frequências iguais e superiores a 500 Hz. Com exceção da sala 1, os demais recintos desse grupo não possuem nitidez para sons mais graves. Mais uma vez, cabe ressaltar que a acústica musical é um tanto quanto delicada, visto que para um instrumentista a sala pode apresentar-se nítida, enquanto que para outro isso não ocorrerá.

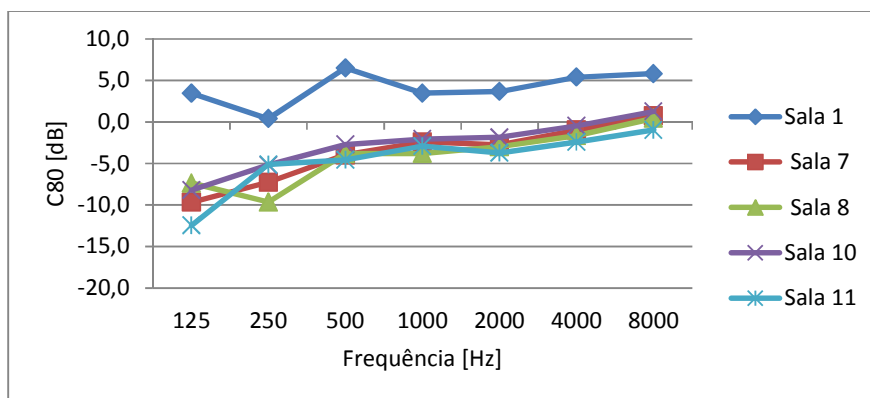


Figura 21. Valores de C80 em função das frequências para salas do grupo II

Para o C<sub>80</sub> e D<sub>50</sub> há uma divergência de valores da sala 1 em relação às demais salas do grupo II. Apresentando valores entre 42% e 65%, aproximadamente, mostra o cenário mais próximo à definição para esse conjunto. Embora, ainda assim, não apresente a melhor absorção que poderia.

De modo geral, as salas 7, 8, 10 e 11 apresentam pouca ou até mesmo nenhuma nitidez até 500 Hz. São salas não apropriadas para a fala e para o canto, principalmente, nas baixas e médias frequências.

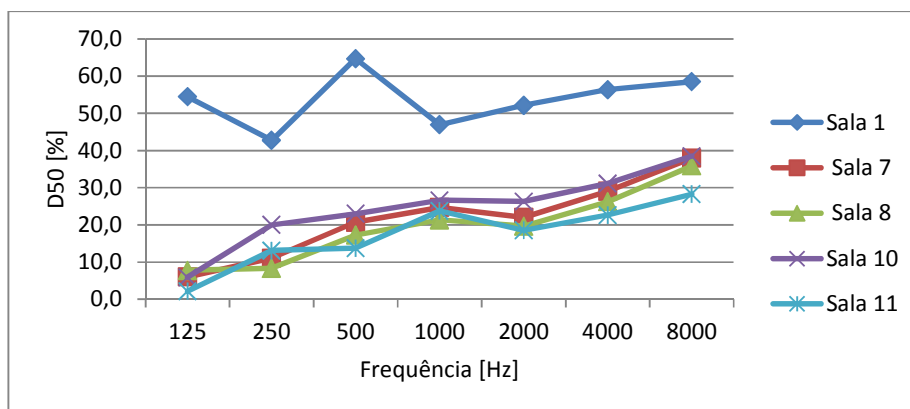


Figura 22. Valores de D50 em função das frequências para salas do grupo II

#### 4.1.3. Resultados referentes ao Grupo III

As salas que constituem este grupo possuem volume médio igual a 115,93 m<sup>3</sup>. A sala 2, situada no térreo, possui oito teclados Roland, um piano de cauda e um piano de armário. É uma sala utilizada para aulas em grupo práticas e teóricas. Em contrapartida as salas 14, 15 e 16, situadas no primeiro pavimento, apresentam piano de armário e cadeiras metálicas estofadas para aulas teóricas.

De acordo com a Figura 23 é possível verificar que os valores de TR decrescem entre 125 e 500 Hz. Posteriormente se mantém constante na ordem de 1s até 8000 Hz. Um violoncelista e um violinista podem ter sensações diferentes ao utilizar salas como estas, visto que para frequências abaixo de 500 Hz o recinto pode ser considerado muito reverberante.

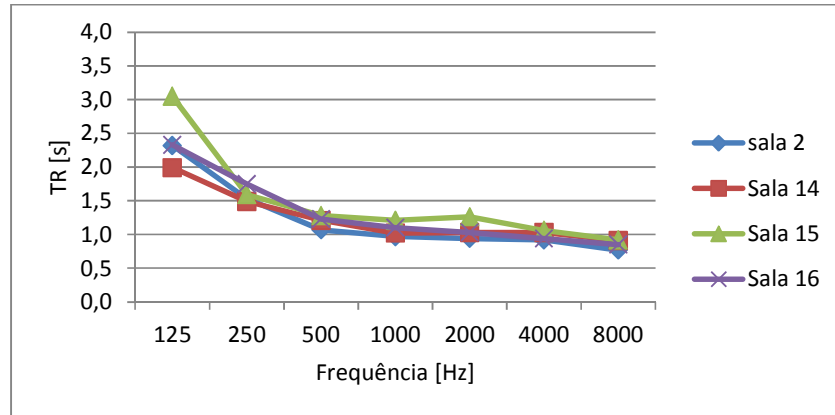


Figura 23. Valores de TR em função das frequências para salas do grupo III

Da mesma forma que se comporta o tempo de reverberação para esse conjunto de salas, o tempo de decaimento inicial, no geral, decresce à medida que se aumenta a frequência. Ocorre uma queda do EDT entre 125 e 500 Hz, seguido de uma sutil constância até 2000 Hz e um novo decréscimo até 8000 Hz.

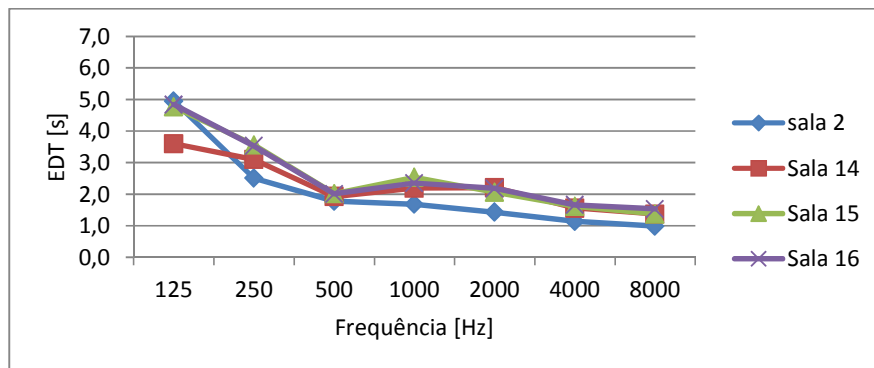


Figura 24. Valores de tempo de EDT em função das frequências para salas do grupo III

Se para os parâmetros de tempo de reverberação e tempo de decaimento inicial houve queda de valores de baixas a altas frequências, o mesmo certamente não iria acontecer para o comportamento quanto à clareza e definição. Ocorre, de modo geral, o inverso ao analisado nas duas figuras anteriores.

Analisando todo o conjunto simultaneamente, apenas para altas frequências (acima de 1000 Hz) há nitidez para execução da música. De 125 a 250 Hz todas as salas poderiam

ser consideradas reverberantes. E entre 250 e 500 Hz apenas as salas 2 e 14 estariam próximas das condições ideais.

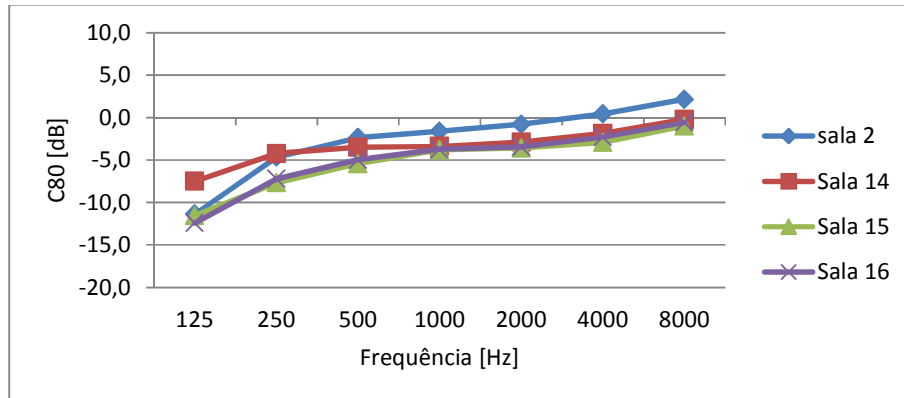


Figura 25. Valores de C80 em função das frequências para salas do grupo III

Ao analisar o parâmetro da definição, torna-se claro que o grupo III é pouquíssimo nítido. Os ambientes são reverberantes e necessitariam de materiais absorventes para amenizar o problema. Principalmente no que se refere à palavra falada – aulas teóricas, prática de canto ou canto coral - são ambientes muito ruins para tal finalidade.

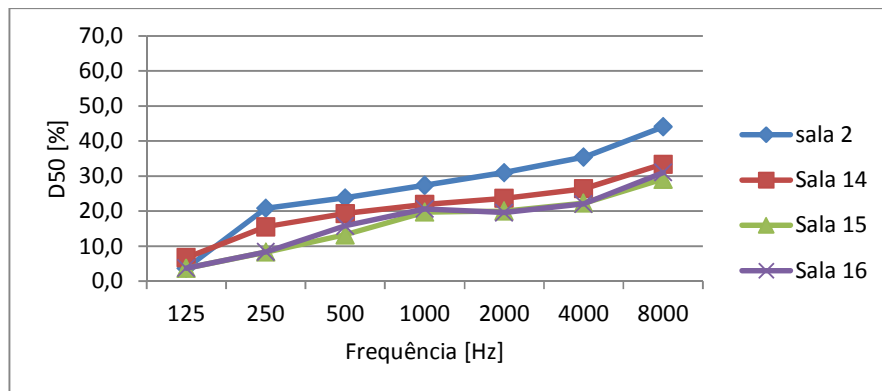


Figura 26. Valores de D50 em função das frequências para salas do grupo III

#### 4.1.4. Resultados referentes ao Grupo IV

As salas desse último grupo analisado apresentam valores de volume na ordem de 175 m<sup>3</sup>, com exceção do auditório, cujo valor está próximo a 220 m<sup>3</sup>. Uma das laterais da sala 3 é praticamente inteira de janelas de vidro, as quais são voltadas para o estacionamento do centro de artes. Com uma área de 52,78 m<sup>2</sup>, a superfície de vidro que faz contato com a área externa é igual a 11,25 m<sup>2</sup>.

As salas 12 e 13, situadas no primeiro pavimento do prédio, constituíam inicialmente uma única sala de aula. Hoje é dividida em duas por uma parede de gesso. As demais são de alvenaria, como nas outras salas estudadas.



Figura 27. Auditório do DMU

O auditório pode ser dividido em duas zonas para uma análise mais crítica – palco e platéia. Na parte referente ao palco, o piso possui revestimento de madeira, não maciço e teto de alvenaria com pé direito uniforme, no valor de 3,62 m. A platéia apresenta piso com revestimento de carpete simples e pé direito variável. Mais especificadamente, uma variação de nove vezes no intervalo entre 3,37 m e 2,81 m. O palco compreende uma área de aproximadamente 40 m<sup>2</sup>, enquanto que a platéia ocupa um valor próximo a 70 m<sup>2</sup> de área.

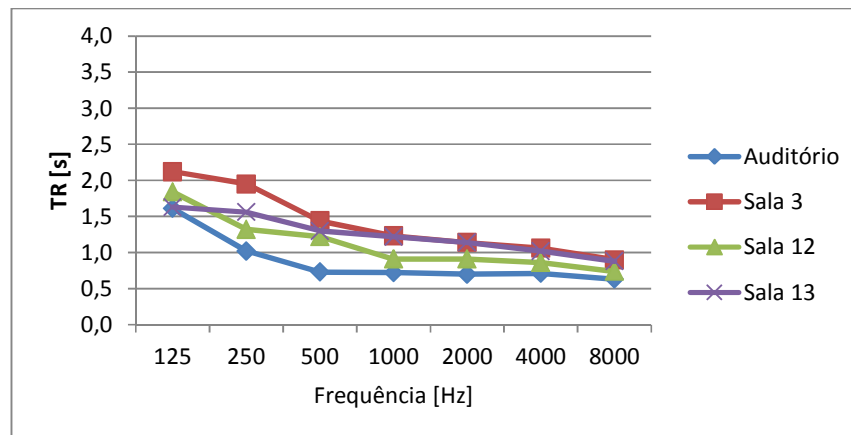


Figura 28. Valores de TR em função das frequências para salas do grupo IV

Para uma análise geral do tempo de reverberação, as salas apresentam-se um tanto quanto reverberantes para baixas frequências. A sala 12 e o auditório mostram valores razoáveis de TR a partir de 1000 Hz, enquanto tal fator só acontece nas demais salas a partir de 4000 Hz.

A tendência do tempo de reverberação é diminuir com o aumento da frequência para este grupo.

Com exceção da sala 3, os dados relativos ao EDT seguem a mesma linha de raciocínio do TR. É notável que a sala citada é a mais reverberante e que apresenta comportamento oscilatório para variações de sons graves e agudos. De modo geral, é a sala que possivelmente proporcionaria sensação reverberante a todos os usuários.

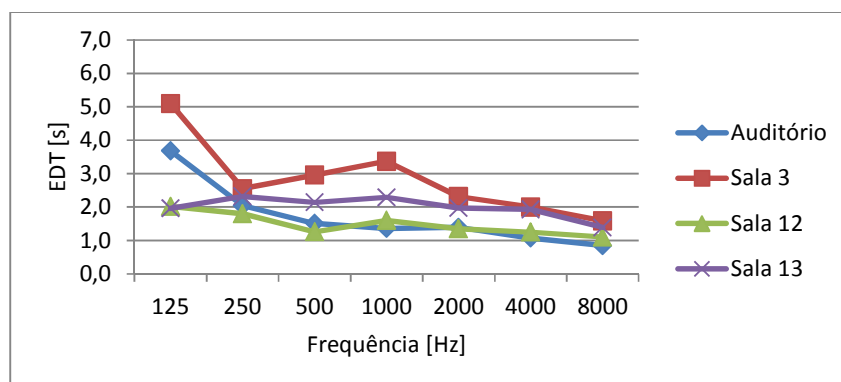


Figura 29. Valores de tempo de EDT em função das frequências para salas do grupo IV

Novamente a sala 3 apresenta características que a difere das demais. Com valores muito baixos até 1000 Hz, é caracterizada com uma sala pouco nítida para a música, portanto, pouco clara e muito reverberante. Comparado com valores obtidos na literatura, apenas a sala 12 estaria de certa forma adequada para este parâmetro em análise em todas as bandas de frequência.

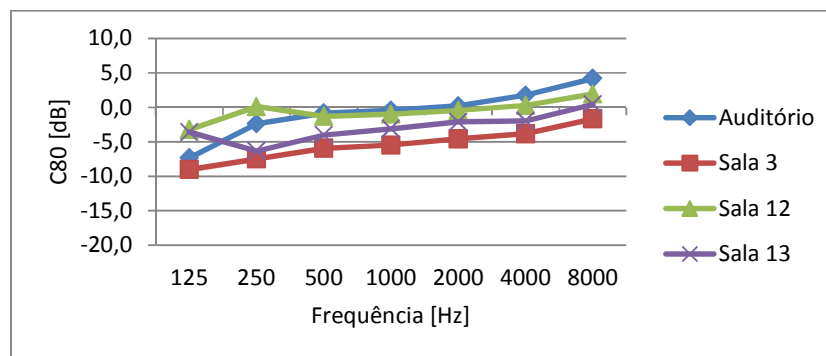


Figura 30. Valores de C80 em função das frequências para salas do grupo IV

A partir da Figura 31, os valores pertinentes à definição confirmam o já visualizado nos gráficos de TR e EDT – são salas, no geral, reverberantes para todas as frequências. Necessitam de tratamento acústico com materiais absorventes.



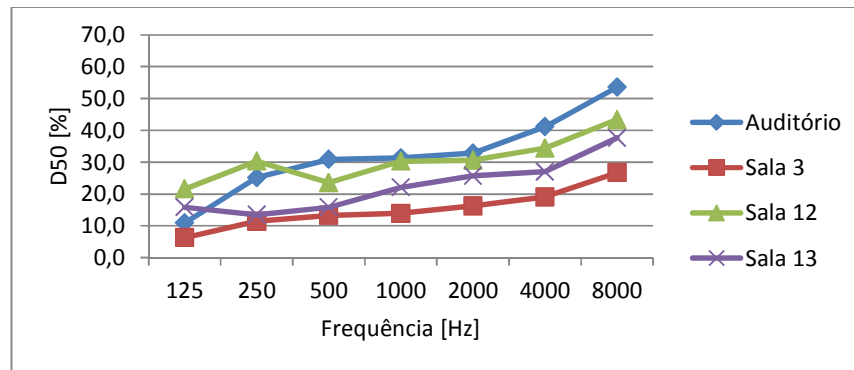


Figura 31. Valores de definição D50 em função das frequências para salas do grupo IV

#### 4.1.5. Frequência natural das salas

Com o intuito de justificar valores que dispersam dos demais nas análises gráficas, calculou-se também os valores correspondentes aos modos acústicos das salas. Outro conceito levado em consideração na análise que segue, diz respeito aos filtros de oitava. A definição destes conceitos se encontra nos itens 2.2.3 e 2.2.4 da revisão bibliográfica. A tabela 12 traz informações referentes aos modos axiais calculados para as salas dos grupos I e II. Para facilitar a visualização dos resultados e fazer um paralelo com a abordagem de filtros de oitava, estes foram separados por cores. O conjunto lilás diz respeito ao filtro de 125 Hz, o verde ao de 250 Hz, o rosado ao de 500 Hz e o alaranjado diz respeito ao filtro de 1000 Hz.

Nas análises gráficas da seção anterior, notou-se picos nas medições principalmente para as salas 5 e 8 a frequências de 125 e 250 Hz. Voltando na Figura 16, percebe-se um crescente de energia para o tempo de decaimento inicial a 125 Hz na sala 5. Analisando na Tabela 12 os modos para este recinto, encontram-se cinco valores pertinentes a esse filtro. São eles: 103,03 Hz; 103,66 Hz; 154,55 Hz; 155,49 Hz e 160,38 Hz. Isto quer dizer que a frequência de oscilação natural da sala 5 coincidiu com a oscilação da fonte sonora nestes valores citados. Sendo assim, a fonte acabou cedendo energia ao recinto, fazendo com que os valores próximos a 125 Hz apresentaram-se superiores na análise gráfica.

Tabela 12. Frequências naturais das salas referentes aos grupos I e II

Sala 4	Sala 5	Sala 6	Sala 9	Sala 18	Sala 1	Sala 7	Sala 8	Sala 10	Sala 11
51,52	51,52	51,52	51,52	51,52	37,44	38,64	51,52	39,35	29,72
51,83	51,83	51,83	52,80	51,52	51,52	51,52	52,47	51,52	51,52
80,19	80,19	80,19	79,44	80,95	53,29	52,47	52,47	51,52	59,44
103,03	103,03	103,03	103,03	103,03	74,89	77,27	103,03	78,70	74,56
103,66	103,66	103,66	105,59	103,03	103,03	103,03	104,94	103,03	89,16
154,55	154,55	154,55	154,55	154,55	106,58	104,94	104,94	103,03	103,03
155,49	155,49	155,49	158,39	154,55	112,33	115,91	154,55	118,06	118,88
160,38	160,38	160,38	158,88	161,90	149,78	154,55	157,41	154,55	148,60
206,06	206,06	206,06	206,06	206,06	154,55	154,55	157,41	154,55	149,12
207,32	207,32	207,32	211,18	206,06	159,87	157,41	206,06	157,41	154,55
240,57	240,57	240,57	238,32	242,86	187,22	193,18	209,88	196,76	178,32
257,58	257,58	257,58	257,58	257,58	206,06	206,06	209,88	206,06	206,06
259,15	259,15	259,15	263,98	257,58	213,17	209,88	257,58	206,06	208,04
309,09	309,09	309,09	309,09	309,09	224,67	231,82	262,35	236,11	223,68
310,98	310,98	310,98	316,77	309,09	257,58	257,58	262,35	257,58	237,76
320,75	320,75	320,75	317,76	323,81	262,11	262,35	309,09	257,58	257,58
360,61	360,61	360,61	360,61	360,61	266,56	270,45	314,81	275,46	267,48
362,80	362,80	362,80	369,57	360,61	299,56	309,09	314,81	309,09	297,20
400,94	400,94	400,94	397,20	404,76	309,09	309,09	360,61	309,09	298,25
412,12	412,12	412,12	412,12	412,12	319,75	314,81	367,28	314,81	309,09
414,63	414,63	414,63	422,36	412,12	337,00	347,73	367,28	354,17	360,61
463,64	463,64	463,64	463,64	463,64	360,61	360,61	412,12	360,61	372,81
466,46	466,46	466,46	475,16	463,64	373,04	367,28	419,75	360,61	412,12
481,13	481,13	481,13	476,64	485,71	374,45	386,36	419,75	393,52	447,37
515,15	515,15	515,15	515,15	515,15	412,12	412,12	463,64	412,12	463,64
518,29	518,29	518,29	527,95	515,15	426,33	419,75	472,22	412,12	515,15
561,32	561,32	561,32	556,07	566,67	463,64	463,64	472,22	463,64	521,93
641,51	641,51	641,51	635,51	647,62	479,62	472,22	515,15	463,64	596,49
721,70	721,70	721,70	714,95	728,57	515,15	515,15	524,69	515,15	671,05
801,89	801,89	801,89	794,39	809,52	532,92	524,69	524,69	515,15	745,61

O mesmo acontece para sala 8 nas frequências de 125 e 500 Hz (Figuras 19 e 20). Analisando a Tabela 12 novamente, encontram-se em lilás e verde as frequências naturais calculadas pertinentes aos filtros de 125 e 500 Hz, respectivamente.

Tabela 13. Frequências naturais das salas referentes aos grupos III e IV

Sala 2	Sala 14	Sala 15	Sala 16	Sala 3	Sala 12	Sala 13	Auditório
21,57	21,71	21,71	21,71	18,68	21,57	21,57	12,45
25,07	37,78	37,78	37,78	29,31	25,07	25,07	21,68
43,15	43,42	43,42	43,42	37,36	43,15	43,15	24,91
50,15	51,52	51,52	51,52	51,52	50,15	50,15	37,36
51,52	65,13	65,13	65,13	56,04	51,52	51,52	43,37
64,72	75,56	75,56	75,56	58,62	64,72	64,72	49,82
75,22	86,85	86,85	86,85	74,73	75,22	75,22	51,52
86,29	103,03	103,03	103,03	87,93	86,29	86,29	62,27
100,29	108,56	108,56	108,56	93,41	100,29	100,29	65,05
103,03	113,33	113,33	113,33	103,03	103,03	103,03	74,73
107,87	130,27	130,27	130,27	112,09	107,87	107,87	86,73
125,37	151,11	151,11	151,11	117,24	125,37	125,37	87,18
129,44	151,98	151,98	151,98	130,77	129,44	129,44	99,63
150,44	154,55	154,55	154,55	146,55	150,44	150,44	103,03
151,02	173,69	173,69	173,69	149,45	151,02	151,02	108,42
154,55	188,89	188,89	188,89	154,55	154,55	154,55	112,09
172,59	195,40	195,40	195,40	168,13	172,59	172,59	124,54
175,52	206,06	206,06	206,06	175,86	175,52	175,52	130,10
194,16	217,11	217,11	217,11	186,81	194,16	194,16	151,79
200,59	226,67	226,67	226,67	205,17	200,59	200,59	154,55
206,06	257,58	257,58	257,58	206,06	206,06	206,06	173,47
215,74	264,44	264,44	264,44	234,48	215,74	215,74	195,15
225,66	302,22	302,22	302,22	257,58	225,66	225,66	206,06
250,74	309,09	309,09	309,09	263,79	250,74	250,74	216,84
257,58	340,00	340,00	340,00	293,10	257,58	257,58	257,58
309,09	360,61	360,61	360,61	309,09	309,09	309,09	309,09
360,61	377,78	377,78	377,78	360,61	360,61	360,61	360,61
412,12	412,12	412,12	412,12	412,12	412,12	412,12	412,12
463,64	463,64	463,64	463,64	463,64	463,64	463,64	463,64
515,15	515,15	515,15	515,15	515,15	515,15	515,15	515,15

Outra sala cujos valores apresentaram picos de energia principalmente a baixas frequências (125 e 250 Hz), diz respeito à sala 15 do Grupo III. Voltando na Figura 23, no gráfico de TR, os valores dispersantes podem ser justificados através do comparativo com a Tabela 13. Para a frequência de 125 Hz, esta sala apresenta oito valores de frequência natural, fazendo com que o recinto entre em ressonância e, conseqüentemente, a amplitude de oscilação atinja valores elevados.

#### 4.1.6. Índice de transmissão da fala

Outro parâmetro acústico obtido através da resposta impulsiva diz respeito ao índice de transmissão da fala. Tais valores numéricos foram levados em consideração devido ao curso de canto no departamento de música dessa universidade. A compreensão das sílabas e entendimento do que é falado, neste caso cantado, torna-se imprescindível para a qualidade de recintos destinados ao ensaio e estudo de cantores.

A Tabela 14 traz os valores obtidos para cada sala analisada e a respectiva classificação segundo IEC 60268-16 de 2003. daquelas classificadas como fracas, tem-se 66,67% para salas de estudo individuais e 33,33% para salas de grupo. Das classificadas como adequadas, 62,5% tratam das salas de grupo. A única sala tida como boa para a fala é a

sala 18; o que não trouxe necessariamente bons resultados para a prática e ensino de instrumentos musicais.

Conclui-se, então, que o STI das salas de grupo são melhores do que as salas de ensino individuais (com exceção da salas 18). Isso não possibilita dizer que as salas de maior volume se encontram em boas condições. É importante ressaltar que o STI está sendo analisado de uma forma mais ampla, sem separação entre cantores segundo alcance da voz (baixas ou altas frequências).

Tabela 14. Classificação do STI para salas do DMU

	STI	Avaliação	Grupo
<b>Auditório</b>	0,55	Adequado	IV
<b>Sala 1</b>	0,48	Adequado	II
<b>sala 2</b>	0,49	Adequado	III
<b>Sala 3</b>	0,38	Fraco	IV
<b>Sala 4</b>	0,43	Fraco	I
<b>Sala 5</b>	0,42	Fraco	I
<b>Sala 6</b>	0,42	Fraco	I
<b>Sala 7</b>	0,46	Adequado	II
<b>Sala 8</b>	0,43	Fraco	II
<b>Sala 9</b>	0,39	Fraco	I
<b>Sala 10</b>	0,49	Adequado	II
<b>Sala 11</b>	0,42	Fraco	II
<b>Sala 12</b>	0,53	Adequado	IV
<b>Sala 13</b>	0,45	Adequado	IV
<b>Sala 14</b>	0,45	Adequado	III
<b>Sala 15</b>	0,4	Fraco	III
<b>Sala 16</b>	0,41	Fraco	III
<b>Sala 18</b>	0,62	Bom	I

#### 4.1.7. Ruído de fundo

As medições das salas e auditório do Departamento de Música da UDESC foram realizadas no mês de fevereiro do ano de 2016 durante o recesso acadêmico desta universidade. Conforme já mencionado em outra seção, as salas foram analisadas como recintos isolados, ou seja, foram estudadas as condições individuais e separadas de cada uma, sem levar em consideração a interferência que uma possa causar na outra.

Mesmo com a ausência de aulas e atividades durante os processos de medição no local, o ruído de fundo foi medido de forma a complementar o estudo.

Para a análise do ruído de fundo, tomou-se como referência a NBR 10152/1987. A Tabela 15 fornece os valores encontrados em norma para o ruído em função da finalidade dos locais. Cabe ressaltar que os valores inferiores apresentados dizem

respeito ao nível sonoro para conforto, enquanto os valores são considerados aceitáveis. Por exemplo, para as salas de música, o ruído de fundo para conforto do usuário encontra-se na ordem de 35 dBA, enquanto que os 45 dBA serão considerados valores aceitáveis, podendo ou não causar danos à saúde .

Tabela 15. Valores limites de ruído de acordo com a finalidade

Locais	dB(A)
<b>Escolas</b>	
Bibliotecas, salas de músicas, salas de desenho	35 - 45
Salas de aula, laboratórios	40 - 50
Circulação	45 - 55
<b>Auditórios</b>	
Salas de concertos, teatros	30 - 40
Salas de conferência, dinemas, salas de uso múltiplo	35 - 45

Fonte: NBR 10152/1987

Para fins comparativos, a Tabela 16 traz valores referentes às medições para cada sala. Considerando todas as salas como salas de música e o auditório como sala de concerto, todos se enquadram nos limites descritos em norma.

Tabela 16. Ruído de fundo para os recintos analisados

Sala	Ruído de fundo (dBA)	Localização
DMU18	33,2	Térreo
Auditório	33,4	Térreo
DMU 06	34,0	1º pavimento
DMU 13	34,0	1º pavimento
DMU 05	34,3	1º pavimento
DMU 14	34,7	1º pavimento
DMU 11	35,4	1º pavimento
DMU 16	35,7	1º pavimento
DMU 03	36,4	Térreo
DMU 12	37,4	1º pavimento
DMU 07	37,5	1º pavimento
DMU 15	37,6	1º pavimento
DMU 02	37,7	Térreo
DMU 10	38,4	1º pavimento
DMU 09	38,9	1º pavimento
DMU 08	39,5	1º pavimento
DMU 01	41,0	Térreo
DMU 04	44,0	1º pavimento

#### 4.2. Análise subjetiva

Esta seção trata dos questionários aplicados aos estudantes e professores do curso de música da UDESC durante os meses de maio e junho de 2015. Embora a adesão não tenha sido de certa forma de grande relevância - não chegou a 50% dos envolvidos do DMU - considera-se a pequena parcela para fins comparativos uma vez que as respostas foram semelhantes e, assim, tornou-se possível a comparação com o que foi medido e estudado.

O emprego dos questionários tem por finalidade a comparação entre a sensação dos usuários com aquilo obtido através das medições. Uma análise mais profunda trata dos efeitos do som para instrumentista de baixas, médias e altas frequências (violoncelo, viola e violino, por exemplo).

A figura 32 traz a quantidade de músicos participantes do questionário em função do instrumento que tocam.

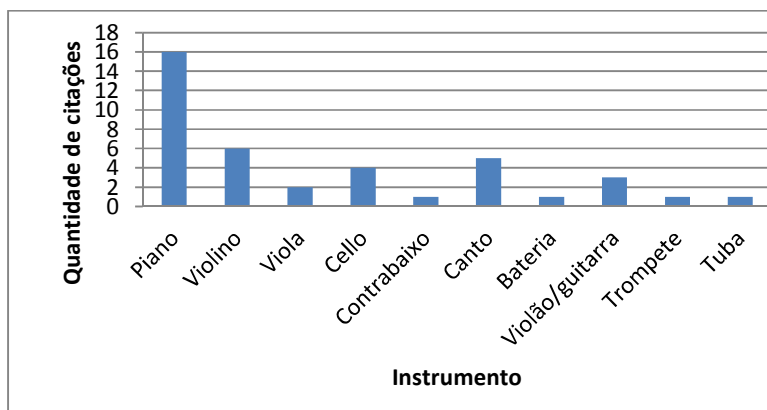


Figura 32. Instrumentos musicais estudados pelos músicos participantes no questionário

Quando se trata da acústica para fins musicais, o tratamento das salas é ainda mais delicado, visto que a sensação causada a diferentes instrumentistas e diferentes finalidades (estudo em grupo ou individual) causa condições distintas de projeto. Uma sala projetada para prática de orquestra, por exemplo, não será necessariamente satisfatória para o uso da palavra falada, como aulas teóricas e aulas de canto.

Dos entrevistados, 40% são pianistas, 15% são violinistas e apenas 5% são instrumentistas de sopro (trompete e trompa).

Tabela 17. Comparação entre valores medidos e percepção dos usuários

Sala	TR [s] - Medição			Sensação do usuário - questionários				
	125 - 250 Hz (baixa frequência)	500 - 1000 Hz (baixa frequência)	2000 - 8000 Hz (baixa frequência)	Pianistas (todas as frequências)	Violinistas e violistas (altas frequências)	Celistas e baixistas (baixas frequências)	Instrumentos de sopro e percussão (altas e médias frequências)	Cantores (todas as frequências)
DMU 01	1,41	0,90	0,72	Ruim	Ruim	Ruim/razoável	Ruim	Ruim
DMU 02	1,92	1,02	0,88	Ruim	Ruim	Ruim/razoável	Ruim	Ruim
DMU 03	1,99	1,32	1,03	Ruim	Ruim	Ruim/razoável	Ruim	Ruim
DMU 04	1,96	1,32	1,07	Ruim	Ruim	Ruim/razoável	Ruim	Ruim
DMU 05	1,90	1,48	1,18	Ruim	Ruim	Ruim/razoável	Ruim	Ruim
DMU 06	1,78	1,48	1,02	Ruim	Ruim	Ruim/razoável	Ruim	Ruim
DMU 07	1,61	1,04	1,01	Ruim	Ruim	Ruim/razoável	Ruim	Ruim
DMU 08	3,14	1,65	1,18	Ruim	Ruim	Ruim/razoável	Ruim	Ruim
DMU 09	1,94	1,19	0,98	Ruim	Ruim	Ruim/razoável	Ruim	Ruim
DMU 10	1,64	0,83	0,77	Razoável	Razoável	Razoável	Razoável	Ruim
DMU 11	1,87	1,70	0,97	-	Ruim	Ruim	Ruim	Ruim
DMU 12	1,58	1,06	0,84	Ruim/razoável	Ruim	Razoável	Razoável	Razoável
DMU 13	1,60	1,26	1,01	Ruim/razoável	Ruim	Razoável	Razoável	Razoável
DMU 14	1,74	1,12	0,99	Ruim/razoável	Ruim	Razoável	Razoável	Razoável
DMU 15	2,32	1,24	1,08	Ruim/razoável	Ruim	Razoável	Razoável	Razoável
DMU 16	2,04	1,16	0,94	Ruim/razoável	Razoável	Razoável	Ruim	Razoável
DMU 18	1,00	0,78	0,60	Ruim	Ruim	Ruim/razoável	Ruim	Ruim

A Tabela 17 traz informações referentes aos valores médios de TR obtidos em medição para cada sala e as sensações dos músicos obtidas através do emprego do questionário.

Estão separadas por cores para facilitar a distinção dos grupos, uma vez que a base comparativa diz respeito às tabelas 4 e 5 da revisão bibliográfica que apresentam valores de TR em função do volume. O alaranjado trata das salas do grupo I, o azul do grupo II, o verde do grupo III e o rosado do grupo IV.

Se comparados os valores médios de TR com aquilo que a bibliografia traz, conclui-se que quase a totalidade dos recintos apresentam-se como reverberantes. As salas do grupo I (4, 5, 6, 9, 18), por exemplo, são salas destinadas ao ensino individual. A Tabela 4 traz valores não intervalo de 0,3 a 0,6s para volumes entre 14 e 30 m<sup>3</sup>. Ao analisar tais salas na Tabela 17, percebe-se que os valores médio de TR são muito superiores aos recomendados, principalmente no que diz respeito às baixas frequências (125 a 250 Hz). Ao se analisarem as percepções dos usuários, é possível observar que para os músicos executantes de instrumentos a baixas frequências (ex: cello e baixo) muitos dos recintos tornam-se razoáveis. Já para os cantores, as salas de estudo individual são as piores para a prática da voz, o que coincide com as medições apresentadas na seção referente ao STI.

O ouvido humano não apresenta a mesma sensibilidade para baixas e altas frequências. Os sons agudos são mais facilmente perceptíveis à audição humana. Quando se reduz o nível sonoro do som de uma orquestra, por exemplo, percebe-se uma perda maior para as baixas frequências. Essa é uma das razões pelas quais faz-se uso de equalizadores de som nos amplificadores de áudio. Na Tabela 17 é possível perceber que os violinistas

tem uma sensação ruim das salas onde estudam, mostrando dessa forma conclusões correlacionadas com aquilo que fora medido.

O questionário em sua forma original encontra-se no apêndice C deste trabalho. Foi pesquisada a opinião dos músicos em relação a todas as salas do departamento e auditório. Para este último, em especial, a percepção em dias de concerto – sons internos que atrapalhavam, sons externo e retorno do instrumento.

Tabela 18. Sensação dos usuários segundo em relação ao auditório

Auditório								
Ruídos externos atrapalham			Ruídos internos atrapalham			Há bom retorno do instrumento no palco		
Sim	Não	Indiferente	Sim	Não	Indiferente	Sim	Não	Indiferente
90%	8%	2%	50%	25%	25%	32,50%	55%	12,50%

No questionário realizado, fez-se uma seção especial para análise do auditório do departamento de música da UDESC. Dos entrevistados, 90% afirmaram que ruídos externos atrapalham na apresentação. Dentre os ruídos mencionados, tem-se: conversas na área externa, som de outras salas, ensaio do coral e até mesmo barulho de cortador de grama.

No que se refere a ruídos internos, estes atrapalham em menor escala as apresentações realizadas no auditório se comparado aos ruídos externos. Dos mencionados pelo estudantes, pode-se citar: conversa no interior do recinto, ar condicionado (não pode ficar ligado durante a performance) e desumidificador. Alguns, inclusive, chegaram a citar o ranger das poltronas e o barulho de eletricidade proveninete das lâmpadas.

Nas medições, o auditório apresentou valores médios de TR igual a 1,32s; 0,72s e 0,68s para baixas, médias e altas frequências, respectivamente. Para uma sala de recital, com volume entre 150 e 400 m<sup>3</sup>, o TR adequado estaria no intervalo de 1,0 a 1,5s. Conclui-se, portanto, que o auditório do DMU é um tanto quanto seco a médias e altas frequências. Retornando à Figura 6, para um volume de 221,36 m<sup>3</sup>, o tempo de reverberação ótimo a 500 Hz estaria na ordem 1,0s.



## 5. Conclusão

As salas existentes no departamento de Música da UDESC não se encontram em situação adequada para a finalidade a qual se destinam. O prédio construído em 1995 para o este curso traz à tona o que muitas construções civis comumente apresentam – estética desvinculada à acústica. Pensa-se muito no visual, mas nem sempre na funcionalidade.

As salas do grupo I (4, 5, 6, 9 e 18) apresentaram-se reverberantes, principalmente para baixas frequências. A sala 18 ainda apresentou maior absorção com ênfase nas frequências mais altas (acima de 1000 Hz); contudo não se pode dizer que está adequada para a música. Principalmente no que se trata da definição, esta é muito ruim. A sala 18 é de certa forma seca para frequências altas.

O grupo II, mesmo que apresentando volumes um pouco maiores, são classificadas como salas de ensino individual, sendo o TR adequado na ordem de 0,3 a 0,6 segundos. Com exceção da sala 8 para a frequência de 125 Hz, todas as salas deste grupo tendem a apresentar valor de TR na ordem de 1 a 2 segundos para baixas frequências e 1,0 a 0,5s para altas frequências. Conclui-se, portanto, que são recintos muito reverberantes. A clareza para essas salas só é considerada razoável a partir de valores aproximados de 750 Hz; a nitidez é ruim até 500 Hz; sendo ainda salas ruins para prática de canto, principalmente nas baixas e médias frequências.

O terceiro grupo de salas apresenta-se muito reverberante para frequências abaixo de 500 Hz; a nitidez melhora a partir de 1000 Hz e, no geral, apresentam pouquíssima absorção. Necessitariam de materiais absorventes em seu interior e uma redução na área de vidro (janelas), se possível.

O último grupo, referente às salas 3, 12, 13 e auditório apresentam-se reverberantes, com exceção deste último. Cabe ressaltar que as salas 12 e 13 foram inicialmente uma única sala; hoje são duas separadas por uma parede de gesso. A sala 3, situada no térreo e destinada a aulas teóricas e práticas em conjunto é mais reverberante deste grupo. Uma boa explicação diz respeito à área de janelas de vidro igual a 11,25m<sup>2</sup>, ocupando quase a totalidade de uma das paredes e fazendo contato com a área destinada ao estacionamento. O auditório apresentou-se um tanto quanto seco, mais especificamente a partir de 250 Hz.

Mesmo tentando corrigir os valores obtidos nas medições em prol de um projeto acústico que melhore a situação do departamento, cabe ressaltar que as medições foram

realizadas durante o período de recesso escolar. Para um projeto mais preciso e que viesse a trazer resultados mais satisfatórios, seria necessário levar em consideração os ruídos provenientes de salas adjacentes, bem como o uso de aparelhos como ar condicionado e desumidificadores. A avaliação do isolamento acústico não foi abordada neste trabalho.

Em suma, os recintos de Departamento de Música da UDESC não se apresentam condizentes com a finalidade ao qual foram projetados. São, no geral, muito reverberantes e necessitam de tratamento acústico para poder oferecer conforto ao usuário. Nenhuma das salas estudadas se apresenta apropriada à prática e ensino da música.

### 5.1. Sugestões para trabalhos futuros

No que tange ao ruído de impacto, fazer a análise da transmissão sonora estrutural para verificar quanto uma sala interfere na outra. Outro estudo importante, principalmente para o auditório, é a simulação de uma pequena orquestra para que as diferentes faixas de frequências existentes entre os mais variados instrumentos sejam levados em consideração.

No que diz respeito ao canto, seria interessante uma análise mais específica para canto coral. Classificar e verificar a situação de propagação de onda para sopranos, contralto, baixo, barítono (extensão das vozes).

Juntando tais sugestões com o que já fora realizado, outra proposta é a elaboração de um projeto para adaptação do prédio ao seu uso principal. A ideia gira em torno de um projeto mais com adequação do que alteração estrutural – visto a dificuldade para autorização deste último por se tratar de uma instituição pública estadual.

Embora não tenha sido foco do trabalho, outro ponto relevante diz respeito à análise do hall deste departamento. Este apresenta um elevado pé direito, cuja extremidade é constituída por vidro. Mesmo que a finalidade do departamento em análise seja a acústica, o prédio apresenta sérios problemas de infiltração. Além de prejudicar os instrumentos permanentes no local, o ruído produzido em épocas de chuvas fortes, por exemplo, acarreta em efeitos diretos no desenvolvimento das atividades dos músicos.

## 6. BIBLIOGRAFIA

- BARRON, M. **The Gulbenkian Great Hall, Lisbon, II: an acoustic study of a concert hall with variable stage.** J. Sound Vib., V. 59, p. 481-502, 1978.
- BERANEK, L. **Concert and opera halls: how they sound.** EUA: Acoustical Society of America, 1996.
- BB93 (BUILDING BULLETIN 93). **Acoustic, design of schools: a design guide.** Department for Education and Skills, London, 2003.
- BISTAFA, S.R.; **Acústica Aplicada ao Controle do Ruído.** 2. Ed. – São Paulo: Blucher, 2011.
- BOTTAZZINI, M. C.; BERTOLI, S. R. **Acústica de igrejas barrocas, arquitetura faz a diferença.** In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA – FIA 2008, 6., 2008, Buenos Aires.
- CARBONI, M.H.S.; **Qualidade Acústica em Salas de Ensino de Música – Parâmetros Acústicos Preferenciais na Opinião de Professores de Música.** Dissertação (Mestrado em Construção Civil) Universidade Federal do Paraná, 2012.
- CARVALHO, R.P.; **Acústica Arquitetônica.** 2. Ed. – Brasília: Thesaurus, 2010.
- DAMMERUD, J. J. **Satge acoustics – Literature review.** University of Bath, Nov. 2006.
- DEBUSSY. **Música Clássica.** Guia ilustrado Zahar, 3ª edição, p. 346, Rio de Janeiro, 2006.
- FIGUEIREDO, F.L.; **Parâmetros Acústicos Subjetivos: Critérios para Avaliação da Qualidade Acústica de Salas de Música.** Dissertação (Mestrado em Musicologia) Universidade de São Paulo, 2005.
- FREIHEIT, R. **Solving acoustic problems in rehearsal spaces.** School Band and Orchestra, Apr. 2002.

GADE, A. C. **Acoustics in Halls for Speech and Music**. In: ROSSING, T. D. (ed.). Springer Handbook of Acoustics, Springer Science+Business Media, LLC New York, 2007. p. 301-350.

GAIDA, C. R. **Caracterização das condições acústicas das salas de aula destinadas ao ensino da música na educação básica**. Dissertação de Mestrado. Santa Maria, 2012.

GEERDES, H. P. **Tips: Improving Acoustics for Music Teaching**. In: MUSIC EDUCATORS NATIONAL CONFERENCE, Reston, VA, 1991.

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

MANNIS, J. A. **Design de difusores sonoros a partir de processo serial: adequação acústica de pequenas salas à performance e audição**. Tese, Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Artes. Campinas, SP, 2008.

MARROS, F.; **Caracterização Acústica de Salas Para Prática e Ensino Musical**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Maria, 2011.

PEREIRA, R. N.; **Caracterização acústica de salas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Física Tecnológica) Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

SÁ, L.R.; **Acústica e Educação em Música : Estudo Qualitativo Para Sala de Ensino e Prática de Instrumento e Canto**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) Universidade Federal do Paraná, 2010.

SLOBODA, J. A. **Individual differences in music performance**. Trends in Cognitive Sciences, v.4, n. 10, p. 397-403, Oct. 2000.

VERGARA, E. F.; MARROS, F.; PAUL, S. **Caracterização da qualidade acústica de salas de aula para prática e ensino musical**. A ser publicado na revista Ambiente Construído em 2016.

WOLFGANG T., VÖLKER, E. J. **Acoustical Requirements and Results for Music Rehearsal Rooms**. Institut fur Akustik and Bauphysik, Oberursel, Germany. 1993: 3549. Artigo.

# APÊNDICES

## APÊNDICE A – Tabelas

Tabela 1. Parâmetros acústicos medidos no auditório em função da frequência

	Auditório						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	1,61 ± 0,32	1,02 ± 0,16	0,73 ± 0,06	0,72 ± 0,04	0,7 ± 0,06	0,71 ± 0,10	0,63 ± 0,06
EDT (s)	3,68 ± 1,03	2,04 ± 1,09	1,51 ± 0,49	1,36 ± 0,38	1,39 ± 0,27	1,07 ± 0,30	0,85 ± 0,15
C80 (dB)	(-7,35) ± (2,06)	(-2,39) ± (1,62)	(-0,85) ± (1,23)	(-0,43) ± (1,00)	0,19 ± 1,20	1,75 ± 1,24	4,18 ± 1,26
D50	10,91 ± 6,12	25,12 ± 8,85	30,85 ± 6,56	31,35 ± 4,88	32,86 ± 5,39	41,15 ± 6,48	53,53 ± 6,86

Tabela 2. Parâmetros acústicos medidos na sala 1 em função da frequência

	Sala 1						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	1,63 ± 0,17	1,19 ± 0,06	0,94 ± 0,08	0,87 ± 0,05	0,81 ± 0,09	0,79 ± 0,10	0,56 ± 0,06
EDT (s)	0,80 ± 0,14	1,81 ± 0,29	0,61 ± 0,13	0,91 ± 0,21	1,10 ± 0,40	0,76 ± 0,22	0,74 ± 0,13
C80 (dB)	3,45 ± 0,07	0,40 ± 0,71	6,50 ± 1,70	3,45 ± 3,18	3,65 ± 1,91	5,40 ± 0,99	5,80 ± 0,99
D50	54,45 ± 4,31	42,75 ± 7,85	64,70 ± 5,94	46,95 ± 15,91	52,15 ± 10,68	56,35 ± 2,62	58,50 ± 5,66

Tabela 3. Parâmetros acústicos medidos na sala 2 em função da frequência

	Sala 2						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	2,32 ± 0,18	1,53 ± 0,17	1,07 ± 0,10	0,97 ± 0,13	0,94 ± 0,17	0,92 ± 0,17	0,77 ± 0,10
EDT (s)	4,95 ± 1,83	2,51 ± 1,24	1,78 ± 0,80	1,68 ± 0,47	1,43 ± 0,45	1,14 ± 0,31	0,99 ± 0,19
C80 (dB)	(-11,36) ± (1,98)	(-4,68) ± (3,92)	(-2,37) ± (2,17)	(-1,6) ± (2,85)	(-0,8) ± (1,90)	0,43 ± 2,10	2,14 ± 1,90
D50	3,7 ± 2,93	20,82 ± 9,48	23,77 ± 8,46	27,39 ± 9,90	30,97 ± 8,69	35,41 ± 9,52	44,07 ± 8,12

Tabela 4. Parâmetros acústicos medidos na sala 3 em função da frequência

	Sala 3						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	2,12 ± 0,39	1,95 ± 0,23	1,44 ± 0,12	1,23 ± 0,07	1,14 ± 0,09	1,06 ± 0,06	0,90 ± 0,05
EDT (s)	5,09 ± 2,53	2,55 ± 0,88	2,96 ± 1,10	3,37 ± 0,73	2,31 ± 0,87	2,00 ± 0,68	1,59 ± 0,39
C80 (dB)	(-9,02) ± (1,36)	(-7,50) ± (1,67)	(-5,94) ± (0,96)	(-5,48) ± (0,53)	(-4,57) ± (0,68)	(-3,82) ± (0,67)	(-1,66) ± (0,68)
D50	6,29 ± 2,29	11,43 ± 2,97	13,26 ± 2,24	13,91 ± 1,66	16,24 ± 2,85	19,08 ± 2,05	26,70 ± 3,44

Tabela 5. Parâmetros acústicos medidos na sala 4 em função da frequência

	Sala 4						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	2,37 ± 0,24	1,56 ± 0,24	1,29 ± 0,21	1,34 ± 0,25	1,3 ± 0,27	1,01 ± 0,11	0,89 ± 0,07
EDT (s)	4,6 ± 1,35	1,37 ± 0,15	2,10 ± 0,28	2,01 ± 0,20	1,39 ± 0,23	1,18 ± 0,24	1,02 ± 0,31
C80 (dB)	(-15,1) ± (1,28)	(-7,73) ± (1,36)	(-5,15) ± (1,48)	(-2,57) ± (1,07)	(-2,7) ± (0,80)	(-0,87) ± (1,25)	1,13 ± 0,90
D50	2,27 ± 1,05	9,3 ± 2,08	15,60 ± 4,95	19,23 ± 0,91	24,5 ± 3,39	29,07 ± 5,56	37,83 ± 4,53

Tabela 6. Parâmetros acústicos medidos na sala 5 em função da frequência

	Sala 5						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	2,04 ± 0,65	1,75 ± 0,62	1,24 ± 0,16	1,71 ± 0,34	1,32 ± 0,18	1,16 ± 0,17	1,05 ± 0,27
EDT (s)	6,06 ± 0,62	1,14 ± 0,74	2,54 ± 0,25	1,76 ± 0,31	1,38 ± 0,49	1,06 ± 0,54	1,27 ± 0,07
C80 (dB)	(-14,87) ± (3,35)	(-8,77) ± (0,90)	(-3,37) ± (0,35)	(-3,6) ± (0,26)	(-2,5) ± (0,61)	(-2,33) ± (0,42)	(-0,03) ± (0,06)
D50	2,1 ± 0,96	7,37 ± 2,39	18,77 ± 2,72	20,03 ± 1,58	23,17 ± 2,12	24,03 ± 2,71	33,8 ± 1,42

Tabela 7. Parâmetros acústicos medidos na sala 6 em função da frequência

	Sala 6						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	2,13 ± 0,15	1,43 ± 0,22	1,67 ± 0,54	1,28 ± 0,14	1,17 ± 0,18	1,12 ± 0,22	0,78 ± 0,06
EDT (s)	4,37 ± 0,66	3,78 ± 1,95	3,38 ± 1,28	2,06 ± 0,60	1,53 ± 0,63	1,45 ± 0,44	1,06 ± 0,67
C80 (dB)	(-15,98) ± (1,34)	(-8,62) ± (0,76)	(-3,34) ± (1,46)	(-3,1) ± (1,09)	(-2,64) ± (0,85)	(-1,76) ± (0,60)	(-0,04) ± (0,70)
D50	1,66 ± 0,53	8,46 ± 1,97	16,77 ± 4,11	20,75 ± 3,93	23,56 ± 2,38	25,8 ± 2,47	32,5 ± 1,42

Tabela 8. Parâmetros acústicos medidos na sala 7 em função da frequência

	Sala 7						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	1,66 ± 0,28	1,59 ± 0,21	1,05 ± 0,07	1,02 ± 0,16	1,03 ± 0,17	1,03 ± 0,22	0,98 ± 0,27
EDT (s)	2,92 ± 0,42	3,13 ± 0,38	1,79 ± 0,81	1,86 ± 0,65	1,69 ± 0,40	1,55 ± 0,27	1,3 ± 0,20
C80 (dB)	(-9,67) ± (1,48)	(-7,27) ± (1,48)	(-3,97) ± (1,04)	(-2,42) ± (0,61)	(-2,78) ± (1,05)	(-0,98) ± (1,12)	0,72 ± 0,84
D50	6,03 ± 2,87	11,06 ± 2,43	20,72 ± 4,50	24,7 ± 2,95	22,04 ± 4,60	29,06 ± 4,50	37,97 ± 5,65

Tabela 9. Parâmetros acústicos medidos na sala 8 em função da frequência

	Sala 8						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	3,74 ± 0,47	2,17 ± 0,03	1,58 ± 0,05	1,76 ± 0,15	1,31 ± 0,05	1,26 ± 0,11	1,02 ± 0,06
EDT (s)	5,73 ± 1,74	4,94 ± 0,92	1,53 ± 0,44	1,47 ± 0,51	1,75 ± 0,66	1,37 ± 0,53	0,90 ± 0,38
C80 (dB)	(-7,38) ± (1,68)	(-9,65) ± (2,41)	(-3,83) ± (1,17)	(-3,8) ± (1,09)	(-3) ± (0,94)	(-1,65) ± (1,03)	0,43 ± 0,97
D50	7,75 ± 1,92	8,33 ± 1,11	17,25 ± 1,92	21,33 ± 1,05	19,67 ± 1,22	26,25 ± 3,11	35,88 ± 4,19

Tabela 10. Parâmetros acústicos medidos na sala 9 em função da frequência

	Sala 9						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	2,17 ± 0,21	1,72 ± 0,17	1,15 ± 0,09	1,23 ± 0,12	1,1 ± 0,08	1,01 ± 0,12	0,82 ± 0,10
EDT (s)	4,54 ± 0,58	3,83 ± 1,16	2,26 ± 0,42	1,81 ± 1,03	2,69 ± 0,57	2,23 ± 0,28	1,09 ± 0,37
C80 (dB)	(-11,7) ± (2,17)	(-7,67) ± (0,81)	(-4,5) ± (0,75)	(-4,73) ± 0,97	(-4,53) ± (0,64)	(-3,97) ± (0,35)	(-2,03) ± (0,40)
D50	4,73 ± 1,60	9,53 ± 2,15	15,5 ± 2,55	15 ± 3,89	16,7 ± 2,43	19,5 ± 1,18	25,47 ± 1,95

Tabela 11. Parâmetros acústicos medidos na sala 10 em função da frequência

	Sala 10						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	1,97 ± 0,06	1,31 ± 0,07	0,75 ± 0,08	0,91 ± 0,02	0,82 ± 0,10	0,84 ± 0,10	0,64 ± 0,05
EDT (s)	2,16 ± 0,54	3,46 ± 0,28	1,77 ± 0,58	1,55 ± 0,39	1,61 ± 0,10	1,71 ± 0,29	1,16 ± 0,15
C80 (dB)	(-8,23) ± (0,99)	(-5,2) ± 2,13	(-2,73) ± (2,78)	(-2,07) ± (1,08)	(-1,87) ± (0,60)	(-0,47) ± (0,75)	1,27 ± 1,07
D50	5,90 ± 1,41	20,00 ± 5,09	23,00 ± 6,65	26,60 ± 2,69	26,30 ± 3,54	31,15 ± 2,05	38,50 ± 4,67

Tabela 12. Parâmetros acústicos medidos na sala 11 em função da frequência

	Sala 11						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	1,77 ± 0,29	1,97 ± 0,40	1,87 ± 0,02	1,53 ± 0,13	1,34 ± 0,19	0,9 ± 0,09	0,68 ± 0,03
EDT (s)	1,44 ± 0,23	2,49 ± 0,68	1,90 ± 0,80	2,16 ± 0,25	1,98 ± 0,77	2,03 ± 0,18	1,62 ± 0,24
C80 (dB)	(-12,47) ± (1,65)	(-5,13) ± (1,44)	(-4,57) ± (1,02)	(-2,93) ± (0,38)	(-3,73) ± (0,65)	(-2,43) ± (0,45)	(-0,97) ± (0,50)
D50	2,13 ± 0,91	13,10 ± 0,99	13,75 ± 0,21	23,77 ± 0,72	18,55 ± 1,77	22,63 ± 1,59	28,25 ± 1,77

Tabela 13. Parâmetros acústicos medidos na sala 12 em função da frequência

	Sala 12						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	1,84 ± 0,11	1,32 ± 0,10	1,22 ± 0,14	0,91 ± 0,06	0,91 ± 0,08	0,86 ± 0,08	0,74 ± 0,04
EDT (s)	2,02 ± 0,16	1,8 ± 0,48	1,26 ± 0,39	1,6 ± 0,22	1,35 ± 0,34	1,25 ± 0,27	1,1 ± 0,15
C80 (dB)	(-3,25) ± (1,29)	0,1 ± 1,62	(-1,32) ± (0,63)	(-1) ± (0,53)	(-0,47) ± (0,67)	0,27 ± 0,57	1,93 ± 0,12
D50	21,6 ± 3,05	30,28 ± 7,02	23,52 ± 4,14	30,28 ± 2,56	30,6 ± 3,69	34,38 ± 3,16	43,37 ± 1,55

Tabela 14. Parâmetros acústicos medidos na sala 13 em função da frequência

	Sala 13						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	1,63 ± 0,17	1,56 ± 0,13	1,3 ± 0,04	1,22 ± 0,04	1,14 ± 0,13	1,02 ± 0,07	0,88 ± 0,06
EDT (s)	1,96 ± 0,67	2,32 ± 1,22	2,14 ± 0,66	2,29 ± 0,60	1,97 ± 0,57	1,93 ± 0,32	1,39 ± 0,19
C80 (dB)	(-3,62) ± (1,58)	(-6,35) ± (2,14)	(-4,02) ± (1,09)	(-3,12) ± (0,46)	(-2,13) ± (1,05)	(-1,97) ± (0,75)	0,42 ± 0,73
D50	15,82 ± 7,96	13,47 ± 4,95	15,82 ± 2,56	22,05 ± 3,35	25,7 ± 4,56	27,03 ± 4,10	37,6 ± 4,21

Tabela 15. Parâmetros acústicos medidos na sala 14 em função da frequência

Sala 14							
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	1,99 ± 0,21	1,49 ± 0,11	1,21 ± 0,19	1,02 ± 0,05	1,03 ± 0,06	1,03 ± 0,09	0,91 ± 0,06
EDT (s)	3,6 ± 0,92	3,1 ± 1,02	1,93 ± 0,63	2,19 ± 0,77	2,21 ± 0,41	1,56 ± 0,50	1,37 ± 0,17
C80 (dB)	(-7,5) ± (2,07)	(-4,23) ± (1,64)	(-3,5) ± (1,01)	(-3,4) ± (1,17)	(-2,9) ± (0,72)	(-1,88) ± (1,07)	(-0,23) ± (0,86)
D50	6,75 ± 3,72	15,53 ± 3,31	19,3 ± 4,28	21,92 ± 4,27	23,65 ± 3,98	26,37 ± 4,37	33,38 ± 5,54

Tabela 16. Parâmetros acústicos medidos na sala 15 em função da frequência

Sala 15							
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	3,05 ± 0,51	1,59 ± 0,19	1,28 ± 0,18	1,21 ± 0,20	1,26 ± 0,21	1,06 ± 0,14	0,92 ± 0,07
EDT (s)	4,77 ± 0,69	3,56 ± 1,12	2,02 ± 0,94	2,54 ± 0,64	2,06 ± 0,59	1,62 ± 0,35	1,37 ± 0,31
C80 (dB)	(-11,56) ± (1,04)	(-7,69) ± (1,82)	(-5,44) ± (0,88)	(-3,79) ± (0,70)	(-3,59) ± (0,88)	(-2,93) ± (1,06)	(-1,01) ± (1,04)
D50	3,69 ± 1,56	8,27 ± 3,77	13,2 ± 3,43	19,7 ± 3,51	20,06 ± 2,98	22,26 ± 3,89	29,1 ± 3,58

Tabela 17. Parâmetros acústicos medidos na sala 16 em função da frequência

Sala 16							
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	2,33 ± 0,45	1,75 ± 0,19	1,23 ± 0,09	1,1 ± 0,03	1,03 ± 0,06	0,94 ± 0,03	0,85 ± 0,02
EDT (s)	4,84 ± 2,37	3,53 ± 0,91	2,01 ± 0,84	2,35 ± 0,76	2,18 ± 0,59	1,66 ± 0,22	1,53 ± 0,27
C80 (dB)	(-12,43) ± (1,20)	(-7,22) ± (1,23)	(-4,97) ± (1,09)	(-3,73) ± (1,29)	(-3,47) ± (0,68)	(-2,32) ± (0,54)	(-0,58) ± (0,62)
D50	3,72 ± 1,19	8,37 ± 2,31	15,77 ± 2,59	20,65 ± 3,93	19,57 ± 3,00	22,05 ± 2,80	31,02 ± 3,42

Tabela 18. Parâmetros acústicos medidos na sala 18 em função da frequência

Sala 18							
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	1,04 ± 0,11	0,96 ± 0,02	0,77 ± 0,09	0,79 ± 0,12	0,66 ± 0,06	0,61 ± 0,04	0,54 ± 0,03
EDT (s)	1,37 ± 0,20	1,47 ± 0,16	0,84 ± 0,19	0,66 ± 0,09	0,81 ± 0,14	0,8 ± 0,06	0,69 ± 0,06
C80 (dB)	(-2,00) ± (0,28)	(-0,47) ± (0,51)	2,47 ± 0,85	1,93 ± 0,91	4,13 ± 0,75	5,33 ± 0,42	6,57 ± 0,78
D50	27,00 ± 7,5	37,33 ± 2,81	44,17 ± 6,10	45 ± 1,75	50,53 ± 5,36	58 ± 3,18	63,97 ± 3,51



APÊNDICE B – Plantas baixas com locais de estouro e medição; imagens das salas.

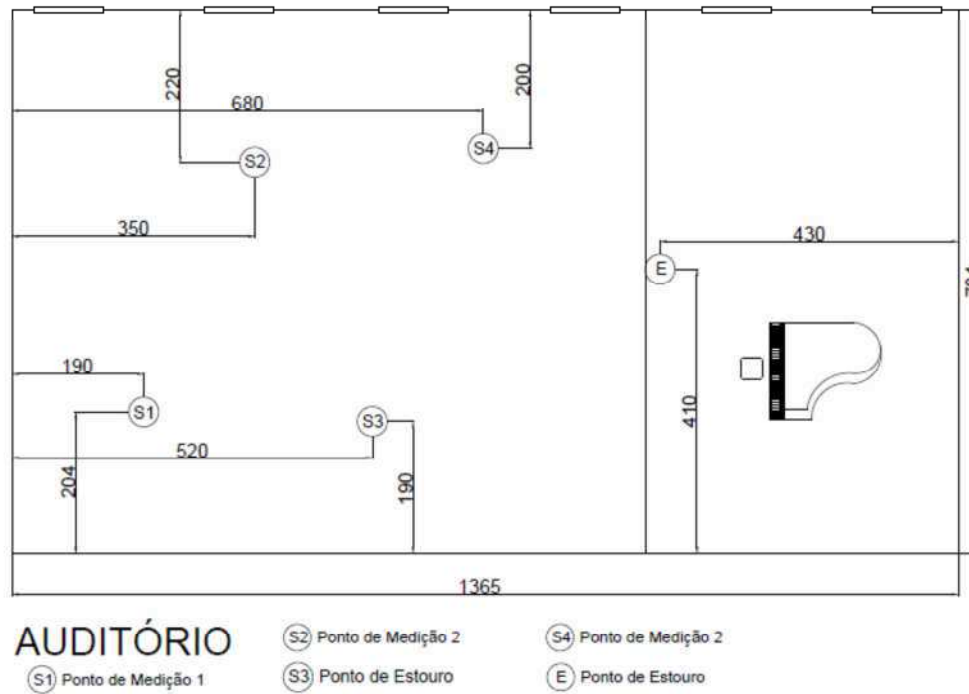


Figura 1–Planta baixa e pontos de medição do auditório



Figura 2–Auditório do Departamento de Música da UDESC

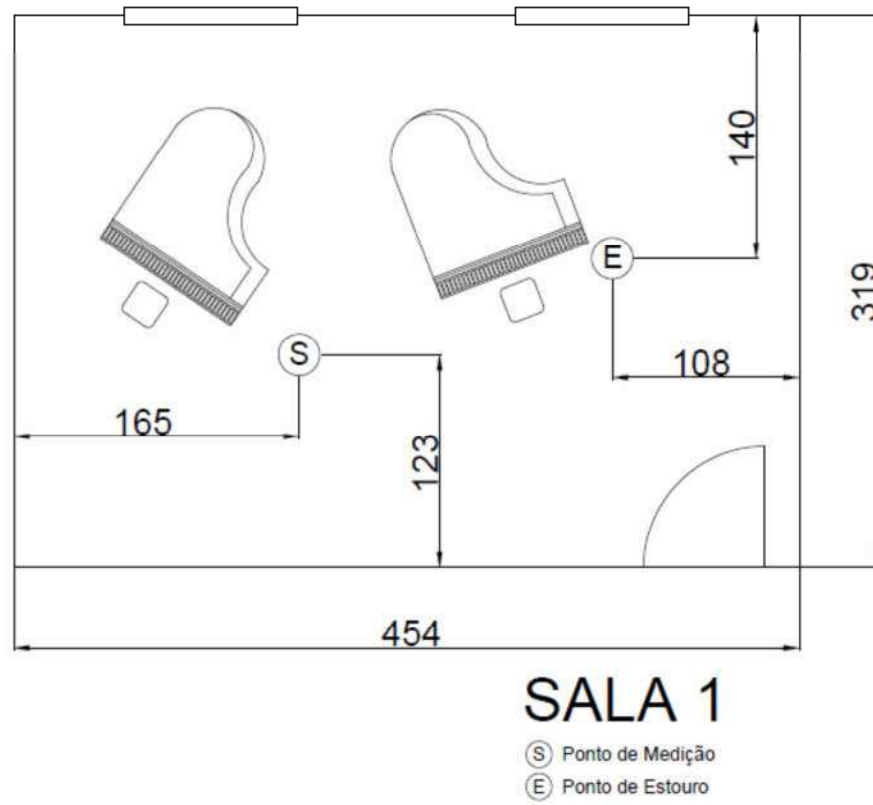


Figura 3–Planta baixa e pontos de medição da sala 1 - DMU



Figura 4–Sala 1 do DMU

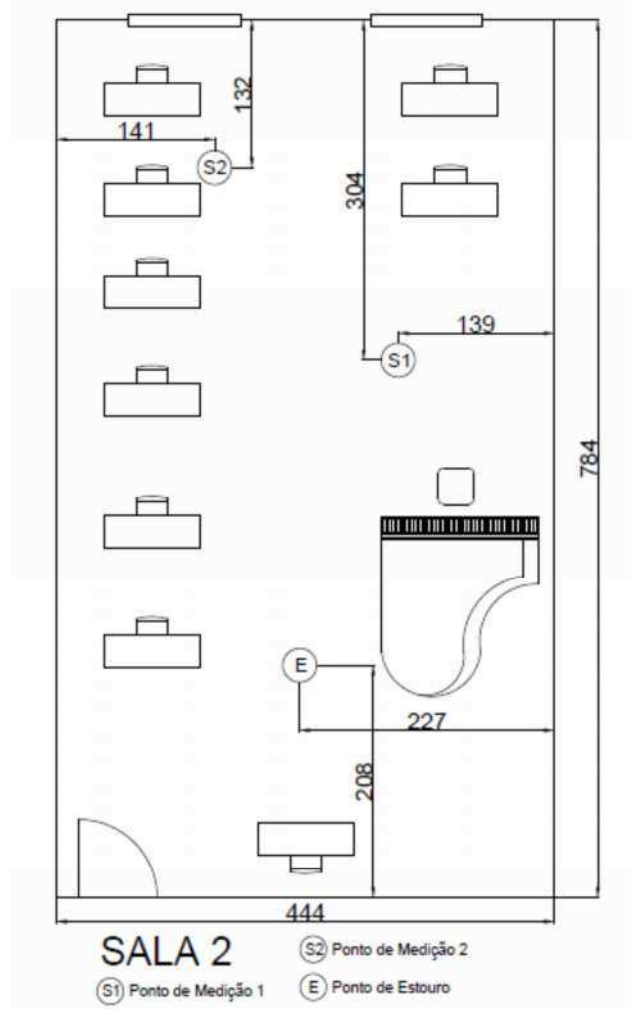


Figura 5–Planta baixa e pontos de medição da sala 2



Figura 6 – Sala 2 do DMU

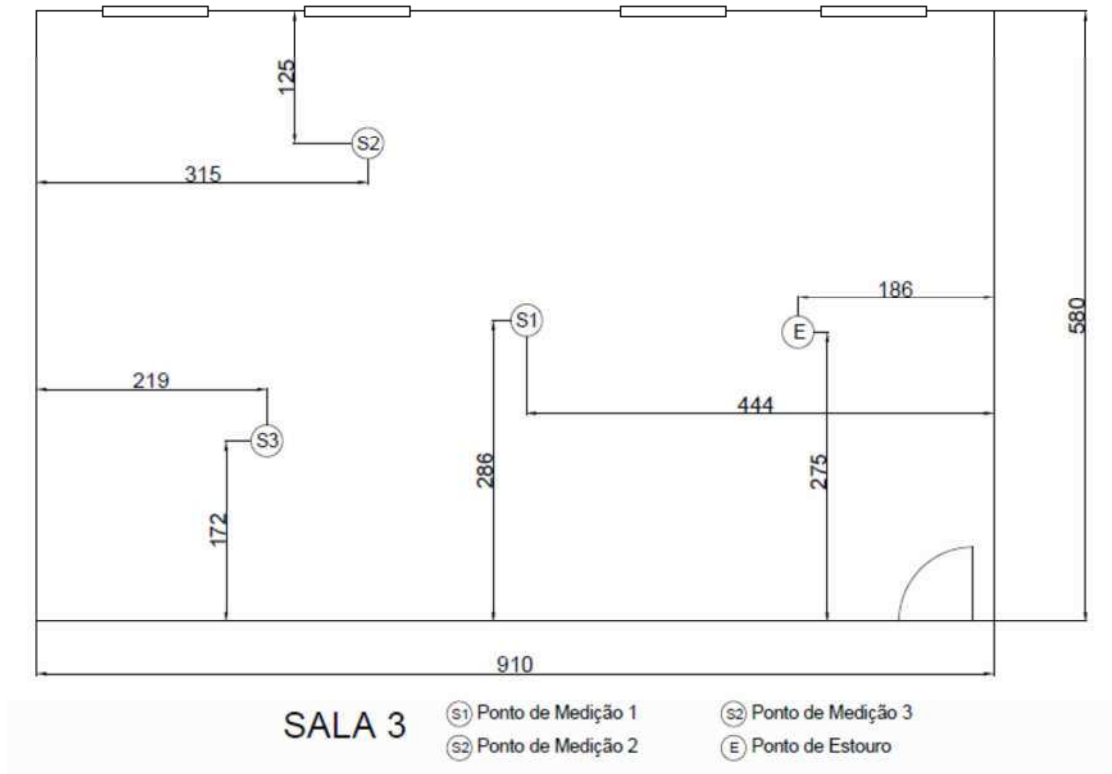


Figura 7–Planta baixa e pontos de medição da sala 3



Figura 8 – Sala 3 do DMU

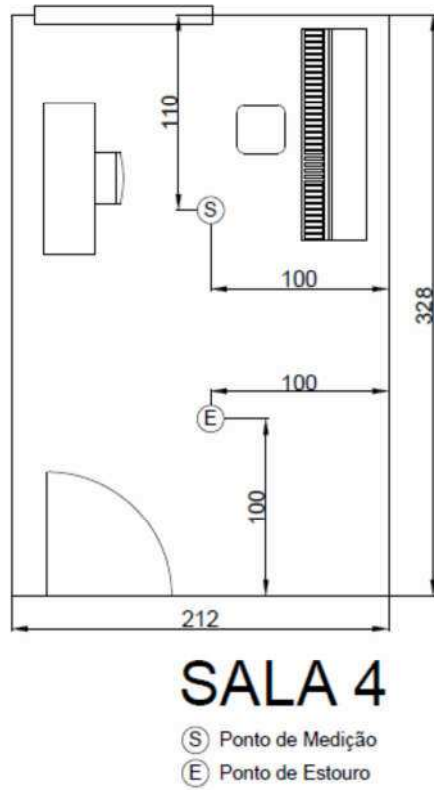


Figura 9–Planta baixa e pontos de medição da sala 4



Figura 10 – Sala 4 do DMU

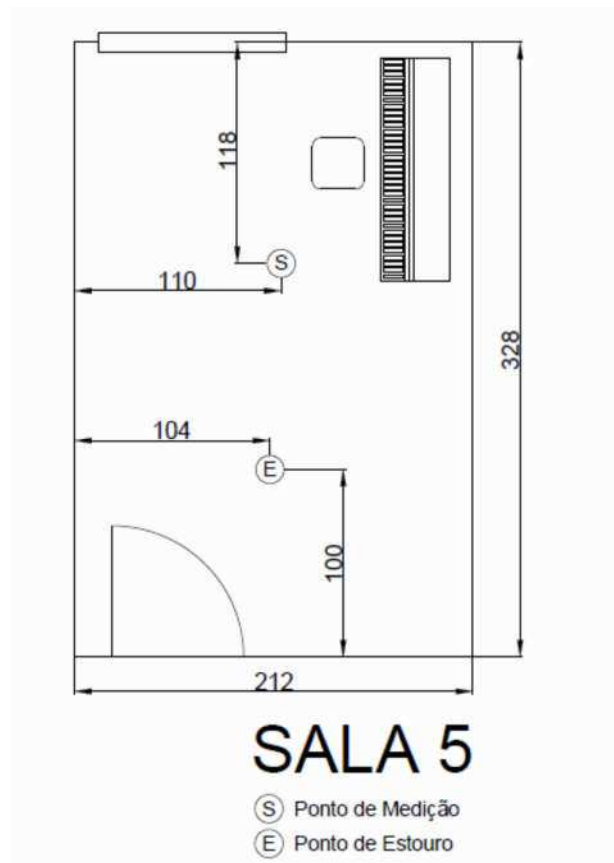


Figura 11 – Planta baixa e pontos de medição da sala 5



Figura 12 – Sala 5 do DMU

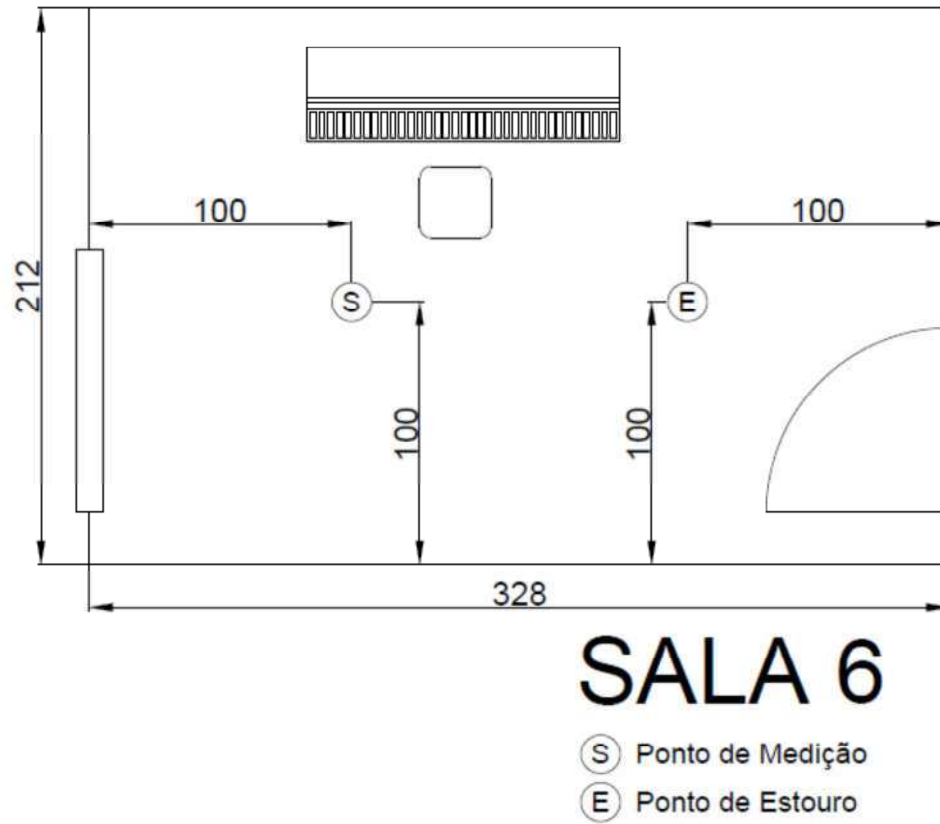


Figura 13 – Planta baixa e pontos de medição da sala 6



Figura 14 – Sala 6 do DMU



Figura 15 – Planta baixa e pontos de medição da sala 7



Figura 16 – Sala 7 do DMU



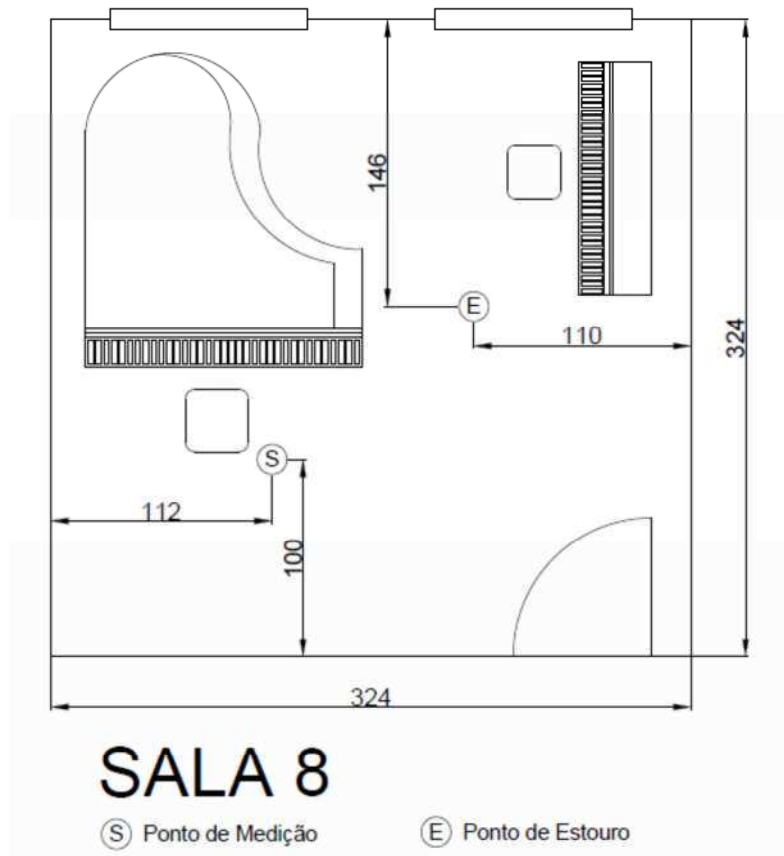


Figura 17 – Planta baixa e pontos de medição da sala 8



Figura 18 – Sala 8 do DMU

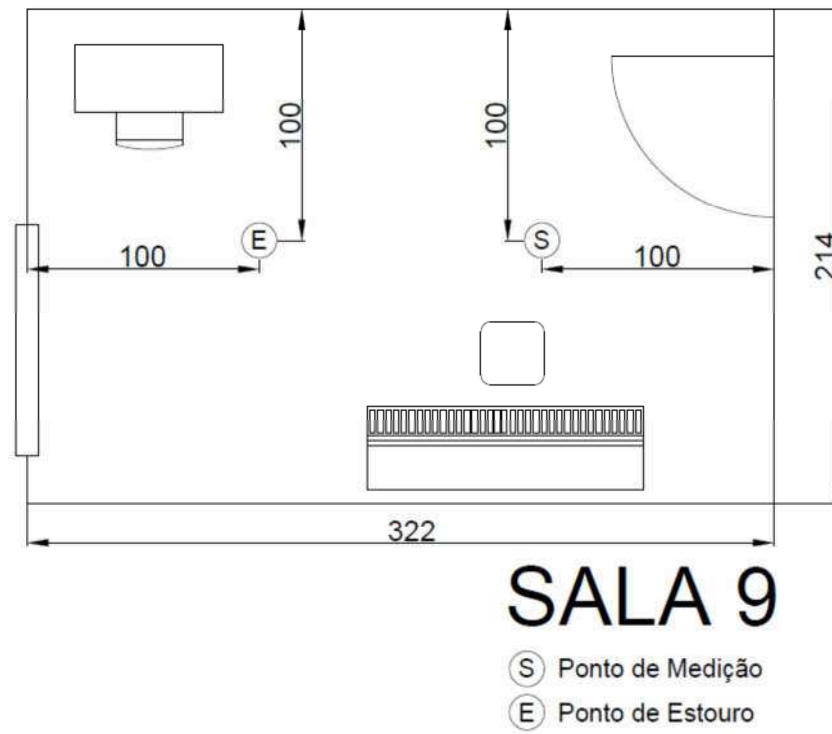


Figura 19–Planta baixa e pontos de medição da sala 9



Figura 20 – Sala 9 do DMU



Figura 21 – Planta baixa e pontos de medição da sala 10



Figura 22 - Sala 10 do DMU

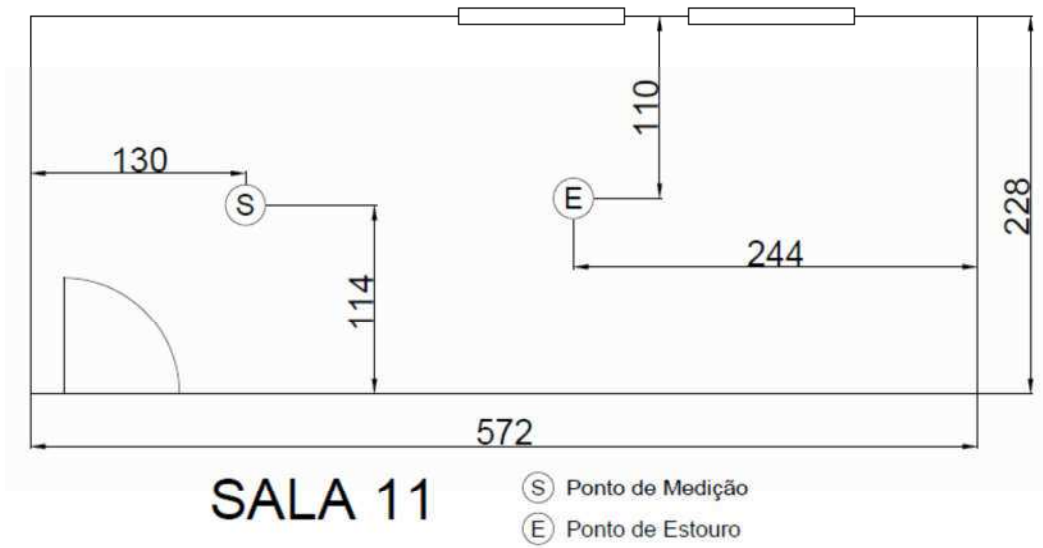


Figura 23 – Planta baixa e pontos de medição da sala 11



Figura 24 – Sala 11 do DMU

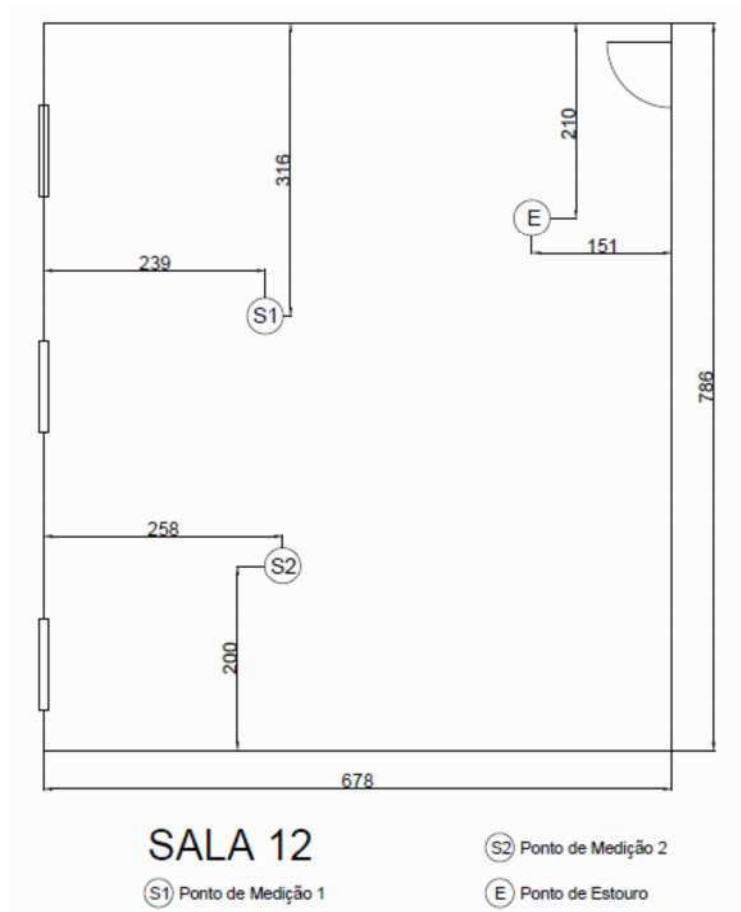


Figura 25 – Planta baixa e pontos de medição da sala 12



Figura 26 – Sala 12 do DMU

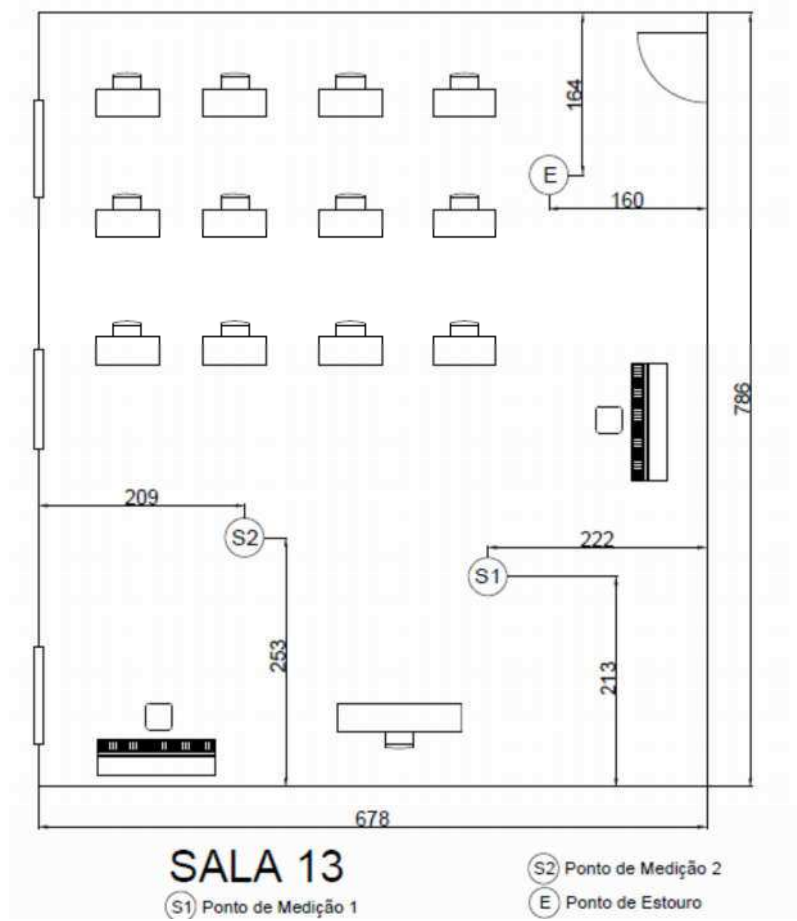


Figura 27 – Planta baixa e pontos de medição da sala 13



Figura 28 – Sala 13 do DMU

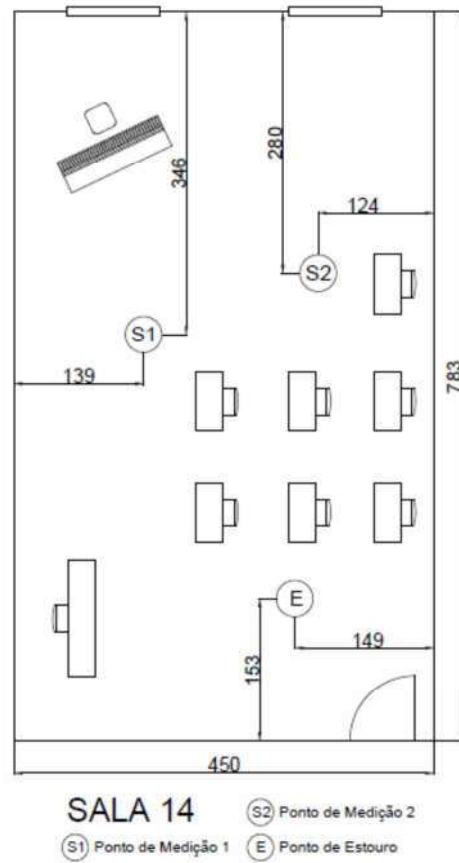


Figura 29–Planta baixa e pontos de medição da sala 14



Figura 30 – Sala 14 do DMU

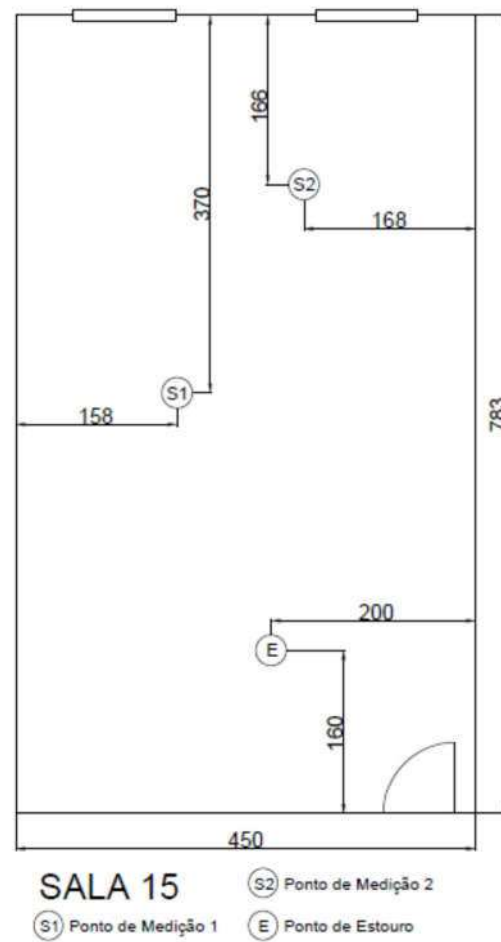


Figura 31–Planta baixa e pontos de medição da sala 15



Figura 32 – Sala 15 do DMU



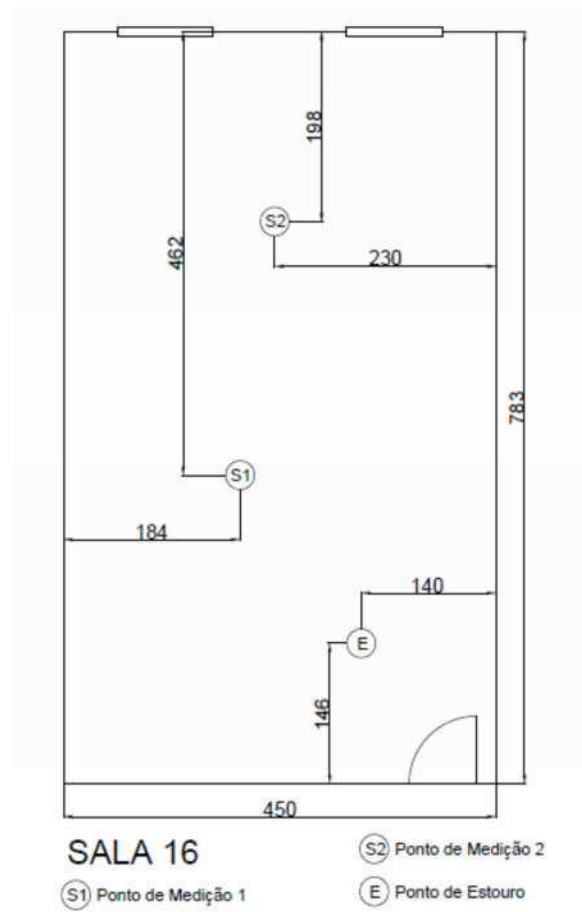


Figura 33 – Planta baixa e pontos de medição da sala 16



Figura 34 – Sala 16 do DMU

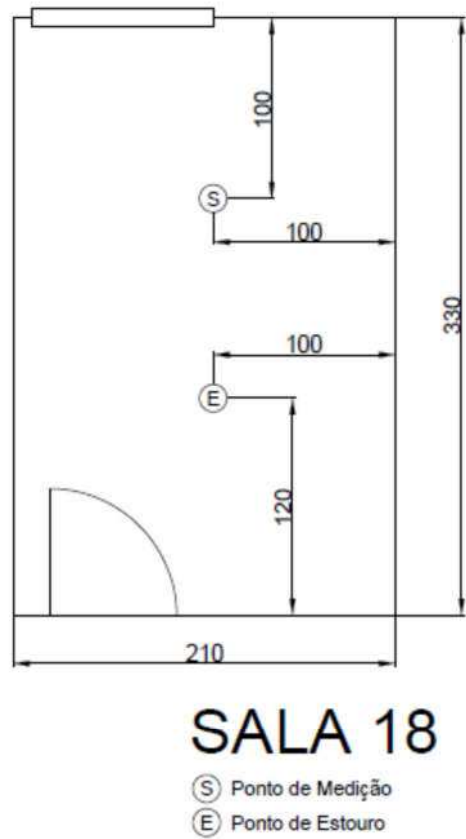


Figura 35 – Planta baixa e pontos de medição da sala 18



Figura 36 – Sala 18 do DMU

## APÊNDICE C – Questionário aplicado aos estudantes e professores do curso de música

Este questionário servirá de embasamento ao trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil da acadêmica Ana Carolina Mendonça Mansur na Universidade Federal de Santa Catarina. O trabalho terá como propósito o estudo e análise do condicionamento acústico das salas de prática musical dos cursos de música da Universidade do Estado de Santa Catarina. Através de ensaios experimentais será verificada se as salas atendem ou não as necessidades mínimas para que possam oferecer conforto e viabilidade ao músico. Juntamente com os dados obtidos nas medições, será feita a comparação com a opinião dos estudantes (razão deste questionário).

Não há necessidade de identificação. Desconsidere a qualidade dos instrumentos os quais são utilizados; reflita apenas quanto à condição sonora das salas do Departamento de Música da UDESC. Após responder, entregue às secretárias do departamento.

Obrigada pela colaboração; sua opinião é imprescindível!

1. Qual a sua faixa etária?
  - a) De 17 a 20 anos
  - b) De 20 a 30 anos
  - c) De 30 a 40 anos
  - d) De 40 a 50 anos
  - e) Mais de 50 anos
  
2. Sexo
  - a) Masculino
  - b) Feminino
  
3. Instrumento que estuda:
  
  
4. Considerando que as **salas de estudo do primeiro pavimento** (salas 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10 e 11) são muito próximas umas das outras, responda:

a. O som externo interfere negativamente no seu estudo? Em caso positivo, responda:

A) Das salas vizinhas, qual o som do instrumento que mais lhe atrapalha (ex: som de instrumento de sopro, canto, instrumento de corda, piano)?

B) Em sua opinião, quais os tipos de som referentes ao ruído externo atrapalham mais seu estudo (ex: pessoas conversando, carros...)?

5. A listagem abaixo traz as salas analisadas no trabalho. **Das salas que já utilizou**, assinale uma opção entre 1 e 5 para cada. Sendo 1 uma péssima condição sonora e 5 uma ótima condição sonora.

Sala 01	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sala 02	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sala 03	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sala 04	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sala 05	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sala 06	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sala 07	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sala 08	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sala 09	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sala 10	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sala 11	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sala 12	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sala 13	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sala 14	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Sala 15	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)

Sala 16            (1)        (2)        (3)        (4)        (5)

Sala 18            (1)        (2)        (3)        (4)        (5)

6. Quanto tempo por semana (segundos, horas) você faz uso das salas de estudo individual?

7. Quanto tempo por semana (segundos, horas) você faz uso das salas de uso comum para aulas teóricas?

8. **Auditório do Departamento de Música:**

a. No caso de já ter assistido à alguma apresentação, responda:

A) Ruídos externos ao auditório atrapalharam a apresentação? Em caso afirmativo, qual ruído?

b. No caso de já ter tocado em alguma apresentação, responda:

A) Do palco, é possível ter um bom retorno do instrumento?

B) Algum ruído externo atrapalhou sua apresentação? Em caso afirmativo, qual?

C) Algum ruído interno atrapalhou sua apresentação? Em caso afirmativo, qual?

9. Em relação ao hall de entrada:

A) Em sua opinião, quais os instrumentos mais se ouvem?

10. **Em relação ao seu instrumento de estudo:** você acredita que a sonoridade do mesmo é prejudicada nas salas do departamento de música?

A) Em caso positivo: você acredita que a sonoridade é pior nas salas de estudo individual ou em grupo?

11. Em sua opinião, o que seria um ambiente ideal para o estudo de música?

12. Se tiver algo que deseja acrescentar, deixe seu comentário:

*“Uma boa sala é tão importante quanto um bom instrumento” (MstislavRostropovich – violoncelista)*