



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**QUALIDADE ACÚSTICA DE ESCOLAS DE MÚSICA DO
ALGARVE**

Análise e proposta de medidas de melhoria

Marta Antão Rodrigues dos Santos

Orientadores:

Professor Doutor José Júlio Correia da Silva

Doutor Vítor Carlos Tadeia Rosão

Mestrado em Engenharia Civil

Área de especialização: *Construção*

Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil

Évora, 2014

Sumário

As salas de aula para prática musical são locais em que a exigência de conforto acústico é essencial, permitindo assim, garantir uma boa sonoridade e percepção de todas as gamas sonoras emitidas pelos instrumentos musicais. Este trabalho visa a avaliação acústica de salas de aula de oito escolas de música do Algarve (Academia de Música de Lagos, Conservatório de Portimão Joly Braga Santos, Conservatório de Música de Lagoa, Conservatório de Música de Albufeira, Conservatório Regional do Algarve Maria Campina, Conservatório de Música de Olhão, Academia de Música de Tavira e Conservatório Regional de Vila Real de St.º António). Em cada escola foram apenas avaliadas duas salas de aula que foram eleitas através de um Questionário realizado aos alunos e professores das escolas. Nessas mesmas salas foram medidos vários parâmetros acústicos tais como o Tempo de Reverberação, Clareza, Definição, Tempo de Decaimento Inicial, Tempo Central, Fator de Força e Ruído de Fundo. Os resultados obtidos através de medições efetuadas foram analisados de acordo com a Norma EN ISO 3382 – 1 Acoustics - Measurement of room acoustic parameters e no fim foram propostas medidas para a melhoria da qualidade acústica das salas.

Palavras Chave: Acústica de Salas, Escolas de Música do Algarve, Desempenho Acústico.

Abstract

The classrooms are places for musical practice in which the requirement of acoustic comfort is essential, thus, ensuring a good perception of sound and all sound ranges issued by musical instruments. This paper aims to review the acoustics of classrooms eight music schools in the Algarve (Lagos Academy of Music, Portimão Conservatory of Joly Braga Santos, Lagoa Conservatory of Music, Albufeira Conservatory of Music, Algarve Regional Conservatory Maria Campina, Olhão Conservatory of Music, Tavira Academy of Music and Regional Conservatory of Vila Real de St. Antonio). In each school were only evaluated two classrooms that were elected through a questionnaire conducted among students and teachers of the schools. In these same rooms were measured various acoustic parameters such as Reverberation Time, Clarity, Definition, Early Decay Time, Centre Time, Sound Strength and Background Noise. The results obtained from measurements taken were analyzed in accordance with EN ISO 3382-1 Acoustics - Measurement of room acoustic parameters and measures were proposed in order to improve the acoustic quality of rooms.

Keywords: Room Acoustics, Algarve Music Schools, Acoustic Performance.

Agradecimentos

Queria agradecer a todos aqueles que tornaram possível a realização da minha tese, evidenciado com especial gratidão:

Ao Engenheiro Professor Doutor José Júlio Correia da Silva pela orientação, o apoio, a paciência, as explicações, as sugestões e correções prestadas ao longo de toda a tese e pelo fornecimento de material bibliográfico muito útil para a realização desta.

Ao Engenheiro Doutor Vítor Carlos Tadeia Rosão pela amizade, a disponibilidade, a orientação, a paciência, as explicações, os conselhos, o interesse e o apoio prestado ao longo da tese e também, pelo fornecimento do equipamento utilizado nas medições acústicas.

A todas as Escolas de Música do Algarve pela simpatia e disponibilidade para tornar possível a realização das medições acústicas nas salas, com especial apreço às minhas segundas casas, Academia de Música de Lagos e Conservatório Joly Braga Santos, por toda a forte amizade, a força e o apoio, que sempre me deram e me acompanham na minha vida.

Aos meus amigos pela amizade, companheirismo, apoio, com especial atenção ao Humberto de Brito, Rodrigo Salas e Carlos Cerejo pela preciosa ajuda na realização das medições acústica nas várias escolas.

Ao meu namorado e companheiro José Cavaco, ouvinte de todas as minhas dúvidas, desânimos e triunfos, pelo apoio e força transmitida ao longo deste trabalho e, por todo o amor e carinho demonstrado em todos os momentos dos nossos 3 anos de namoro.

E finalmente, aos meus pais e irmão por estarem sempre ao meu lado e me apoiarem incondicional em todo o percurso deste curso e deste trabalho que, sem eles não era possível a sua realização.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Pressão sonora num determinado ponto

Figura 2.2 – Audibilidade humana

Figura 2.3 – Representação da sequência - Som direto, primeiras reflexões e som reverberante após um estímulo impulsivo

Figura 2.4 – Esquema de divisão do som ao incidir com a superfície de um material

Figura 2.5 – Superfícies absorventes mais comuns numa sala de aula

Figura 2.6 – Comportamento dos tipos de materiais e sistemas absorvente em função da frequência

Figura 2.7 – Exemplo de materiais porosos e fibrosos

Figura 2.8 – Ressonador Helmholtz e Sistema de ressoadores interligados

Figura 2.9 – Sistema absorvente: Membrana

Figura 2.10 – Solução mista (Ressonador, membrana e material poroso a funcionarem em simultâneo)

Figura 2.11 – Painéis perfurados em gesso cartonado para aplicação de sistemas absorventes – Pormenor de aplicação num teto falso

Figura 2.12 – Painéis perfurados ou ranhurados para aplicação em sistemas absorventes

Figura 2.13 – Representação gráfica do Tempo de Reverberação

Figura 2.14 – Representação gráfica dos parâmetros T_{20} e T_{30}

Figura 2.15 – Reflexão especular

Figura 2.16 – Reflexão difusa

Figura 2.17 – Reflexão especular: Ângulo de incidência igual ao ângulo de reflexão (Lei da Reflexão)

Figura 2.18 – Difusão sonora: Criação de um campo sonoro difuso

Figura 2.19 – Difração da onda sonora ao contornar um obstáculo

Figura 2.20 – Menor difração sonora (Abertura da fenda superior ao comprimento de onda)

Figura 2.21 – Maior difração sonora (Abertura da fenda aproximadamente igual ao comprimento de onda)

Figura 2.22 – Principais fontes de ruído de uma escola

Figura 2.12 – Representação gráfica do parâmetro EDT

Figura 3.1 – Sonómetro NA-27

Figura 3.2 – Tripé portátil

Figura 3.3 – Balões e fitas métricas

Figura 3.4 – Vista geral da Biblioteca

Figura 3.5 – Planta da Biblioteca

Figura 3.6 – Vista geral do Auditório

Figura 3.7 – Planta da Auditório

Figura 3.8 – Vista geral da Sala 6

Figura 3.9 – Planta da Sala 6

Figura 3.10 – Vista geral da Sala 11

Figura 3.11 – Planta da Sala 11

Figura 3.12 – Vista geral da Sala 7

Figura 3.13 – Planta da Sala 7

Figura 3.14 – Vista geral da Sala 1

Figura 3.15 – Planta da Sala 1

Figura 3.16 – Vista geral da Sala 8

Figura 3.17 – Planta da Sala 8

Figura 3.18 – Vista geral da Sala 6

Figura 3.19 – Planta da Sala 6

Figura 3.20 – Vista geral da Sala 12

Figura 3.21 – Planta da Sala 12

Figura 3.22 – Vista geral da Sala 15

Figura 3.23 – Planta da Sala 15

Figura 3.24 – Vista geral da Sala 4

Figura 3.25 – Planta da Sala 4

Figura 3.26 – Vista geral da Sala 5

Figura 3.27 – Planta da Sala 5

Figura 3.28 – Vista geral da Sala 2

Figura 3.29 – Planta da Sala 2

Figura 3.30 – Vista geral da Sala 5

Figura 3.31 – Planta da Sala 5

Figura 3.32 – Vista geral da Sala 7

Figura 3.33 – Planta da Sala 7

Figura 3.34 – Vista geral da Sala 9

Figura 3.35 – Planta da Sala 9

Figura 4.1 – Valores obtidos do parâmetro Ruído de Fundo

Figura 4.2 – Valores obtidos do parâmetro Tempo de Reverberação

Figura 4.3 – Valores obtidos do parâmetro Tempo de Decaimento Inicial

Figura 4.4 – Valores obtidos do parâmetro Fator de Força

Figura 4.5 – Valores obtidos do parâmetro Clareza

Figura 4.6 – Valores obtidos do parâmetro Definição

Figura 4.7 – Valores obtidos do parâmetro Tempo Central

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Salas de cada escola com piores condições acústicas de acordo com o Questionário realizado

Tabela 3.2 – Salas de cada escola com melhores condições acústicas de acordo com o Questionário realizado

Tabela 3.3 – Tempo de Reverberação (500 Hz – 2000 Hz) segundo o Decreto-Lei 96/2008

Tabela 3.4 – Valores recomendados para os restantes parâmetros acústicos

Tabela 3.5 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Biblioteca

Tabela 3.6 – Características arquitetónicas da Biblioteca

Tabela 3.7 – Valores médios dos parâmetros acústicos no Auditório

Tabela 3.8 – Características arquitetónicas do Auditório

Tabela 3.9 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 6

Tabela 3.10 – Características arquitetónicas da Sala 6

Tabela 3.11 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 11

Tabela 3.12 – Características arquitetónicas da Sala 11

Tabela 3.13 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 7

Tabela 3.14 – Características arquitetónicas da Sala 7

Tabela 3.15 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 1

Tabela 3.16 – Características arquitetónicas da Sala 1

Tabela 3.17 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 8

Tabela 3.18 – Características arquitetónicas da Sala 8

Tabela 3.19 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 6

Tabela 3.20 – Características arquitetónicas da Sala 6

Tabela 3.21 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 12

Tabela 3.22 – Características arquitetónicas da Sala 12

Tabela 3.23 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 15

Tabela 3.24 – Características arquitetónicas da Sala 15

Tabela 3.25 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 4

Tabela 3.26 – Características arquitetónicas da Sala 4

Tabela 3.27 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 5

Tabela 3.28 – Características arquitetónicas da Sala 5

Tabela 3.29 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 2

Tabela 3.30 – Características arquitetónicas da Sala 2

Tabela 3.31 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 5

Tabela 3.32 – Características arquitetónicas da Sala 5

Tabela 3.33 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 7

Tabela 3.34 – Características arquitetónicas da Sala 7

Tabela 3.35 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 9

Tabela 3.36 – Características arquitetónicas da Sala 9

Tabela 4.1 – Verificação dos valores obtidos do Tempo de Reverberação relativamente ao preconizado pelo DL 96/2008

SIMBOLOGIA E ABREVIATURAS

A – Área de absorção sonora equivalente [m^2]

C_{80} – Clareza com base 80 ms [dB]

dB - Decibel

D_{50} – Definição com base 50 ms

DL – Decreto-Lei

$D_{2m,nT,w}$ – Índice de isolamento sonoro de fachada, padronizado [dB]

$D_{nT,w}$ – Índice de isolamento sonoro a ruídos de condução aérea, padronizado [dB]

EDT – Tempo de Decaimento Inicial [s]

EN – Norma Europeia

G – Fator de Força [dB]

Hz - Hertz

ISO – International Organization for Standardization

k – Constante elástica da mola (N/m)

L_{Aeq} – Nível de pressão sonora equivalente ponderado A [dB(A)]

$L_{Ar,nT}$ – Nível de avaliação do ruído particular de equipamentos do edifício ponderado A, padronizado [dB(A)]

$L_{nT,w}$ – Índice de isolamento sonoro a ruídos de percussão, padronizado [dB]

m – massa (Kg)

ms – milissegundo

NP – Norma Portuguesa

NPS – Nível de pressão sonora (dB)

$p_{10m}(t)$ – Pressão sonora instantânea da resposta impulsiva da sala, em campo livre, a uma distância de 10 metros da fonte [dB]

$p(t)$ – Pressão sonora instantânea da resposta impulsiva da sala num determinada ponto [dB]

P – Pressão (Pascal)

RRAE – Regulamento de requisitos acústicos em edifícios

S - Área superficial do material [m^2]

t – Tempo [s]

T_{10} – Tempo de Reverberação com decaimento de 10 dB [s]

T_{20} - Tempo de Reverberação com decaimento de 20 dB [s]

T_{30} - Tempo de Reverberação com decaimento de 30 dB [s]

T_{60} – Tempo de Reverberação com decaimento de 60 dB [s]

T_S – Tempo Central [ms]

V – Volume [m^3]

α – Coeficiente de absorção sonora

λ – Comprimento de onda [m]

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento do tema	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Organização do trabalho	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1. Acústica de Edifícios	4
2.2. Acústica de Salas.....	5
2.2.1. Propagação e perceção do som.....	5
2.2.2. Som direto e som reverberante	7
2.2.3. Absorção sonora	8
2.2.4. Tempo de Reverberação (T_r)	15
2.2.5. Reflexão, difusão e difração sonora	18
2.3. Parâmetros de qualidade acústica de salas	22
2.3.1. Ruído de Fundo	22
2.3.2. Fator de Força (G).....	24
2.3.3. Clareza (C_{80})	24
2.3.4. Definição (D_{50}).....	25
2.3.5. Tempo de Decaimento Inicial (EDT).....	25
2.3.6. Tempo Central (T_s)	26
3. LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO	27
3.1. Questionário.....	27
3.1.1. Resultados	27
3.2. Medições Acústicas.....	30
3.2.1. Equipamento utilizado e Procedimentos.....	30
3.2.2. Exigências regulamentares	32
3.2.2.1. Tempo de Reverberação (T_r).....	32
3.2.2.2. Ruído de Fundo	33
3.2.2.3. Restantes Parâmetros Acústicos	34
3.2.3. Resultados	35
3.2.3.1. Academia de Música de Lagos	35
3.2.3.2. Conservatório de Portimão Joly Braga Santos.....	39

3.2.3.3.	Conservatório de Lagoa.....	43
3.2.3.4.	Conservatório de Albufeira	47
3.2.3.5.	Conservatório Regional Maria Campina	51
3.2.3.6.	Conservatório de Música de Olhão	55
3.2.3.7.	Academia de Música de Tavira.....	59
3.2.3.8.	Conservatório Regional de Vila Real de St.º António	63
4.	ANÁLISE DE RESULTADOS	67
4.1.	Discussão dos resultados.....	67
4.2.	Medidas de melhoria	75
5.	CONCLUSÕES	80
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
	ANEXOS	1
•	Academia de Música de Tavira	12
•	Conservatório Regional de Vila Real de St.º António.....	13

1. INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento do tema

A música é uma arte universal que existe há milhares de anos e que as civilizações antigas utilizavam como meio de comunicação. É uma arte que acompanha o ser humano em toda a sua vida e que é usada como forma de expressão que retrata ideias, costumes, sentimentos e condutas sociais. A música é fundamental na formação dos cidadãos como outras áreas do conhecimento também o são, como a filosofia e a matemática. Estudos revelam que aprender música, principalmente na infância, aumenta a capacidade intelectual do indivíduo, a memória, a concentração, a coordenação, a auto-confiança, a capacidade de comunicação, de interagir com os outros, de relaxar e de expressar as emoções [1].

Uma escola de música é um estabelecimento educacional com a função de ensinar música aos seus alunos sob a direção de professores especializados na área. O ensino da música nestes estabelecimentos tanto pode ter o objetivo de formar um indivíduo a nível profissional como pode apenas, habilitar a pessoa para experimentar e aprender um instrumento musical e a teoria musical.

A conceção de uma unidade escolar envolve um complexo processo de planeamento cuja grande preocupação é proporcionar as melhores soluções de espaço e de conforto aos utentes, sem que a sua atenção seja perturbada por problemas acústicos, térmicos, de iluminação, entre outros. O incumprimento dos requisitos mínimos de conforto pode trazer implicações na saúde e na produtividade dos ocupantes [2]. Neste trabalho só se irá dar atenção à parte acústica que é um dos temas de maior relevância no que toca a escolas de música.

A Acústica é entendida como a ciência que estuda o som, a sua propagação nos meios sólidos, líquidos ou gasosos e as suas inter-relações com o ser humano podendo provocar a este sensações agradáveis como a música e a voz, ou sensações desagradáveis, como o ruído. A noção de ruído é subjetiva, pois não depende somente das suas características físicas de amplitude, frequência e duração mas depende principalmente da sensibilidade de cada um relativamente à sua percepção [3]. Nas salas de aula são várias as fontes de ruído interiores (ruído proveniente dos aparelhos de ar-condicionado, sistemas de ventilação, circulação de pessoas nos corredores, entre outros) e/ou exteriores (ruído do tráfego, movimentação de

peças em pátios da edificação, animais, entre outros). Todos estes tipos de ruído interferem nas atividades desenvolvidas nas salas de aula.

Uma vez que a vida de um músico é bastante exigente, em que grande parte do seu tempo é passado a ensaiar para apresentações públicas, além de todo o seu processo anterior de formação passado principalmente em salas de aula, é necessário que as salas de estudo musical proporcionem conforto acústico aos músicos.

A qualidade acústica é uma característica muito importante em salas de aula, pois nestes espaços a comunicação verbal e musical é utilizada para adquirir conhecimentos e por isso influencia muito o processo de aprendizagem. A qualidade acústica de um espaço depende fundamentalmente de dois fatores: do tipo de utilização do espaço e das características acústicas do mesmo [4].

Estudar a acústica de uma sala de aula música é um tema bastante complexo devido à existência de três conjuntos de problemas principais que interagem entre si: o problema físico da propagação das ondas sonoras, os aspetos psicológicos da nossa percepção auditiva e a subjetividade do gosto musical de cada um [5].

1.2. Objetivos

No Algarve existem oito escolas de música e pretende-se com este trabalho analisar duas salas de aula musical de cada escola. As escolas em estudo serão, nomeadamente, a Academia de Música de Lagos, o Conservatório de Portimão Joly Braga Santos, o Conservatório de Música de Lagoa, o Conservatório de Música de Albufeira, o Conservatório Regional do Algarve Maria Campina, o Conservatório de Música de Olhão, a Academia de Música de Tavira e o Conservatório Regional de Vila Real de St.º António.

Para o estudo da acústica das salas de aula musical das várias escolas do Algarve, o presente trabalho procura, através de um Questionário fornecido a professores e alunos de cada escola, conhecer qual a sala que apresenta melhores condições acústicas e a que apresenta piores condições acústicas. A partir daí, o desenvolvimento deste trabalho é em torno dessas salas, com a realização de ensaios para obtenção dos seguintes parâmetros acústicos que caracterizam a qualidade acústica das salas, nomeadamente, o parâmetro Tempo de Reverberação, a Clareza, a Definição, o Tempo de Decaimento Inicial, o Fator de Força e o Ruído de Fundo. De seguida, os valores dos parâmetros acústicos dessas salas foram comparados com os limites regulamentares existentes de modo a inferir conclusões. É também objetivo do presente trabalho propor soluções de melhoria acústica das salas de aula musical.

1.3. Organização do trabalho

O presente trabalho está dividido em 5 capítulos, organizado da seguinte forma:

- No Capítulo 1, faz-se um enquadramento do tema, apresentam-se os objetivos do trabalho e como está organizado.
- No Capítulo 2, aborda-se o tema da acústica arquitetónica, os conceitos teóricos relacionados com a acústica de salas, bem como os parâmetros de qualidade acústica de salas.
- No Capítulo 3, apresenta-se, um Questionário sobre a Qualidade Acústica das Escolas de Música do Algarve realizada aos professores e alunos e as principais respostas obtidas. Descreve-se também, o equipamento utilizado nas medições acústicas, os procedimentos, as exigências regulamentares aplicáveis e por último os resultados das medições com uma pequena descrição arquitetónica das salas e dos materiais constituintes.
- No Capítulo 4, analisam-se os resultados obtidos para cada parâmetro acústico e propõem-se algumas soluções de melhoria acústica.
- No Capítulo 5, apresentam-se as conclusões do estudo efetuado.

No final da dissertação exibem-se as referências bibliográficas utilizadas ao longo da dissertação e também os anexos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Acústica de Edifícios

A Acústica de Edifícios debruça-se, fundamentalmente, sobre duas grandes áreas: o condicionamento acústico interior e o isolamento sonoro [6].

O condicionamento acústico interior, designação vulgarmente atribuída ao estudo da propagação sonora no interior de espaços fechados, procura dotar os espaços de características acústicas adequadas ao tipo de utilização a realizar, proporcionando, desta forma, uma melhor qualidade acústica destes espaços. Este estudo depende fundamentalmente da geometria do espaço, das características de absorção sonora da envolvente e do recheio existente no espaço [6].

O isolamento sonoro refere-se à capacidade de certos materiais, com características específicas, formarem uma barreira, impedindo a transmissão do ruído de um espaço para outro. Existem dois tipos de ruídos, ruídos de condução aérea e ruídos de percussão [7]. Entende-se por ruídos de condução aérea aqueles que são gerados por fontes sonoras que excitam diretamente o ar (sons provocados pela conversa entre pessoas, pelo tráfego de veículos, sons musicais, entre outros) enquanto os que são gerados por ações de choque aplicadas diretamente sobre os elementos de construção são chamados de ruídos de percussão (sons provocados pelo arrastar de móveis, impacto do calçado sobre o piso, fechar de uma porta, martelar numa parede, entre outros) [8]. As principais formas de atuação para o aumento do isolamento sonoro a ruídos aéreos, passa pelo aumento da massa do elemento separador ou pela sua duplicação física. No caso dos ruídos de percussão, as ações mais eficazes para minimizar esse tipo de ruído, passam pela aplicação de camadas de material resiliente nas superfícies sujeitas a impacto, pelo isolamento do elemento de vibração de zonas onde se pretende baixos níveis sonoros através de descontinuidades estruturais (reduzindo a capacidade de propagação do estímulo pela estrutura) ou pela aplicação de teto suspenso, ao nível do receptor, cobrindo as superfícies que radiam som [9].

Neste trabalho, o tema principal é o condicionamento acústico interior, ou seja, o estudo da propagação do som no interior de espaços fechados, nomeadamente, de salas de aula musical.

2.2. Acústica de Salas

A acústica de salas é um domínio da Acústica em que se estuda o modo como o som se propaga em espaços fechados [10].

É importante e necessário, antes da concepção de uma sala, definir o tipo de utilização, pois, para cada finalidade existem diferentes exigências acústicas, sendo que, no fundo, o objetivo de todas é fazer chegar eficazmente a mensagem a transmitir [1;2].

Além da questão da finalidade do espaço, o estudo da acústica de salas preocupa-se também com o tamanho, a forma da sala [10] e os parâmetros acústicos a ter em conta na avaliação destes espaços e nos quais se irão falar na secção 2.3. Estes parâmetros acústicos são fundamentais para quantificar a qualidade acústica de um espaço.

O estudo das condições acústicas de um recinto fechado tem como objetivos tornar esse espaço acusticamente “agradável” e “confortável” ao ouvido e reduzir os níveis de ruídos provenientes do exterior e interior, permitindo a inteligibilidade dos sons no interior do espaço.

As salas para ensino musical são espaços cuja transmissão e percepção dos sons musicais e da palavra estão sempre presentes na rotina dos alunos e professores. Para se garantir a qualidade acústica destas salas, é fundamental a realização de um estudo cuidadoso do tempo de reverberação, da absorção sonora, das reflexões indesejáveis e das fontes de ruído internas e externas. Neste trabalho, serão considerados e estudados vários parâmetros acústicos, designadamente, o Tempo de Reverberação, Fator de Força, Clareza, Definição, Tempo de Decaimento Inicial, Tempo Central e Ruído de Fundo para quantificar a qualidade acústica das salas de aula de música. Todos estes fatores equilibrados contribuem diretamente para a perceptibilidade do discurso falado e transparência do discurso musical além de contribuírem para salas com maior conforto acústico e, assim, neste caso de salas de aula musical para um maior sucesso escolar [4].

2.2.1. Propagação e percepção do som

O som é uma forma de energia que se propaga, em forma de ondas (ondas sonoras), ao longo de um meio de transmissão (líquido, sólido ou gasoso). Este processo tem origem num corpo (corda, membrana) que, ao vibrar, provoca o movimento e o choque entre as moléculas do meio, originando variações da pressão existente (pressão sonora), que ao atingirem o ouvido

humano, produzem sensação auditiva (Figura 2.1). Essas alterações da pressão existente, traduzem-se por, contrações e dilatações dos volumes de ar elementares [3].

É importante referir que, o que se propaga é o movimento e não as partículas do meio, estas apenas oscilam próximas às suas posições de repouso na direção da propagação do som [11]. Quando as partículas estão em repouso diz-se que se encontram à pressão atmosférica (Figura 2.1).

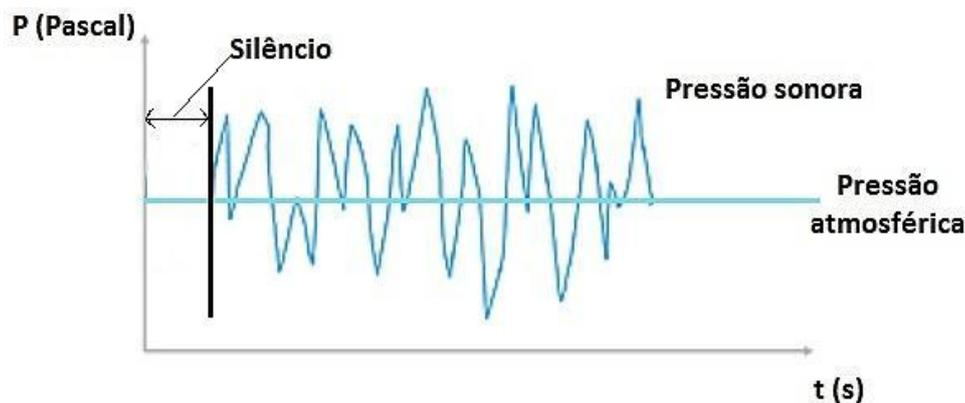


Figura 2.1 – Pressão sonora num determinado ponto [3]

No entanto, nem todas estas variações da pressão provocam uma sensação auditiva, pois é preciso que estas variações ocorram com uma determinada amplitude (dB) e uma determinada frequência (Hz) de forma a serem detetadas pelo ouvido humano [3].

Alguns estudos indicam que o limiar da percepção auditiva da variação do nível de intensidade sonora, que corresponde à alteração da amplitude da onda sonora, é aproximadamente igual a 1dB, o que significa dizer que é necessário um aumento de 1dB no nível do som para que o ouvido humano se perceba de um pequeno aumento do nível da intensidade sonora ou do nível de pressão sonora [12]. Esta intensidade é semelhante ao que habitualmente chamamos de volume. Os limites de audibilidade são determinados em termos de intensidade sonora para um som puro de frequência 1000 Hz e variam desde 10 dB (mínima intensidade audível, correspondente a um som fraco) a 130 dB (máxima intensidade audível sem provocar danos fisiológicos ou dor, correspondente a um som muito forte), como se pode observar na Figura 2.2 [13]. Estes limites de audibilidade dependem da frequência pois, um som de baixa frequência exige muito maior intensidade que um som de média ou alta frequência para ser ouvido (Figura 2.2) [14].

No que diz respeito à frequência, os humanos apenas se apercebem de variações de pressão para frequências compreendidas entre 20 Hz (sons mais graves) e 20000 Hz (sons mais agudos) [3] mas que, como se viu no parágrafo anterior, se não tiverem intensidade sonora suficiente não serão captadas pelo ouvido humano.

A gama de frequências audível (20 Hz a 20000 Hz) divide-se em três regiões: frequências baixas (20 a 355 Hz), frequências médias (355 Hz a 1410 Hz) e frequências altas (1410 Hz a 20000 Hz) [15].

De acordo com um estudo, a sensibilidade auditiva diminui principalmente para as altas frequências com o avanço da idade [16], sendo que, quando se afirma que o limite de audibilidade humana está compreendida entre 20 Hz e 20000 Hz refere-se a indivíduos jovens e com uma audição normal [9].

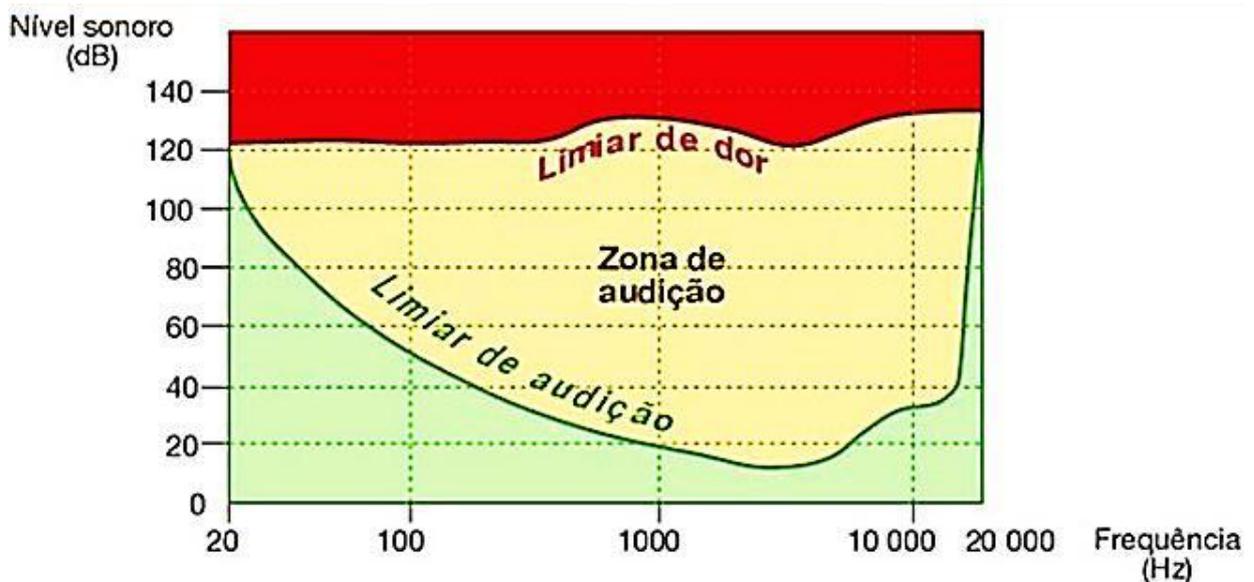


Figura 2.2 – Audibilidade humana [17]

2.2.2. Som direto e som reverberante

Para que o som se propague até a um receptor, é necessária a existência de uma fonte sonora (impulso sonoro) e de um meio transmissor [18]. Neste caso de estudo, a fonte sonora pode ser um instrumento musical ou a voz humana, o meio de propagação o ar e o receptor o aluno/professor.

O som dentro de uma sala pode ser repartido em três partes: som direto, primeiras reflexões e som reverberante [19], como se pode ver na Figura 2.3. O som que ouvimos dentro de uma sala é uma combinação entre o som direto e os sons refletidos. O som direto decresce com a distância à fonte e o som reverberado é função da absorção sonora da sala [9].

O som direto corresponde às ondas sonoras que percorrem um caminho direto desde a fonte sonora ao receptor, sem terem sido refletidas. Após a chegada do som direto, seguem-se as primeiras reflexões que chegam ao receptor até 50 ms a 80 ms e que resultam das colisões com as várias superfícies da sala (paredes laterais, teto, piso, objetos dentro da sala). O som reverberante é composto por todas as reflexões finais que ocorrem posteriormente às primeiras reflexões [20]. Na Figura 2.3, pode-se observar que tais reflexões são repartidas ao longo do tempo e que o nível de pressão sonora (NPS) tende a diminuir ao longo do tempo.

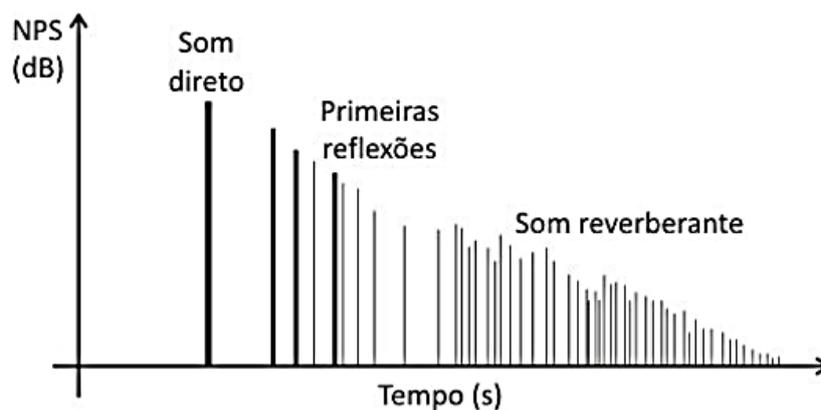


Figura 2.3 – Representação da sequência - Som direto, primeiras reflexões e som reverberante após um estímulo impulsivo [19]

2.2.3. Absorção sonora

A absorção sonora corresponde à energia que é dissipada quando as ondas sonoras encontram uma superfície, transformando esta energia em calor (energia térmica) ou em energia mecânica. A absorção sonora é um fenómeno que minimiza a reflexão das ondas sonoras, diminuindo ou eliminando assim, o nível de reverberação dentro de um espaço fechado [21].

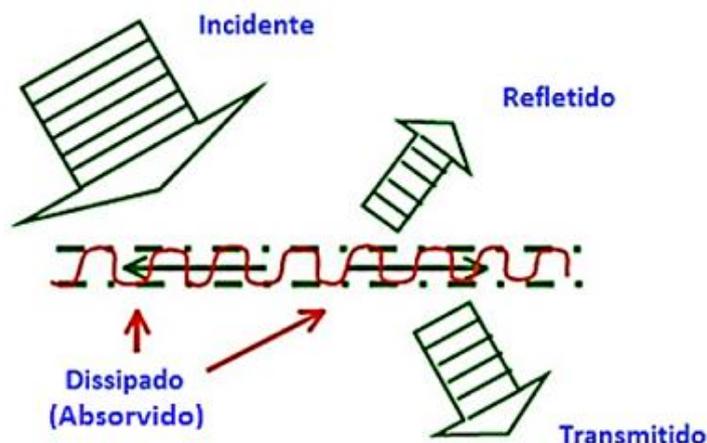


Figura 2.4 – Esquema do comportamento do som ao incidir com a superfície de um material [22]

Como demonstra a Figura 2.4, quando o som incide numa superfície, como por exemplo, uma parede de alvenaria, parte da energia sonora é refletida e volta ao ambiente, outra parte da energia é retida ou absorvida pela parede e é dissipada no ambiente e outra parte transmite-se para o outro lado da parede [23].

Quando se cobre uma parede com um material absorvente este vai ajudar a diminuir a energia refletida para o ambiente e não a energia transmitida, permanecendo praticamente a mesma. Para impedir que a energia transmitida passe de um ambiente para o outro é necessário, aumentar o isolamento sonoro da parede aumentando a sua massa ou criando outra parede, transformando-a em parede dupla em que entre elas deixa-se uma caixa-de-ar ou uma camada resiliente [23].

A absorção sonora determina a qualidade acústica interna do recinto pois, trata-se de um fenómeno que diminui os níveis de pressão sonora e os níveis de reverberação, proporcionando melhor nível de inteligibilidade dentro do espaço fechado [24]. Para este efeito, são utilizados materiais porosos e fibrosos ou sistemas absorventes sonoros como ressoadores ou membranas, escolhidos consoante as gamas de frequências que se pretende atuar [25].

A transmissão sonora é fenómeno que consiste na passagem do som de um recinto para outro recinto [7]. Fisicamente, as ondas sonoras ao incidirem sobre um elemento, por exemplo uma parede ou laje, provocam a sua vibração, que conseqüentemente, é transmitida às partículas do ar do recinto receptor, sendo que desta forma, o elemento vibrante constitui um emissor de ondas sonoras [8]. Portanto, quanto mais rígido e denso for o elemento, menor será a sua

capacidade de vibração e conseqüentemente menor a energia transmitida ao local receptor [24].

A capacidade de absorção dos materiais de construção, parametrizada por um coeficiente de absorção alfa (α), depende das características físicas do material (porosidade, rigidez, forma de instalação, entre outros), da frequência da onda acústica incidente (som grave, médio ou agudo) e do seu ângulo de incidência [23].

O coeficiente de absorção (α) varia entre 0 e 1 e indica a quantidade da energia sonora que o material absorve em cada reflexão, para cada banda de frequência (normalmente 125, 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz). Para, $\alpha = 1$, significa absorção de 100% da energia do raio sonoro pelo material, como exemplo tem-se, uma janela totalmente aberta permitindo a passagem total da energia incidente. Para $\alpha \approx 0$, significa absorção de aproximadamente 0% da energia do raio sonoro pelo material em causa, ou seja, toda a energia incidente no material é aproximadamente refletida, como exemplo, tem-se a superfície de mármore polido, material este muito refletor cujo α é quase nulo, ou seja, 0,01 ou 0,02. Os coeficientes de absorção dos vários materiais de construção podem-se encontrar em literatura própria ou catálogos técnicos [3;24].

Na Figura 2.5 estão representadas as superfícies absorventes típicas que existem, normalmente, numa sala de aula.

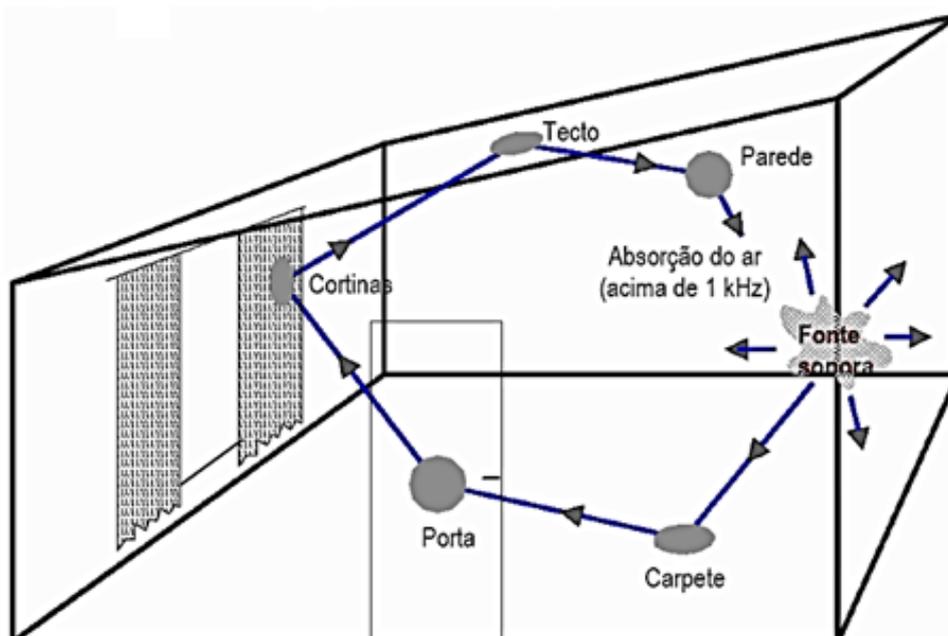


Figura 2.5 – Superfícies absorventes mais comuns numa sala de aula [26].

Além das superfícies absorventes apresentadas na Figura 2.5, é necessário também considerar a absorção sonora das pessoas e do mobiliário existente numa sala de aula [10].

Os materiais e os sistemas construtivos usados para absorver a energia acústica de um determinado espaço agrupam-se em três categorias em função das suas características de absorção [15]:

- Materiais porosos e fibrosos;
- Ressonadores;
- Membranas.

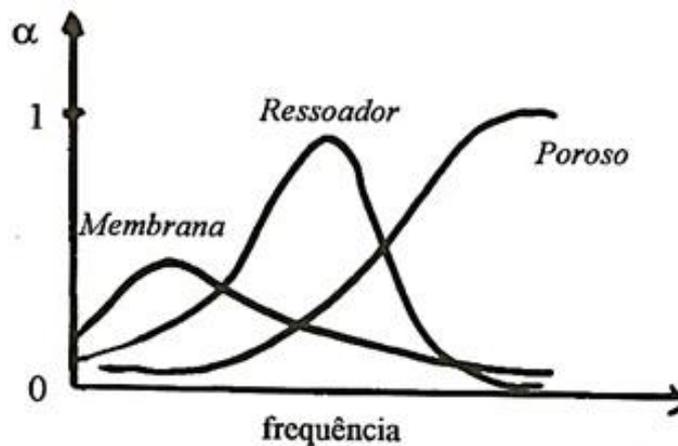


Figura 2.6 - Comportamento dos tipos de materiais e sistemas absorventes em função da frequência [9]

Como demonstra a Figura 2.6, o valor de α (coeficiente de absorção sonora) para um dado material varia com a frequência do som incidente, ou seja, os materiais absorventes não absorvem de igual modo todas as frequências. Sendo assim, os materiais fibrosos e porosos são mais eficazes na absorção das altas frequências, os ressoadores na absorção das médias frequências e as membranas na absorção das baixas frequências como demonstra a Figura 2.6.

Os materiais porosos ou fibrosos são caracterizados por apresentarem parte do seu volume em matéria sólida e outra por pequenos poros preenchidos por ar que comunicam entre si e com o exterior [27]. Alguns exemplos de materiais porosos ou fibrosos são: lã de vidro, lã de rocha, aglomerados de cortiça, espuma de poliuretano flexível, alcatifas e tecidos (Figura 2.7).

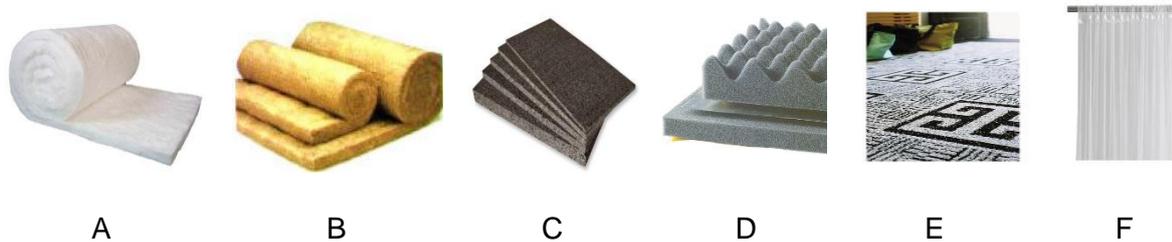


Figura 2.7 – Exemplo de materiais porosos e fibrosos [27].

(A) – Lã de vidro; (B) – Lã de rocha; (C) – Aglomerado negro de cortiça; (D) – Espuma de Poliuretano flexível; (E) – Alcatifa; (F) – Tecido

Os ressoadores, também designados por ressoadores de Helmholtz (Figura 2.8 à esquerda), são formados por cavidades (por exemplo o corpo de uma garrafa vazia), que estão em contacto com ar do recinto através de uma abertura estreita para o exterior (gargalo). O sistema de funcionamento de um ressoador é idêntico ao que acontece com um sistema mecânico massa-mola, em que, o ar no gargalo corresponde ao elemento massa e o ar dentro do ressoador ao elemento mola. Quando as ondas sonoras incidem na superfície de entrada do gargalo induzem deslocamentos alternados à massa de ar aí contida, originando a dissipação de energia por atrito do ar contra as paredes do gargalo e através do amortecimento [15]. Na prática, este tipo de sistema é aplicado nos edifícios através de painéis perfurados a uma certa distância de um elemento de suporte rígido, vertical ou horizontal, em que os furos funcionam como gargalos e os volumes ressonantes estão interligados (Figura 2.8 à direita) [15].

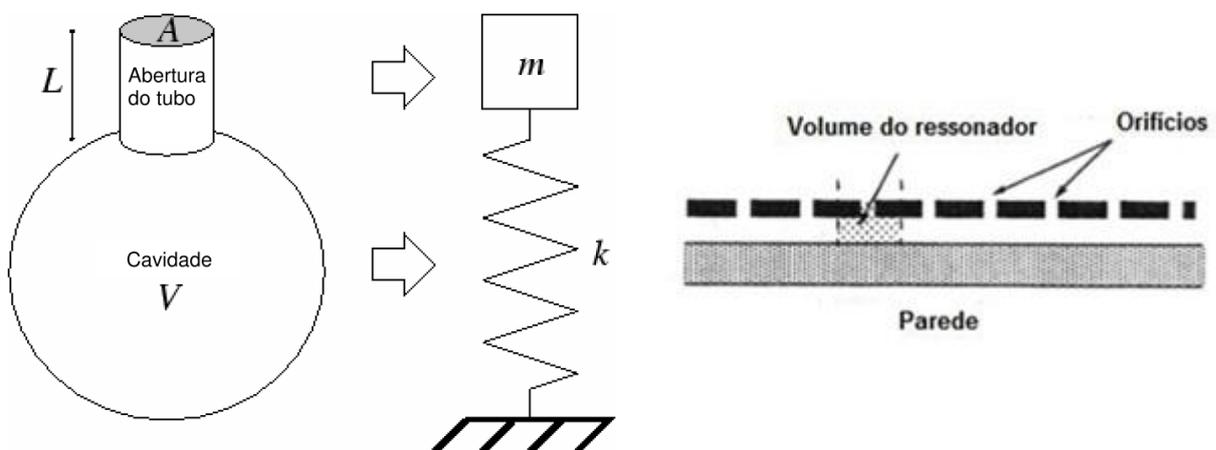


Figura 2.8 – À esquerda: Ressorador Helmholtz [15]; À direita: Sistema de ressoadores interligados [27]

Nas membranas (Figura 2.9), as ondas sonoras são absorvidas através da vibração de toda a sua estrutura constituída por grandes áreas de painéis flexíveis de pequena espessura (normalmente painéis de gesso cartonado ou madeira) colocados a uma certa distância do elemento rígido vertical ou horizontal (parede ou teto) através de apoios [15].

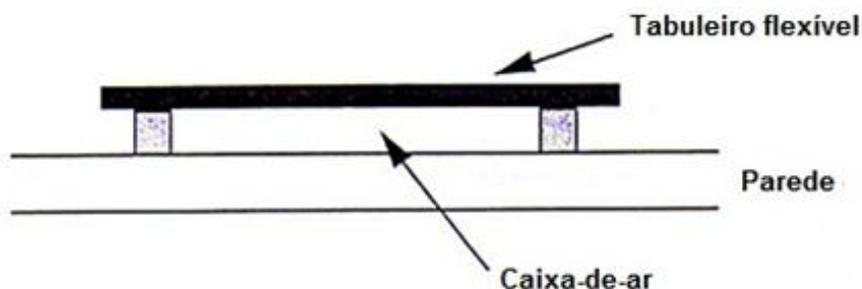


Figura 2.9 – Sistema absorvente: Membrana [27]

Nos casos, em que se pretende obter um espaço com uma absorção elevada e equilibrada em toda a gama de frequências audível (desde as mais baixas às mais altas) dos vários instrumentos musicais, poderão adotar-se soluções mistas, ou seja, soluções em que são utilizados sistemas absorventes sonoros (ressoadores e membranas) com materiais porosos ou fibrosos. As soluções mistas (Figura 2.10) mais utilizadas no condicionamento acústico interior ou na correção de acústica de espaços são constituídas por painéis perfurados ou ranhurados de pequenas espessuras (Figuras 2.11 e 2.12), que funcionam simultaneamente como ressoadores e como membranas, e por materiais porosos ou fibrosos no interior da caixa-de-ar [6].

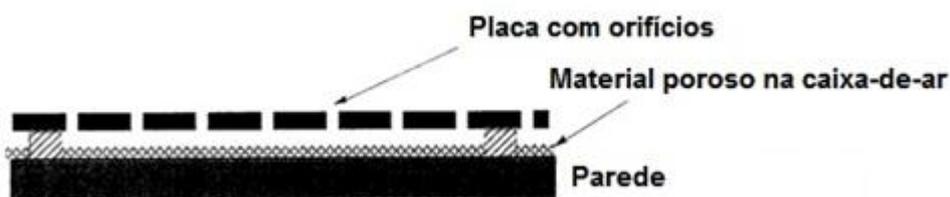


Figura 2.10 – Solução mista (Ressorador, membrana e material poroso a funcionarem em simultâneo) [27]

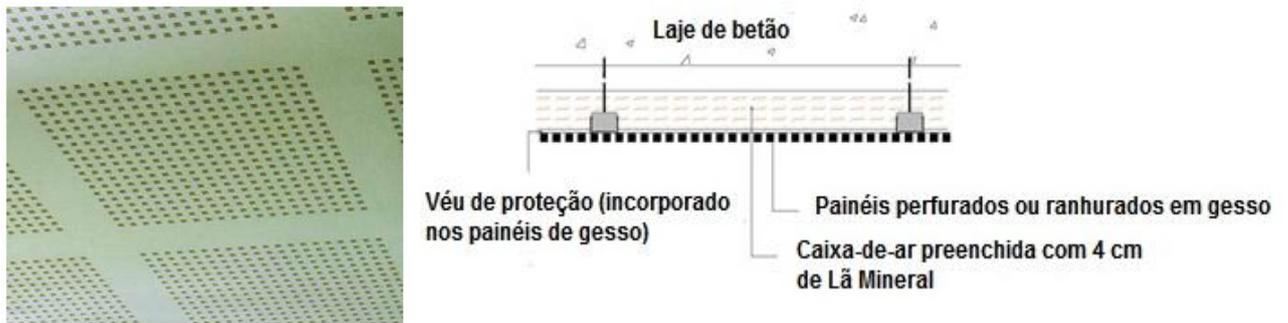


Figura 2.11 – Painéis perfurados em gesso cartonado para aplicação em sistemas absorventes – Pormenor de aplicação num teto falso [6]

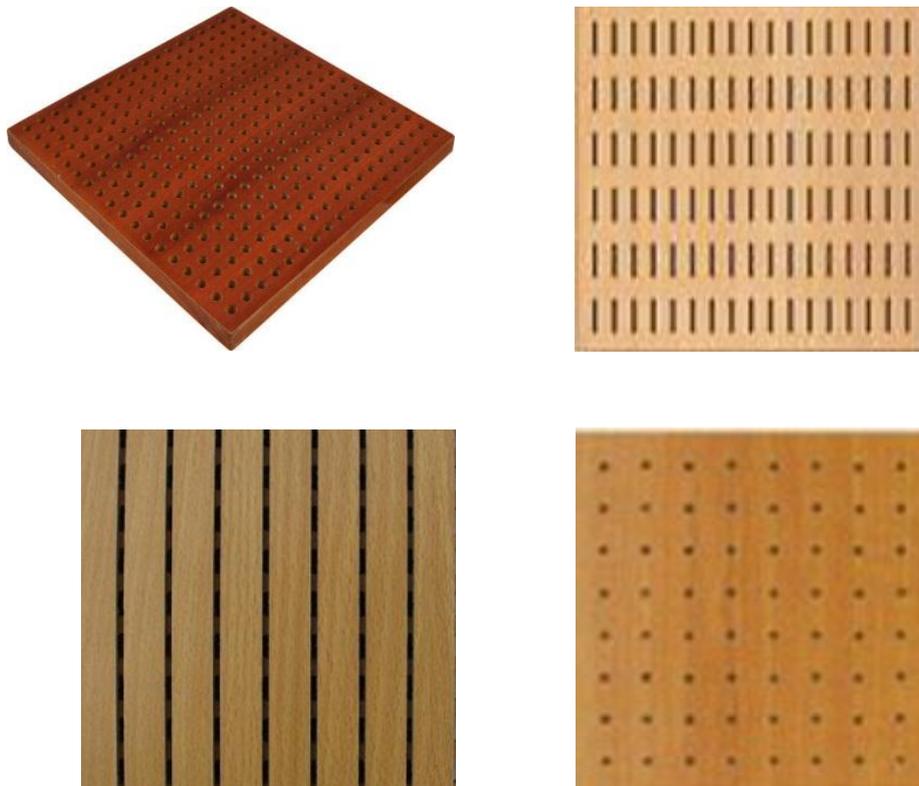


Figura 2.12 – Painéis perfurados e ranhurados para aplicação em sistemas absorventes [58; 59; 60]

2.2.4. Tempo de Reverberação (T_r)

Um dos parâmetros mais importantes para avaliar a qualidade acústica do interior de uma sala é o Tempo de Reverberação (T_r) [10]. Este parâmetro, denotado também por T_{60} , é definido como o tempo que o nível de intensidade de um som demora a diminuir 60 dB após a interrupção da emissão sonora (Figura 2.13A), ou seja, corresponde ao tempo de permanência de um determinado som após a extinção da emissão sonora dentro de uma sala [28].

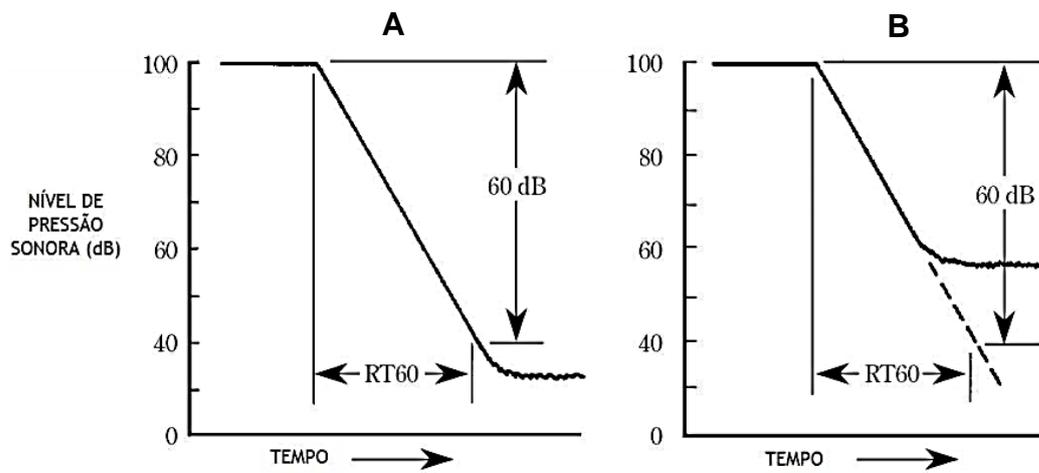


Figura 2.13 - Representação gráfica do Tempo de Reverberação [29]

Na Figura 2.13A observa-se que o Ruído de Fundo é de 30 dB e o nível da fonte sonora é de 100 dB sendo possível medir um decaimento de 60 dB sem ser contaminado pela influência do Ruído de Fundo. Na Figura 2.13B já não é possível medir o decaimento de 60 dB devido à interferência do Ruído de Fundo, que neste caso, apresenta um valor relativamente elevado de 60 dB [29]. Quando isto acontece, o habitual é utilizar os parâmetros T_{20} ou T_{30} que corresponde ao tempo que o nível de pressão sonora demora a diminuir 20 dB e 30 dB respetivamente, sendo depois esse valor extrapolado para um decaimento de 60 dB [25]. Segundo a norma NP EN ISO 3382-2 [30] a fonte sonora deve ser capaz de produzir um nível de pressão sonora de pico suficiente para que o decaimento se inicie, pelo menos, 35 dB acima do Ruído de Fundo para o caso em que se pretende medir o T_{20} e acima de 45 dB se se pretender medir o T_{30} .

O Tempo de Reverberação, T_r ou T_{60} , calculado com base num decaimento de 20 dB é determinado multiplicando o respetivo tempo por 3, ou se for calculado com base num decaimento de 30 dB é determinado multiplicando o respetivo tempo por 2. A estes valores já

multiplicados por 3 ou por 2 (isto, é, extrapolando o decaimento para os 60 dB), designam-se por T_{20} e T_{30} respetivamente [9].

Os parâmetros T_{20} e T_{30} são obtidos através da inclinação da curva de decaimento da resposta impulsiva integrada (método explicado mais à frente) entre -5 dB e -25 dB ou entre -5 dB e -35 dB respetivamente (Figura 2.14) [31].

Neste trabalho, foi utilizado o parâmetro T_{20} .

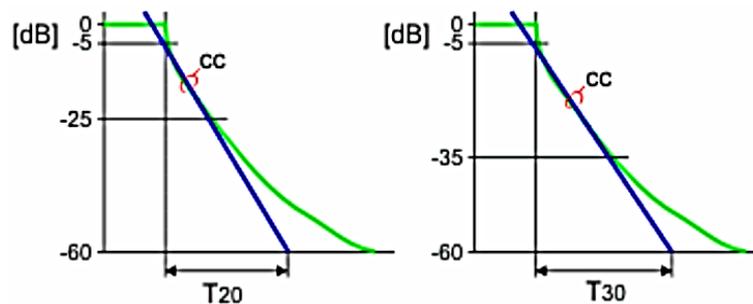


Figura 2.14 – Representação gráfica dos parâmetros T_{20} e T_{30} [55]

Uma curva de decaimento, corresponde a uma representação gráfica do decaimento do nível de pressão sonora numa sala em função do tempo após a interrupção da emissão sonora (Figura 2.14). Existem dois métodos de obtenção das curvas de decaimento, método do Ruído Interrompido e método da Resposta Impulsiva Integrada, ambos métodos de medição do Tempo de Reverberação [30].

Neste trabalho foi utilizado o método da Resposta Impulsiva Integrada. Este método consiste na obtenção das curvas de decaimento pela integração inversa no tempo do quadrado das respostas impulsivas [30]. A resposta impulsiva de uma sala consiste numa descrição da evolução temporal da pressão sonora observada num determinado ponto de receção da sala [32]. A resposta impulsiva desde uma posição da fonte para uma posição do receptor numa sala pode ser medida usando uma fonte impulsiva como tiros de pistolas, faíscas, estouros, entre outros [30]. Neste trabalho utilizou-se o rebentamento de balões como fonte impulsiva para a realização das medições acústica.

O Tempo de Reverberação numa sala tem como efeitos o aumento do nível sonoro (por acréscimo do som refletido), traduzindo um efeito favorável, e o disfarce dos sons diretos em que na maioria dos casos traduz um efeito negativo. Em salas de música, o Tempo de Reverberação tem de ser um pouco mais elevado que em salas onde a palavra predomina isto

pelo facto, das peças musicais soarem melhor em espaços onde existe um Tempo de Reverberação que permita ouvir as notas musicais mais ligadas entre si [9], promovendo um melhor conforto também para o próprio executante. Em salas para a palavra, o Tempo de Reverberação tem de ser mais baixo para que haja um aumento da inteligibilidade da palavra nesses espaços [9].

O parâmetro Tempo de Reverberação depende do volume da sala, da área e características dos materiais que compõem as paredes, pavimento e teto, da ocupação da sala (pessoas, móveis e objetos) e da frequência considerada. Para os casos onde se dá importância à percetibilidade da fala, é usual a avaliação nas bandas de frequência de 500, 1000 e 2000 Hz e assim, serão consideradas também, para as salas de aula de música deste trabalho. Quanto mais absorventes forem os materiais que constituem a sala menor será o Tempo de Reverberação, pois existem menos reflexões do som devido à instalação destes materiais absorventes [33].

O Tempo de Reverberação pode ser calculado através das fórmulas de Eyring, Sabine e Millington [28]. A mais utilizada é a *Fórmula de Sabine*, válida desde que se possa considerar que o campo sonoro é difuso. Esta fórmula leva em conta as dimensões da sala e os materiais constituintes da sala e é dada por [9]:

$$T_r = \frac{0,16 \times V}{A}$$

Onde:

T_r = Tempo de Reverberação (s)

V = Volume do compartimento (m^3)

A = Área de absorção sonora equivalente (m^2)

A área de absorção sonora equivalente das superfícies da sala (A) é definida como [9]:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_i \times S_i$$

Onde:

A = Área de absorção da superfície (m^2)

α = Coeficiente de absorção do material (sem unidades)

S = Área da superfície do material (m^2)

Como foi dito na secção 2.2.3, o coeficiente de absorção (α) varia entre 0 e 1. Por exemplo, o mármore polido (material muito refletor) apresenta uma absorção sonora quase nula, de 1% ou 2% ($\alpha=0,01$ ou $0,02$), enquanto, por exemplo, uma porta ou uma janela aberta apresenta uma absorção sonora de 100% ($\alpha=1$), o que significa que toda a energia que lhe incide é totalmente absorvida. Um material é considerado “absorvente” quando apresenta um coeficiente de absorção (α) superior a 0,50 [9].

No Decreto-Lei nº 96/2008 [34], faz-se referência a um parâmetro T, tempo reverberação, que é calculado a partir da média aritmética entre os valores de T_{20} , T_{30} ou T_{60} das bandas de oitava de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz. Neste trabalho, como foi utilizado o parâmetro T_{20} , então, T, corresponde à média aritmética dos valores de T_{20} das bandas de oitava de 500, 1000 Hz e 2000 Hz.

2.2.5. Reflexão, difusão e difração sonora

Como foi esclarecido na secção 2.2.3, quando uma onda sonora encontra um obstáculo, parte desta será refletida, fenómeno que ocorre quando as ondas sonoras incidem sobre uma superfície (ondas incidentes) e retornam ao meio de propagação inicial ou meio do qual se originaram (onda refletidas) [35].

Dependendo das características da superfície refletora, a reflexão pode ser classificada como especular ou difusa (Figura 2.15 e 2.16).

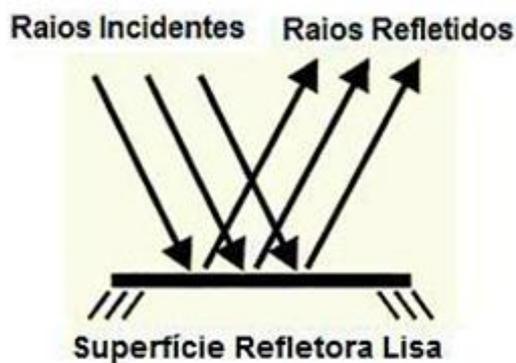


Figura 2.15 – Reflexão especular [35]

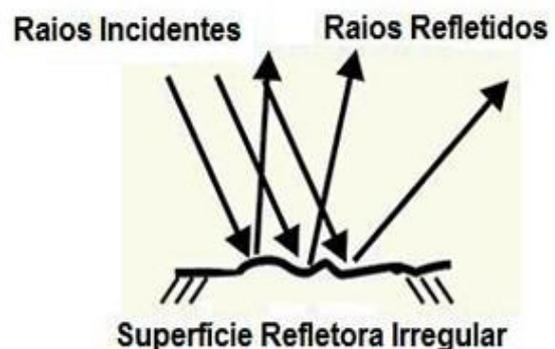


Figura 2.16 – Reflexão difusa [35]

A reflexão especular (Figura 2.15) ocorre quando a superfície de incidências das ondas sonoras é totalmente plana e polida como é o caso dos metais, espelhos, entre outros [35]. A Lei da Reflexão afirma que, para a reflexão especular, o ângulo da onda incidente com a normal é igual ao ângulo da onda refletida com a normal ($\theta_i = \theta_r$) [36], como se pode observar na Figura 2.17.

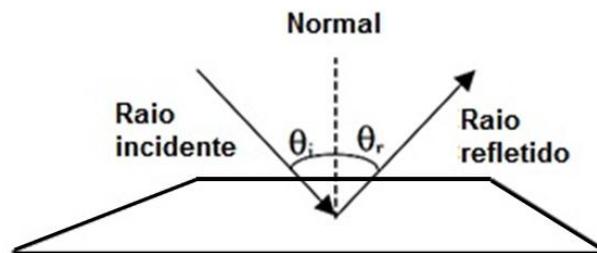


Figura 2.17 - Reflexão especular: Ângulo de incidência igual ao ângulo de reflexão (Lei da Reflexão) [36]

A reflexão difusa ou difusão sonora (Figura 2.16) acontece quando a superfície de incidência das ondas sonoras apresenta irregularidades com algum relevo ou não é plana, fazendo com que as ondas sonoras ao incidirem neste tipo de superfícies reflitam em múltiplas direções [35]. O tamanho das irregularidades ou relevos condiciona qual o tipo de frequências que vão ser refletidas de forma difusa (em função dos seus respetivos comprimentos de onda), pois uma superfície que apresente pequenos relevos só será difusa para altas frequências [9]. Uma sala com uma boa difusão sonora, promove aos ouvintes a sensação de que o som chega a partir de todas as direções (Figura 2.18) [37]. Ao conjunto destas ondas refletidas, provenientes de todas as direções do recinto e que se combinam de tal forma que a densidade média de energia é uniforme em qualquer ponto do campo, dá-se o nome de campo sonoro difuso (Figura 2.18) [38].

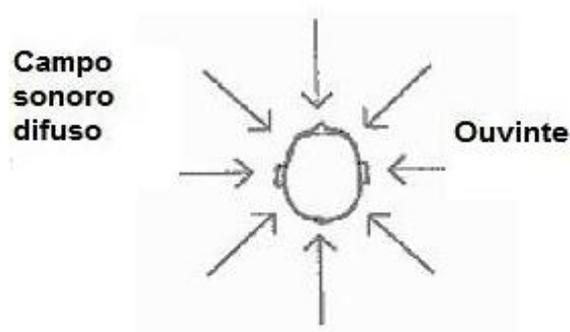


Figura 2.18 - Difusão sonora: Criação de um campo sonoro difuso [39]

Outro fenómeno, que pode ocorrer quando as ondas sonoras incidem numa superfície é a difração sonora.

O fenómeno da difração sonora é entendido como a propriedade que a onda possui em contornar obstáculos ou atravessar aberturas que encontra durante a sua propagação [40].

Como mostram as Figuras 2.19, 2.20 e 2.21, as ondas sonoras que inicialmente se propagavam apenas numa única direção, após a difração, ir-se-ão propagar em diversas direções.

A menor ou maior capacidade que uma onda tem de sofrer difração está relacionada com o seu comprimento de onda e as dimensões do obstáculo (Figura 2.19) ou o seu comprimento de onda e a largura da fenda (Figura 2.20 e 2.21) [41].

Quanto maior o comprimento de onda quando comparado com o tamanho do obstáculo ou com uma abertura (da mesma ordem de grandeza), mais fácil será a sua difração (Figura 2.21) [40]. Em alguns casos de ondas com comprimentos de onda muito pequenos, como é o caso das ondas luminosas, elas provavelmente não se conseguirão difratar [40] pois, os obstáculos e aberturas em que a luz incide são normalmente bastante grandes em relação ao seu comprimento de onda.

O comprimento de uma onda sonora varia em média entre 1,7 cm (20000 Hz), que corresponde a um som agudo, e 17 m (20 Hz), que corresponde a um som grave, enquanto que, as ondas luminosas variam entre $0,4 \times 10^{-9}$ m (luz violeta) até $0,7 \times 10^{-9}$ m (luz vermelha). Devido às ondas sonoras apresentarem comprimentos de onda grandes, a difração facilmente acontece e conseguem-se ouvir sons mesmo que não se esteja a ver a fonte sonora, pois estas ondas “atravessam” objetos do nosso quotidiano como portas, janelas ou “contornam” esquinas, muros e outros obstáculos da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda [40].

Como o grau de difração depende do comprimento de onda, os sons graves têm mais facilidade em sofrer difração que os sons agudos uma vez que apresentam comprimentos de onda maiores [18].

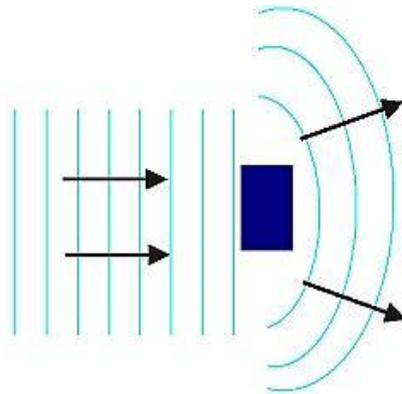


Figura 2.19 – Difração da onda sonora ao contornar um obstáculo [42]

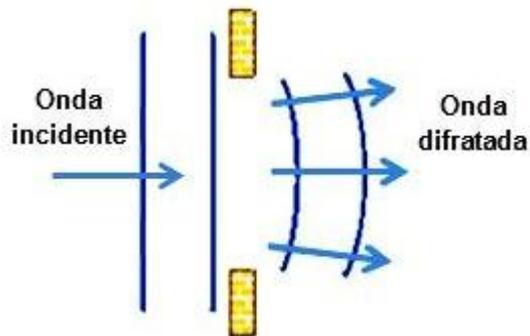


Figura 2.20 – Menor difração sonora (Abertura da fenda superior ao comprimento de onda) [43]

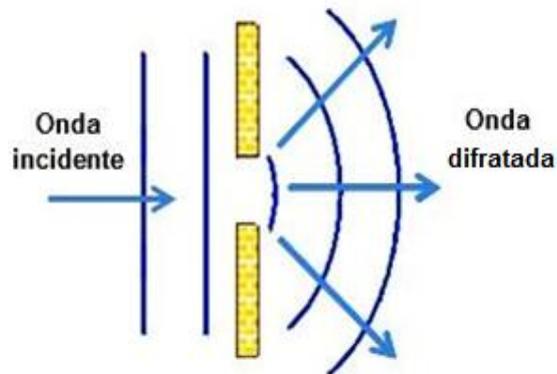


Figura 2.21 – Maior difração sonora (Abertura da fenda aproximadamente igual ao comprimento de onda) [43]

2.3. Parâmetros de qualidade acústica de salas

O Tempo de Reverberação sendo o parâmetro principal e o mais conhecido para avaliar a qualidade acústica de uma sala, não caracteriza, por si só, o comportamento acústico de uma sala. Existem outros parâmetros igualmente importantes que definem a qualidade acústica de uma sala de música [32] e que são apresentados neste capítulo.

Segundo a norma EN ISO 3382-1 [31], todos os parâmetros acústicos, Tempo de Reverberação, Clareza, Definição, Fator de Força, Tempo de Decaimento Inicial e Tempo Central são obtidos através da reposta impulsiva [31], conceito este explicado anteriormente na secção 2.2.4.

Todos estes parâmetros acústicos que caracterizam as salas de música foram extraídos com o auxílio de um software de cálculo automático [44], gentilmente disponibilizado pela empresa SCHIU - Engenharia de Vibração e Ruído.

2.3.1. Ruído de Fundo

Quando um som possui intensidade suficiente para interferir e perturbar a audição e comunicação no interior da sala, denomina-se por Ruído de Fundo [45].

Os dois tipos de Ruído de Fundo existentes, que podem perturbar o processo de aprendizagem dos alunos nas salas de aula e que são resultantes das atividades envolventes são:

- Ruído de Fundo proveniente do exterior;
- Ruído de Fundo proveniente do interior.

O ruído proveniente do exterior do edifício está associado a ruídos provenientes do tráfego rodoviário, aéreo e ferroviário, movimento de pessoas nos pátios e jardins das escolas, animais, condições meteorológicas, entre outros, como se pode observar na Figura 2.22.

O ruído proveniente do interior do edifício compreende todo o ruído resultante de conversas e circulação de pessoas nos corredores do edifício, dos sons provenientes de outras salas de aula, ruído de tubagens, sistemas de ventilação, ar-condicionado, canalizações, entre outros, como se pode observar na Figura 2.22.

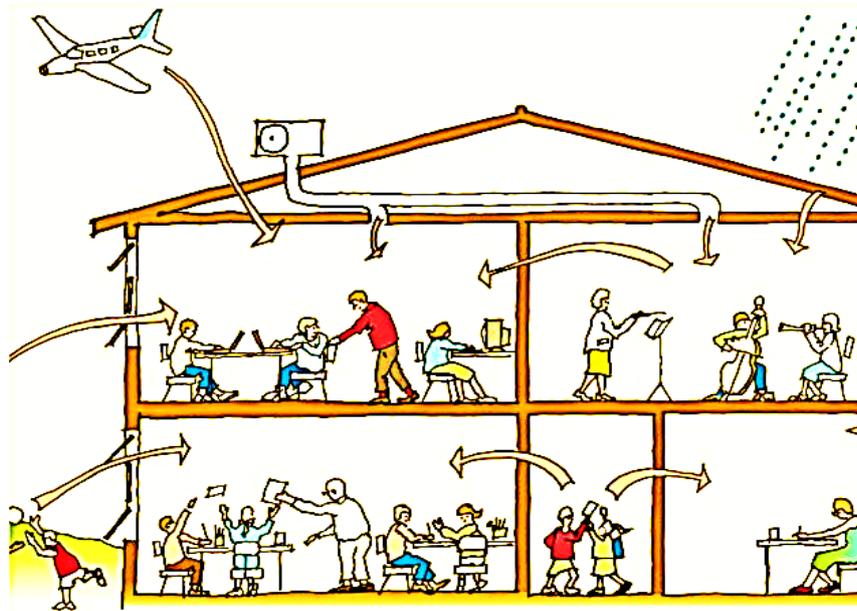


Figura 2.22 – Principais fontes de ruído de uma escola [46]

Estes exemplos de Ruído de Fundo podem ser de carácter permanente, como é o caso dos sistemas de ventilação e do ruído de tráfego rodoviário, pelo que interferem continuamente nas atividades dentro de uma sala de aula ou de carácter transitório, como é o caso do ruído de tráfego aéreo, vozes e circulação de pessoas nos corredores, pelo que interferem apenas momentaneamente.

O Ruído de Fundo abrange assim, todos os sons indesejáveis escutados na sala que não os da fonte (professor ou aluno), que perturbam a audição e a comunicação entre estes [9].

O Ruído de Fundo num compartimento depende do isolamento sonoro proporcionado pelos elementos de construção da envolvente desse espaço. A minimização dos ruídos provenientes do exterior pode ser feita através de um adequado isolamento sonoro da fachada. Relativamente aos ruídos provenientes do interior do edifício, para cada fonte de ruído existirá uma solução adequada, mas que no geral poderá passar por um melhor isolamento da compartimentação interior do edifício, da utilização de equipamentos que gerem menos ruído, entre outros.

O excesso de Ruído de Fundo numa sala de aula, faz com que a comunicação entre o professor e os alunos se torne difícil, provocando, gradualmente, baixa produtividade, perdas de concentração, fadiga, desconforto, ansiedade e *stress* aos alunos e professores [47].

2.3.2. Fator de Força (G)

O parâmetro Fator de Força (G), expresso em dB, corresponde à razão entre a energia total recebida numa determinada posição do recinto fechado e a energia recebida a 10 metros da fonte sonora, em campo livre (ambiente anecóico) [9], ou seja, num ambiente em que praticamente só há som direto, não existem reflexões [21]. Este parâmetro foi definido por Lehmann (1976) [48]. A sensação auditiva associada a este parâmetro é de amplificação e reforço da intensidade dos sons dentro do recinto [49]. A expressão de G é dada por [31]:

$$G = 10 \log \frac{\int_0^{+\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{+\infty} p_{10m}^2(t) dt}$$

Onde:

G = Fator de Força (Sound Strength) (dB)

$p(t)$ = Pressão sonora instantânea da resposta impulsiva da sala num determinado ponto (dB)

$p_{10m}(t)$ = Pressão sonora instantânea da resposta impulsiva da sala, em campo livre, a uma distância de 10 metros da fonte (dB)

2.3.3. Clareza (C_{80})

O parâmetro Clareza (C_{80}), expresso em decibel (dB), relaciona a energia sonora recebida nos primeiros 80 ms do sinal recebido com a energia sonora recebida dos 80 ms até ao final da reverberação [9]. Segundo Reichardt (1975), considera-se o intervalo de tempo 80 ms, como limite para a compreensibilidade do discurso musical (C_{80}) [50]. A clareza do discurso musical será tanto melhor quanto maior for o parâmetro C_{80} , sendo que, as notas musicais são, assim, mais claramente separadas e distintamente ouvidas [51]. Para a determinação do valor do parâmetro clareza, C_{80} , usa-se a seguinte equação [31]:

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

Onde:

C_{80} = Clareza (Clarity) (dB)

$p(t)$ = Pressão sonora instantânea da resposta impulsiva da sala num determinado ponto (dB).

2.3.4. Definição (D_{50})

O parâmetro Definição (D_{50}), adimensional, relaciona a energia sonora recebida nos primeiros 50 ms com a energia sonora total. O intervalo de tempo 50 ms está relacionado com o limite da inteligibilidade com respeito à palavra. Este parâmetro foi introduzido por Thiele (1953) [48]. Todas as reflexões que chegam ao ouvinte até 50 ms, irão ajudar a reforçar a voz do orador tornando, positivamente, mais perceptível a palavra. O excesso de reflexões depois dos 50 ms, comprometerão a compreensibilidade da palavra [52]. A definição do discurso falado será tanto melhor quanto maior for o parâmetro D_{50} , sendo que, mais claro e limpo será o som para o ouvinte [51]. Para a determinação do valor do parâmetro clareza, D_{50} , usa-se a seguinte equação [31]:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50 \text{ ms}} [p(t)]^2 dt}{\int_0^{+\infty} [p(t)]^2 dt}$$

Onde:

D_{50} = Definição (Definition) (adimensional)

$p(t)$ = Pressão sonora instantânea da resposta impulsiva da sala num determinado ponto (dB).

2.3.5. Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

O parâmetro Tempo de Decaimento Inicial ou *Early Decay Time* (EDT), expresso em segundos (s) e proposto por Jordan (1970) [48], é definido como o tempo que o nível de intensidade de um som demora a diminuir 10 dB após a interrupção da fonte sonora e multiplicado por um fator de 6 (extrapolado para um decaimento de 60 dB) [9]. Este parâmetro é obtido através da inclinação da curva de decaimento da resposta impulsiva integrada da sala entre 0 dB e -10 dB [31], como se pode observar na Figura 2.23 (diferente do parâmetro T_{20} ou T_{30} que ocorre entre -5 dB e -25 dB e entre -5 dB e -35 dB respetivamente). Por vezes, o parâmetro T_{10} pode ser confundido com o parâmetro EDT, embora este seja medido entre 0 dB e -10 dB e o T_{10} entre -5 dB e -15 dB [3].

O parâmetro EDT permite avaliar os efeitos das primeiras reflexões que correspondem às reflexões mais perceptíveis pelos ouvintes [6]. Sendo assim, a forma do decaimento inicial vai ser bastante influenciada pelas primeiras reflexões e vai depender das características de absorção das superfícies que estão mais próximas do ponto de análise, enquanto que, a forma

do decaimento final vai depender das características de absorção das superfícies mais afastadas do ponto de análise [51;52].

Segunda a norma EN ISO 3382-1 [31], o EDT está relacionado com a percepção da reverberação, enquanto que, o Tempo de Reverberação (Tr) com as propriedades físicas da sala. Desta forma, o parâmetro EDT é adequado para analisar as diferenças de percepção de reverberação entre diversos pontos de um determinado espaço fechado [54].

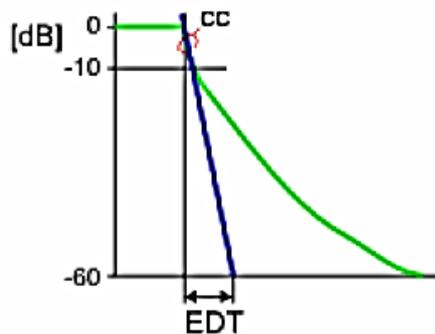


Figura 2.23 – Representação gráfica do parâmetro EDT [55]

2.3.6. Tempo Central (T_S)

O parâmetro Tempo Central (T_S), expresso em milissegundos (ms) e proposto por Cremer e Kurer (1971) [48], é definido como o ponto no instante onde a energia recebida antes deste ponto é igual à energia recebida depois daquele ponto [9]. Estando este parâmetro relacionado com a clareza da música e a definição da palavra, quanto menor o valor de T_S , melhor é a perceptibilidade da música e da palavra [49]. Este parâmetro é expresso da seguinte forma [32]:

$$T_S = 10 \log \frac{\int_0^{+\infty} t \cdot p^2(t) dt}{\int_0^{+\infty} p^2(t) dt}$$

Onde:

T_S = Tempo Central (Centre time) (ms)

$p(t)$ = Pressão sonora instantânea da resposta impulsiva da sala num determinado instante (dB).

3. LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO

3.1. Questionário

Antes de realizar as medições acústicas foi elaborado um Questionário (Ver Anexo 1) com o objetivo de conhecer a opinião de professores e alunos em relação à qualidade acústica das salas das escolas de música do Algarve. Cada participante tinha como principal objetivo indicar quais as salas da sua escola que considerava ter melhor e pior comportamento acústico.

O Questionário é constituído por 14 perguntas, nas quais as primeiras três perguntas são de identificação pessoal e musical, informações que poderiam influenciar as suas opiniões em relação à qualidade acústica das salas, como a categoria em que se insere, aluno ou professor e qual o instrumento que toca. Nas restantes perguntas foi solicitada a escolha da sala que consideravam a melhor e a pior do ponto de vista do comportamento acústico. No fim de cada parte existe uma pergunta aberta, em que os inquiridos têm oportunidade e liberdade de expor outras opiniões que queiram partilhar. O referido Questionário pode ser consultado no Anexo 1 ou no seguinte site:

docs.google.com/forms/d/10U2_vP5s1yYQBMpeD2feum1JeSCx5oeUY5jpceNPQcE/viewform

3.1.1. Resultados

Para cada escola foram conseguidas entre 4 e 18 respostas ao Questionário:

- Academia de Música de Lagos – 18 respostas;
- Conservatório de Portimão Joly Braga Santos – 14 respostas;
- Conservatório de Música de Lagoa – 8 respostas;
- Conservatório de Música de Albufeira – 7 respostas;
- Conservatório Regional do Algarve Maria Campina – 5 respostas;
- Conservatório de Música de Olhão – 4 respostas;
- Academia de Música de Tavira – 7 respostas;
- Conservatório Regional de Vila Real de St.º António – 4 respostas.

Não foi possível obter mais respostas uma vez que, muitos dos alunos e professores encontravam-se sem tempo e ocupados com audições semestrais e provas finais de ano letivo.

As respostas às perguntas encontram-se no Anexo 2 e nas Tabelas 3.1 e 3.2. Na Tabela 3.1 estão expostas as salas mais votadas, por apresentarem piores condições acústicas. Na Tabela 3.2 estão apresentadas as salas mais votadas, por apresentarem melhores condições acústicas. No Anexo 2 encontram-se todas as salas que foram referidas no Questionário, sendo que, para as mais votadas como tendo o melhor e pior comportamento acústico, apresentam-se também os instrumentos que os inquiridos que votaram nessas salas praticam.

Tabela 3.1 – Salas de cada escola com piores condições acústicas de acordo com o Questionário realizado

Escola	Sala considerada com piores condições acústicas	Classificação Acústica	Principais justificações da escolha
Academia de Música de Lagos	Biblioteca	Má	- Ruído proveniente das salas vizinhas; - Muito pouco reverberante.
Conservatório de Portimão Joly Braga Santos	Sala 6	Má	- Ruído proveniente dos corredores; - Demasiado reverberante.
Conservatório de Música de Lagoa	Sala 7	Má	- Ruído proveniente das salas vizinhas; - Ruído proveniente dos corredores; - Demasiado reverberante.
Conservatório de Música de Albufeira	Sala 8	Média	- Ruído proveniente das salas vizinhas; - Ruído proveniente dos corredores; - Reverberação intermédia.
Conservatório Regional do Algarve Maria Campina	Sala 12	Média	- Ruído proveniente das salas vizinhas; - Ruído proveniente dos corredores; - Reverberação intermédia.
Conservatório de Música de Olhão	Sala 4	Média	- Ruído proveniente das salas vizinhas; - Demasiada reverberação.
Academia de Música de Tavira	Sala 2	Média	- Ruído proveniente das salas vizinhas; - Reverberação intermédia.
Conservatório de Vila Real de St.º António	Sala 7	Má	- Ruído proveniente dos corredores; - Ruído proveniente do trânsito; - Demasiado reverberante.

É de referir que, a Biblioteca (Lagos) apesar do seu nome, funciona como uma sala de aula de música. O seu nome deve-se ao facto, deste compartimento servir, também, para arrumação de partituras e livros teóricos.

Tabela 3.2 - Salas de cada escola com melhores condições acústicas de acordo com o Questionário realizado

Escola	Designação da sala com melhores condições acústicas	Classificação Acústica	Principais justificações da escolha
Academia de Música de Lagos	Auditório	Boa	- Ruído proveniente dos corredores; - Reverberante.
Conservatório de Portimão Joly Braga Santos	Sala 11	Boa	- Inexistência de ruído; - Reverberante.
Conservatório de Música de Lagoa	Sala 1	Boa	- Inexistência de ruído; - Pouco reverberante.
Conservatório de Música de Albufeira	Sala 6	Boa	- Ruído proveniente dos corredores; - Ruído proveniente do trânsito; - Reverberante.
Conservatório Regional do Algarve Maria Campina	Sala 15	Boa	- Inexistência de ruído; - Reverberante.
Conservatório de Música de Olhão	Sala 5	Boa	- Ruído proveniente das salas vizinhas; - Ruído proveniente dos corredores; - Reverberante.
Academia de Música de Tavira	Sala 5	Boa	- Ruído proveniente do trânsito; - Reverberante.
Conservatório de Vila Real de St.º António	Sala 9	Boa	- Ruído proveniente das salas vizinhas; - Ruído proveniente dos corredores; - Reverberante.

Para um melhor conhecimento das várias salas mencionadas nas Tabelas acima, são apresentadas no Capítulo 5, as características arquitetónicas, geométricas e as plantas das várias salas.

Das 67 pessoas que participaram no Questionário, 31 dos inquiridos são alunos e 36 são professores.

Quanto à pergunta que pretende saber qual a importância da acústica nas salas de música, das 67 pessoas que responderam ao Questionário, 50 mencionaram como muito importante e as restantes 17 como importante.

Na pergunta aberta (não obrigatória), existente no final de cada parte do Questionário, não se obteve nenhuma resposta por parte dos inquiridos.

3.2. Medições Acústicas

Depois de reunida a informação do Questionário e de saber qual a preferência dos alunos e professores em relação à sala com piores condições acústicas e à sala com melhores condições acústicas, avaliou-se experimentalmente o comportamento destas, com recurso a medições in situ.

As medições acústicas foram realizadas em dias úteis, no período diurno, mais propriamente durante o período da tarde e com as salas vazias, sem a presença de pessoas, existindo apenas mobiliário e instrumentos musicais. Escolheram-se os dias de semana para realizar as medições pelo facto de corresponder ao horário de funcionamento das escolas de música e escolheu-se o período da tarde por ser a altura de maior movimentação tanto no interior das escolas como no exterior, representando assim, um dia normal de atividade.

Durante as medições, apenas estavam presentes na sala duas pessoas, nomeadamente, os responsáveis pelas medições acústicas, já que quanto menor o número de pessoas, menor a probabilidade de se registarem ruídos indesejados.

Além das medições acústicas, efetuou-se também, um levantamento dos atributos arquitetónicos e das características geométricas das salas analisadas, apresentadas na secção 3.2.3.

3.2.1. Equipamento utilizado e Procedimentos

Todo o equipamento utilizado para as medições acústicas foi cedido gentilmente pela Empresa SCHIU – Engenharia de Vibração e Ruído, sendo o seguinte:

- Sonómetro de classe 1 (NA-27), com um microfone vinculado (Figura 3.1);
- Tripé portátil (Figura 3.2);
- Balões e fitas métricas (Figura 3.3).



Figura 3.1 – Sonómetro NA-27

Figura 3.2 – Tripé portátil

Figura 3.3 – Balões e fitas métricas

O Sonómetro, fixado no tripé portátil, serviu para registar os impulsos sonoros e o Ruído de Fundo da sala. O sonómetro (microfone) foi colocado na direção do impulso sonoro gerado pelo rebentamento dos balões (fonte sonora) para uma maior fiabilidade dos resultados obtidos.

As distâncias mínimas entre a fonte e o sonómetro, entre o sonómetro e as superfícies refletoras (pavimento, paredes) e o número mínimo de pontos de medição e de medições seguiram o estabelecido na norma NP EN ISO 3382 – 2 [30]. O número mínimo de pontos de medição e de medições por cada ponto utilizado neste trabalho está de acordo com o Quadro 1 apresentado na norma NP EN ISO 3382 – 2 [30] para o Método de Controlo.

Nas salas de pequenas dimensões utilizou-se, apenas, uma posição da fonte e duas posições do microfone, mínimo estipulado pelo Método de Controlo da norma NP EN ISO 3382 - 2 [30]. Para as salas de média e grande dimensão, avaliou-se duas a três posições da fonte e duas a três posições do microfone, representadas nas plantas das salas na secção 3.2.3. Nas mesmas posições foi medido, também, o Nível Sonoro Contínuo Equivalente Ponderado A, correspondente ao Ruído de Fundo (L_{Aeq} Fundo), processado para 1 minuto de sinal. É de referir, também, que, para cada posição do microfone foram realizadas três medições de maneira a garantir fiabilidade dos resultados.

Ao longo das tabelas da secção 3.2.3, é apresentado, por parâmetro, um valor médio que corresponde à média aritmética dos valores das bandas de oitava de 500 Hz e 1000 Hz de acordo com a norma EN ISO 3382-1 [31] à exceção do parâmetro Tempo de Reverberação cujo valor médio corresponde à média aritmética dos valores das bandas de oitava de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz de acordo com o Decreto-Lei 96/2008 [34].

O rebentamento dos balões serviu para produzir os impulsos sonoros e a fita métrica para realizar as medições das salas. Os balões tiveram de estar muito cheios de modo a emitir uma energia suficientemente potente para assegurar um decaimento forte acima do Ruído de Fundo, como explicado anteriormente.

3.2.2. Exigências regulamentares

3.2.2.1. Tempo de Reverberação (Tr)

Segundo o Art. 7.º do Decreto-Lei 96/2008 (Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios; RRAE) [34], referente a “Edifícios escolares e similares, e de investigação”, deve-se respeitar que:

- No interior dos locais que constam no Tabela 4.1, considerados mobilados e sem ocupação, o Tempo de Reverberação, T , corresponde à média aritmética dos valores obtidos para as bandas de oitava centradas nas frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, deve satisfazer o seguinte:

Tabela 3.3 – Tempo de Reverberação (500 Hz – 2000 Hz) segundo o Decreto-Lei 96/2008 [34]

Locais	Tempo de reverberação (500 Hz — 2 kHz)
Salas de aula bibliotecas, salas polivalentes e refeitórios	$T \leq 0,15 V^{1/3}$ [s] (V. artigo 9.º)
Ginásios	

Nota: V é o volume interior do recinto em causa.

O Decreto-Lei 96/2008 [34] demonstra evidentemente ser insuficiente naquilo que se pretende para edifícios escolares destinados ao ensino musical (Tabela 3.3). Não é claro se, este limite, apresentado na Tabela 3.3 deve ser respeitado apenas para salas de aula “normais” onde só existe o discurso falado, sendo que, para as salas de aula musical, onde além do discurso falado existe também o discurso musical, a utilização deste limite regulamentar poderá gerar constrangimentos indesejáveis.

3.2.2.2. Ruído de Fundo

Segundo o Art. 10.º-A do ponto nº 3 do Decreto-Lei 96/2008 [34], referente a “Auditório e salas”, deve-se respeitar que:

- *“As fachadas dos recintos referidos nos n.ºs 1 e 2 devem assegurar que os valores do índice de isolamento a sons aéreos, $D_{2m, nT, w}$, corrigido do termo de adaptação aplicável, C ou C_{tr} , sejam os necessários para que o nível sonoro contínuo equivalente do ruído ambiente no interior do recinto, determinado a partir da média espacial de pontos representativos, na ausência de funcionamento das instalações técnicas do edifício, L_{Aeq} , satisfaça o seguinte”:*

$$L_{Aeq} \leq 30 \text{ dB(A)}$$

Segundo o Art. 10.º-A do ponto nº 5 do Decreto-Lei 96/2008 [34], referente a “Auditório e salas”, deve-se respeitar que:

- *“No interior dos recintos, o nível sonoro contínuo equivalente do ruído particular, L_{Aeq} , associado ao funcionamento dos equipamentos e instalações técnicas, designadamente de instalações de aquecimento, ventilação e ar condicionado, deve, com a sala desocupada, satisfazer o seguinte”:*

$$L_{Aeq} \leq 30 \text{ dB(A)}$$

Segundo o Art. 7.º do ponto nº 1 da alínea f) do Decreto-Lei 96/2008 [34], referente a “Edifícios escolares e similares, e de investigação”, deve-se respeitar que:

- *“No interior dos locais de recepção indicados no quadro II, o nível de avaliação, $L_{Ar, nT}$, do ruído particular de equipamentos dos edifícios deve satisfazer as condições indicadas no quadro IV do anexo ao presente regulamento”:*

$$L_{Ar, nT} \leq 40 \text{ dB(A)}, \text{ para equipamento com funcionamento intermitente}$$

$$L_{Ar, nT} \leq 35 \text{ dB(A)}, \text{ para equipamento com funcionamento contínuo}$$

Uma vez que a legislação não é explícita o suficiente para os casos de salas de aula musical, este tipo de salas tanto poderá estar abrangido pelo Art. 10.º-A referente a “Auditórios e salas” como pelo Art. 7.º referente a “Edifícios escolares e similares”, sendo que, foi assumido neste trabalho, o limite mais exigente dos apresentados acima. Assim sendo, para o limite do Ruído de Fundo em salas de aula musical, considera-se como referência o limite estabelecido no artigo 10º-A, ou seja, $L_{Aeq} \leq 30$ dB(A) quer para o Ruído de Fundo proveniente do exterior como para o Ruído de Fundo proveniente do interior.

Outra fundamentação encontrada para o facto de se ter considerado o limite estabelecido no artigo 10º-A para o limite do Ruído de Fundo em salas de aula musical foi também, pelo facto dos limites apresentados no Art. 7.º do ponto nº 1 da alínea f) do Decreto-Lei 96/2008 [34] se aplicarem apenas ao ruído de equipamentos do edifício, sendo que, o Ruído de Fundo pode ser originado, também, por outras fontes sonoras.

3.2.2.3. Restantes Parâmetros Acústicos

Na Tabela 3.4 são expostos os valores recomendados para os restantes parâmetros acústicos da norma EN ISO 3382-1 [31].

Tabela 3.4 – Valores recomendados para os restantes parâmetros acústicos

PARÂMETROS ACÚSTICOS	SIMBOLOGIA	VALORES RECOMENDADOS [32]
Fator de Força (dB)	G	-2 a +10
Clareza (dB)	C_{80}	-5 a +5
Definição	D_{50}	0,3 a 0,7
Tempo de Decaimento Inicial (s)	EDT	1,0 a 3,0
Tempo Central (ms)	T_s	60 a 260

3.2.3. Resultados

3.2.3.1. Academia de Música de Lagos

Tabela 3.5 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Biblioteca (Pior)

PONTOS	L _{Aeq} [dB(A)]	T ₂₀ [s]	G [dB]	EDT [s]	C ₈₀ [dB]	D ₅₀ [sem unidades]	T _s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz	Para as bandas de oitava 500 e 1000 Hz				
1	31,72	0,23	20,05	0,23	19,77	0,99	17,02
2	35,28	0,24	16,01	0,27	18,89	0,93	13,12
MÉDIA	33,50	0,24	18,03	0,25	19,33	0,96	15,07

O valor do Ruído de Fundo obtido para a Biblioteca deve-se, principalmente, ao decorrer de aulas de piano e violino nas salas vizinhas e ao ruído proveniente dos corredores.

Tabela 3.6 – Características arquitetónicas da Biblioteca

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
3,20	9,18	29,38	Alvenaria de Tijolo com 0,20 m de espessura revestida estuque	Vinílico	Teto falso com placas de gesso perfuradas

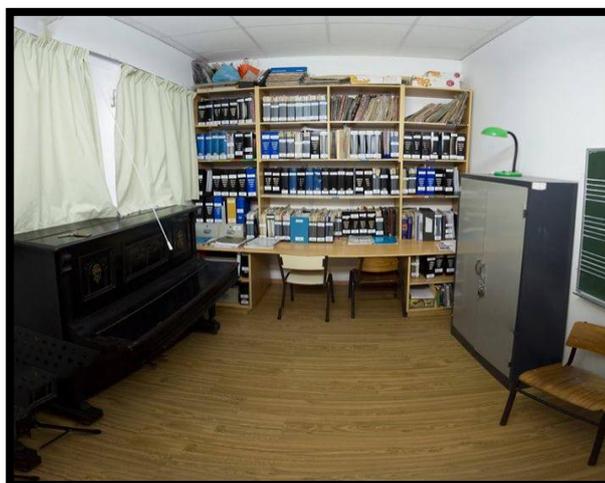


Figura 3.4 – Vista geral da Biblioteca

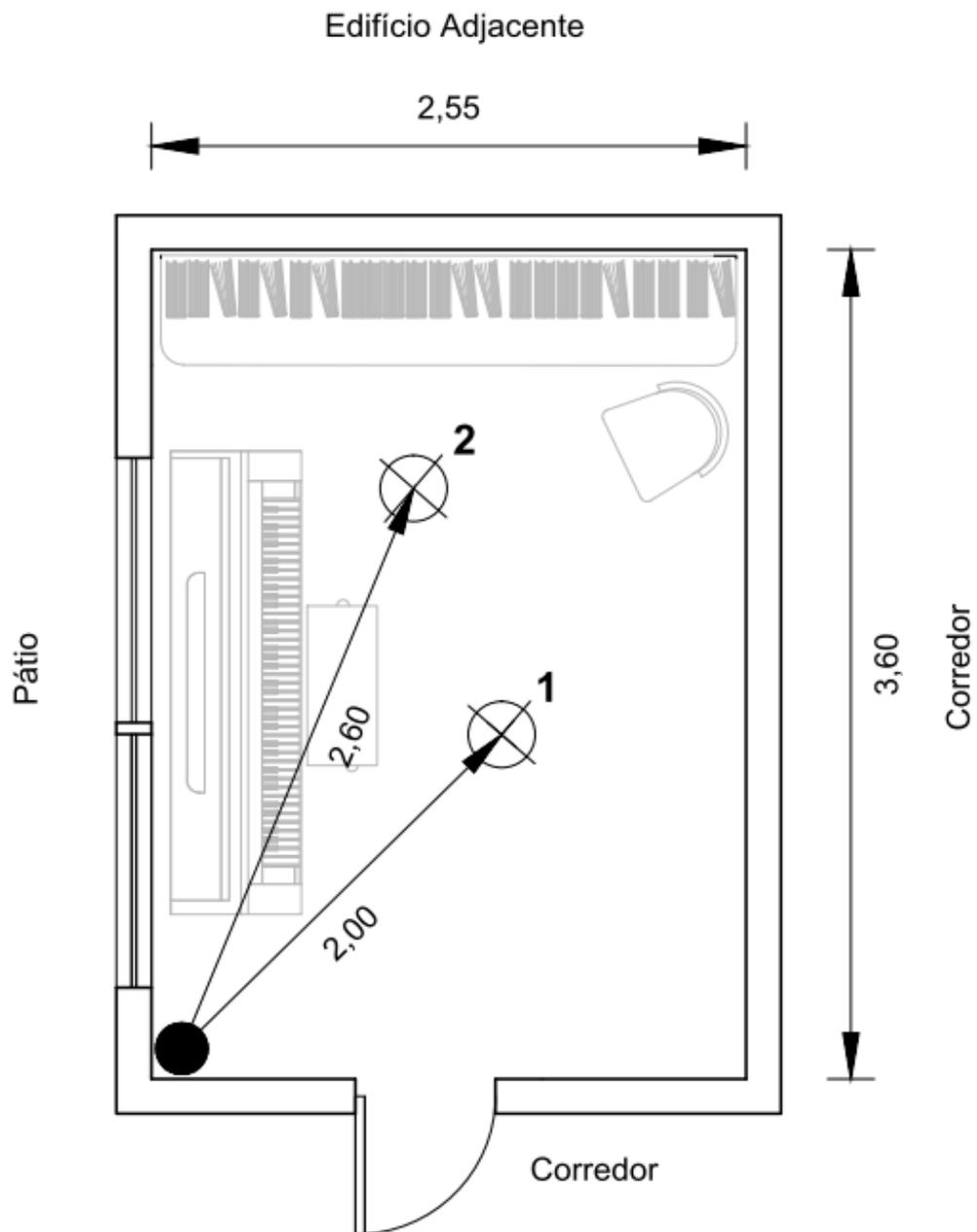


Figura 3.5 – Planta da Biblioteca

Legenda:



Posicionamento do Microfone



Posicionamento da Fonte sonora

Tabela 3.7 – Valores médios dos parâmetros acústicos no Auditório (Melhor)

PONTOS	L _{Aeq} [dB(A)]	T ₂₀ [s]	G [dB]	EDT [s]	C ₈₀ [dB]	D ₅₀ [sem unidades]	T _s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz	Para as bandas de oitava 500 e 1000 Hz				
1	37,97	0,68	15,43	0,63	7,12	0,73	41,32
2	38,57	0,66	13,55	0,73	5,87	0,69	46,13
3	35,93	0,72	15,74	0,63	7,39	0,77	38,27
MÉDIA	37,49	0,69	14,91	0,67	6,79	0,73	41,91

Os valores de Ruído de Fundo obtidos para o Auditório devem-se, principalmente, ao decorrer de aulas de piano e violino nas salas vizinhas, à passagem de automóveis na estrada e ao ruído proveniente do pátio da escola.

Tabela 3.8 – Características arquitetónicas do Auditório

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
2,70	51,87	140,05	Alvenaria de Tijolo com 0,20 m de espessura revestida a estuque	Vinílico	Laje de betão armado

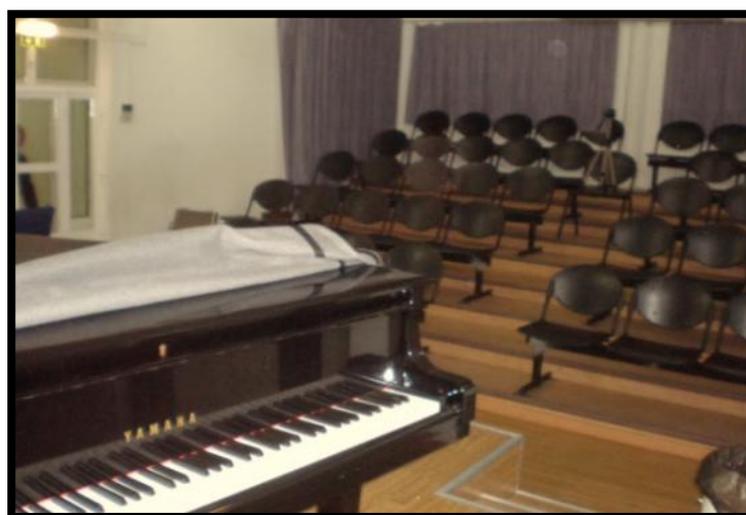


Figura 3.6 – Vista geral do Auditório

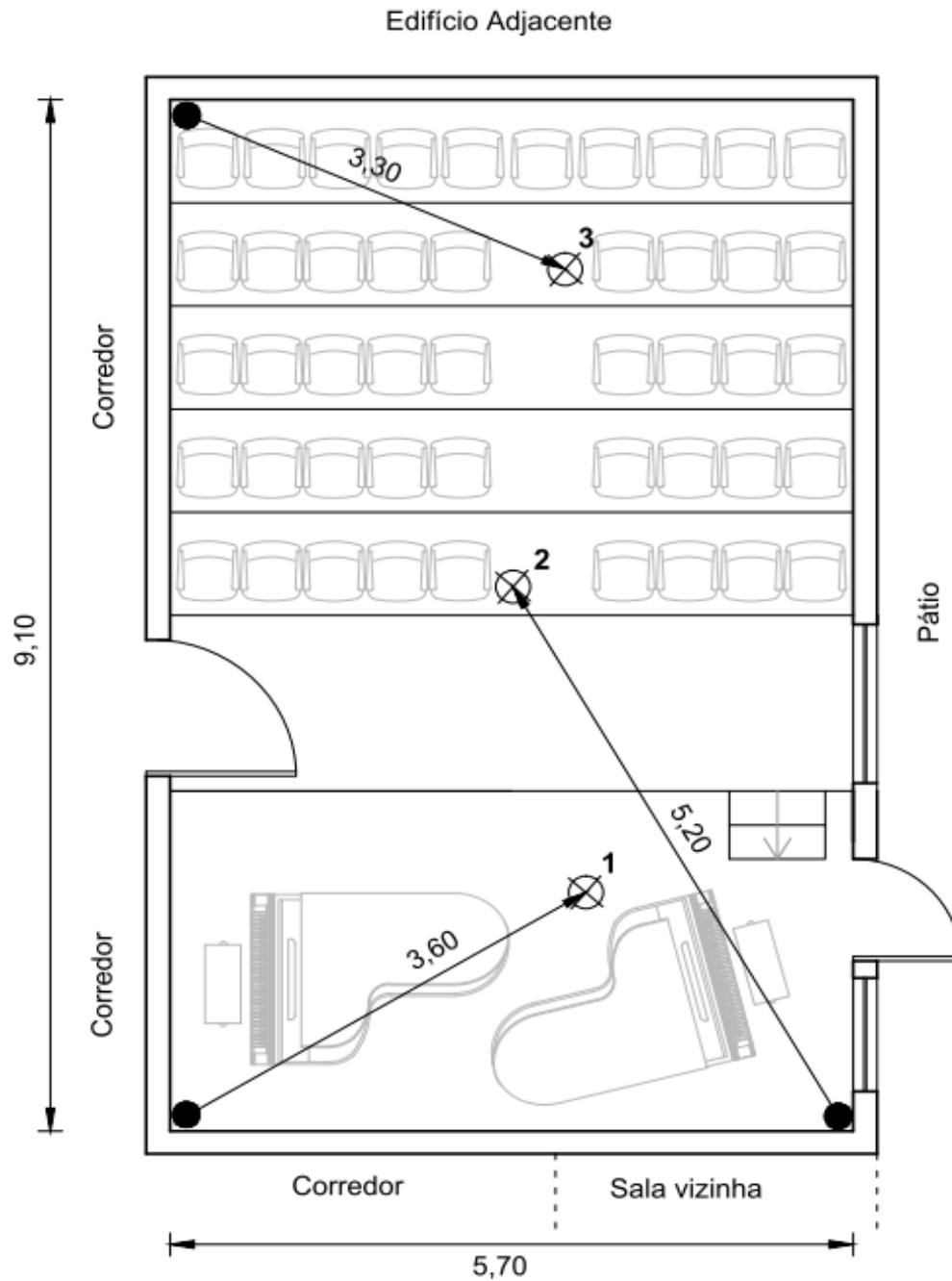


Figura 3.7 – Planta do Auditório

Legenda:



Posicionamento do Microfone



Posicionamento da Fonte sonora

3.2.3.2. Conservatório de Portimão Joly Braga Santos

Tabela 3.9 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 6 (Pior)

PONTOS	L _{Aeq} [dB(A)]	T ₂₀ [s]	G [dB]	EDT [s]	C ₈₀ [dB]	D ₅₀ [sem unidades]	T _s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz	Para as bandas de oitava 500 e 1000 Hz				
1	44,17	1,62	19,34	1,58	0,41	0,42	107,58
2	38,50	1,64	17,33	1,61	0,24	0,39	112,48
3	39,33	1,59	19,62	1,66	-0,06	0,39	114,87
MÉDIA	40,67	1,61	18,77	1,62	0,20	0,40	111,64

Os valores de Ruído de Fundo obtidos devem-se, principalmente, ao decorrer de aulas de piano nas salas vizinhas, à passagem de automóveis na Rua Doutor Ernesto Cabrita e ao ruído proveniente do corredor da escola.

Tabela 3.10 – Características arquitetónicas da Sala 6

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
3,00	35,52	106,56	Alvenaria de Tijolo com 0,20 m de espessura revestida a estuque	Vinílico	Laje de betão armado



Figura 3.8 – Vista geral da Sala 6

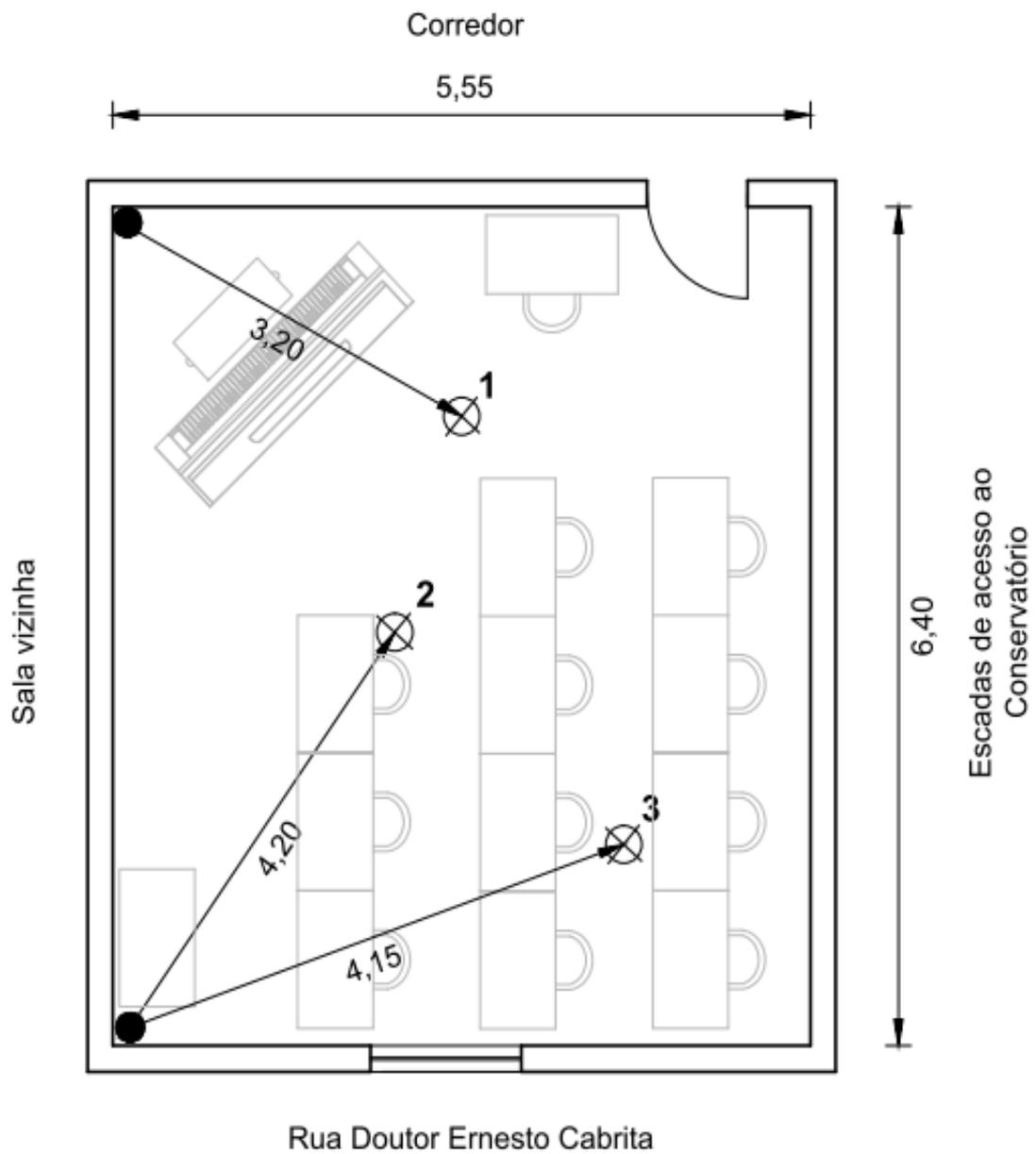


Figura 3.9 – Planta da Sala 6

Legenda:

-  Posicionamento do Microfone
-  Posicionamento da Fonte sonora

Tabela 3.11 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 11 (Melhor)

PONTOS	L _{Aeq} [dB(A)]	T ₂₀ [s]	G [dB]	EDT [s]	C ₈₀ [dB]	D ₅₀ [sem unidades]	T _s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz	Para as bandas de oitava 500 e 1000 Hz				
1	38,07	0,83	19,57	0,89	4,11	0,58	60,52
2	42,37	0,85	15,10	0,98	3,27	0,56	64,16
3	41,73	0,85	18,37	0,88	4,41	0,64	55,75
MÉDIA	40,72	0,85	17,68	0,92	3,93	0,59	60,15

Os valores de Ruído de Fundo obtidos devem-se, principalmente, ao decorrer de aulas de piano nas salas vizinhas e à passagem de automóveis na Rua Doutor Ernesto Cabrita.

Tabela 3.12 – Características arquitetónicas da Sala 11

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
2,80	30,00	84,00	Alvenaria de Tijolo com 0,20 m de espessura forradas a lã de vidro e placas refletoras	Vinílico	Laje de betão armado



Figura 3.10 – Vista geral da Sala 11

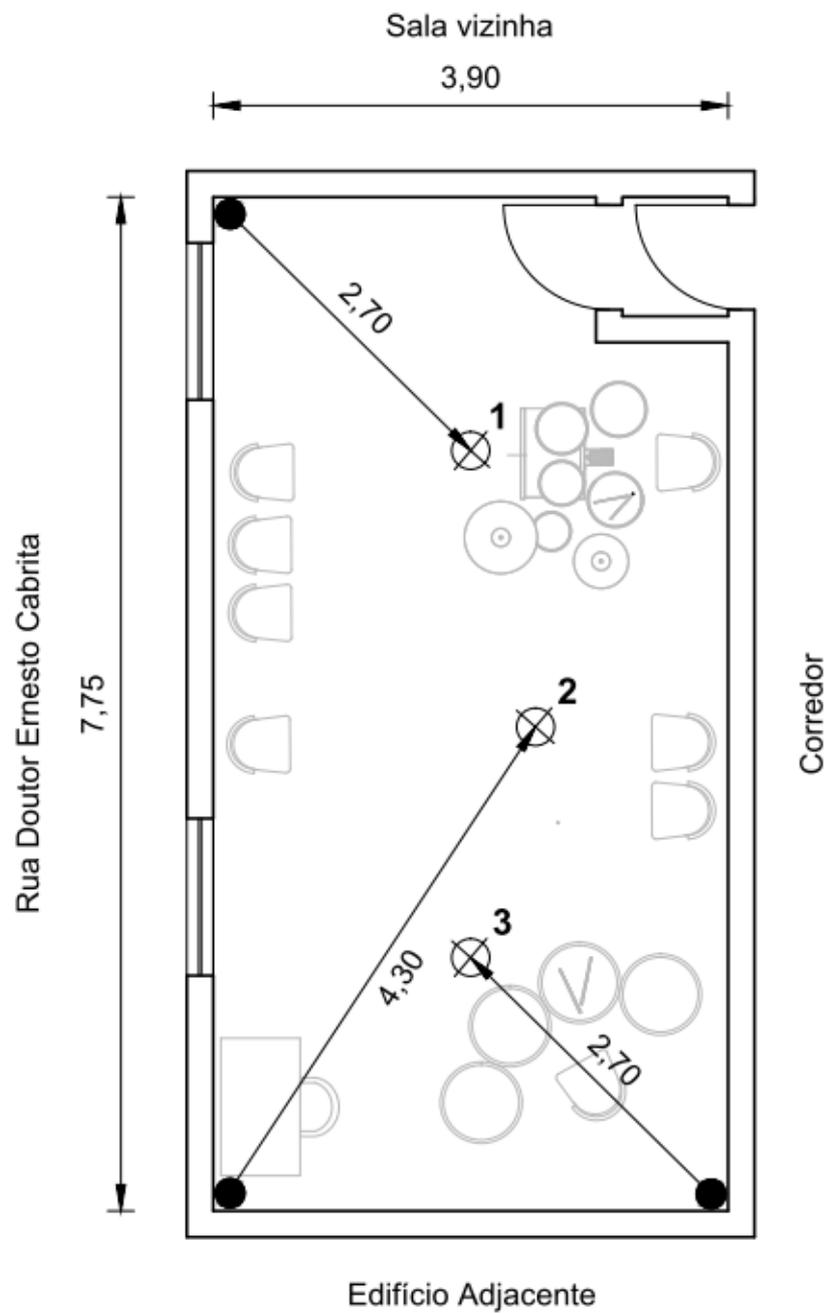


Figura 3.11 – Planta da Sala 11

Legenda:

-  Posicionamento do Microfone
-  Posicionamento da Fonte sonora

3.2.3.3. Conservatório de Lagoa

Tabela 3.13 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 7 (Pior)

PONTOS	L_{Aeq} [dB(A)]	T_{20} [s]	G [dB]	EDT [s]	C_{80} [dB]	D_{50} [sem unidades]	T_s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz	Para as bandas de oitava 500 e 1000 Hz				
1	42,79	1,61	21,21	1,56	0,52	0,40	98,54
2	47,81	1,60	16,99	1,56	1,06	0,46	108,64
MÉDIA	45,30	1,61	19,10	1,56	0,79	0,43	103,59

Os valores de Ruído de Fundo obtidos devem-se, principalmente, ao decorrer de aulas de percussão e contrabaixo nas salas vizinhas e ao ruído proveniente do corredor.

Tabela 3.14 – Características arquitetónicas da Sala 7

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
3,30	19,04	62,83	Alvenaria de Tijolo com 0,20 m de espessura revestidas a estuque	Vinílico	Laje de betão armado



Figura 3.12 – Vista geral da Sala 7

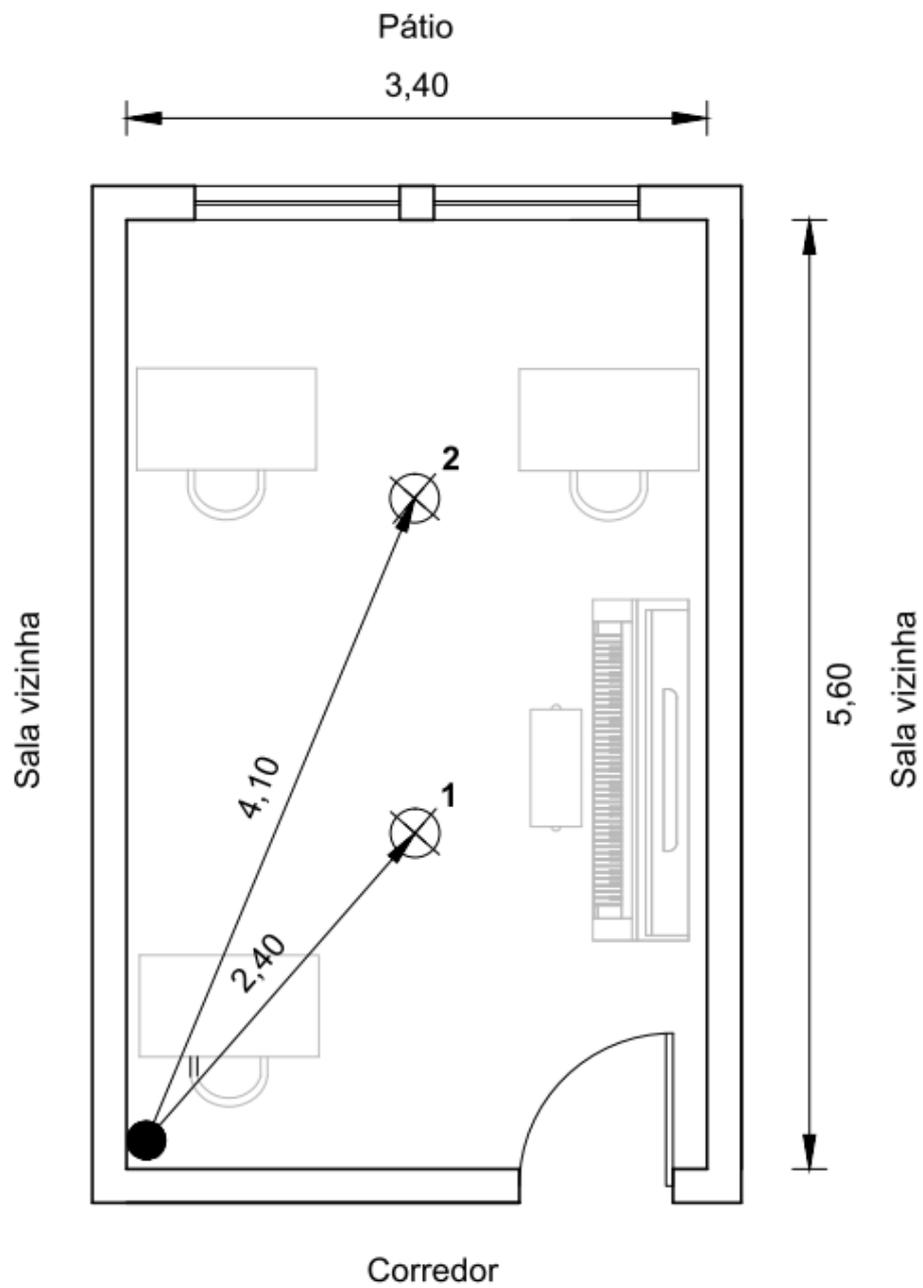


Figura 3.13 – Planta da Sala 7

Legenda:

-  Posicionamento do Microfone
-  Posicionamento da Fonte sonora

Tabela 3.15 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 1 (Melhor)

PONTOS	L _{Aeq} [dB(A)]	T ₂₀ [s]	G [dB]	EDT [s]	C ₈₀ [dB]	D ₅₀ [sem unidades]	T _s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz	Para as bandas de oitava 500 e 1000 Hz				
1	29,90	0,38	10,43	0,29	15,30	0,93	16,27
2	33,40	0,38	7,50	0,37	13,91	0,90	22,93
3	35,10	0,38	10,86	0,35	13,74	0,91	20,31
MÉDIA	32,80	0,38	9,60	0,34	14,32	0,91	19,84

Os valores de Ruído de Fundo obtidos devem-se, principalmente, ao decorrer de aulas de percussão, contrabaixo e piano nas salas vizinhas e ao ruído proveniente do corredor.

Tabela 3.16 – Características arquitetónicas da Sala 1

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
3,00	97,30	291,90	Alvenaria de Tijolo com 0,20 m de espessura forradas com painéis perfurados em madeira	Alcatifa	Teto falso com placas de gesso perfuradas



Figura 3.14 – Vista geral da Sala 1

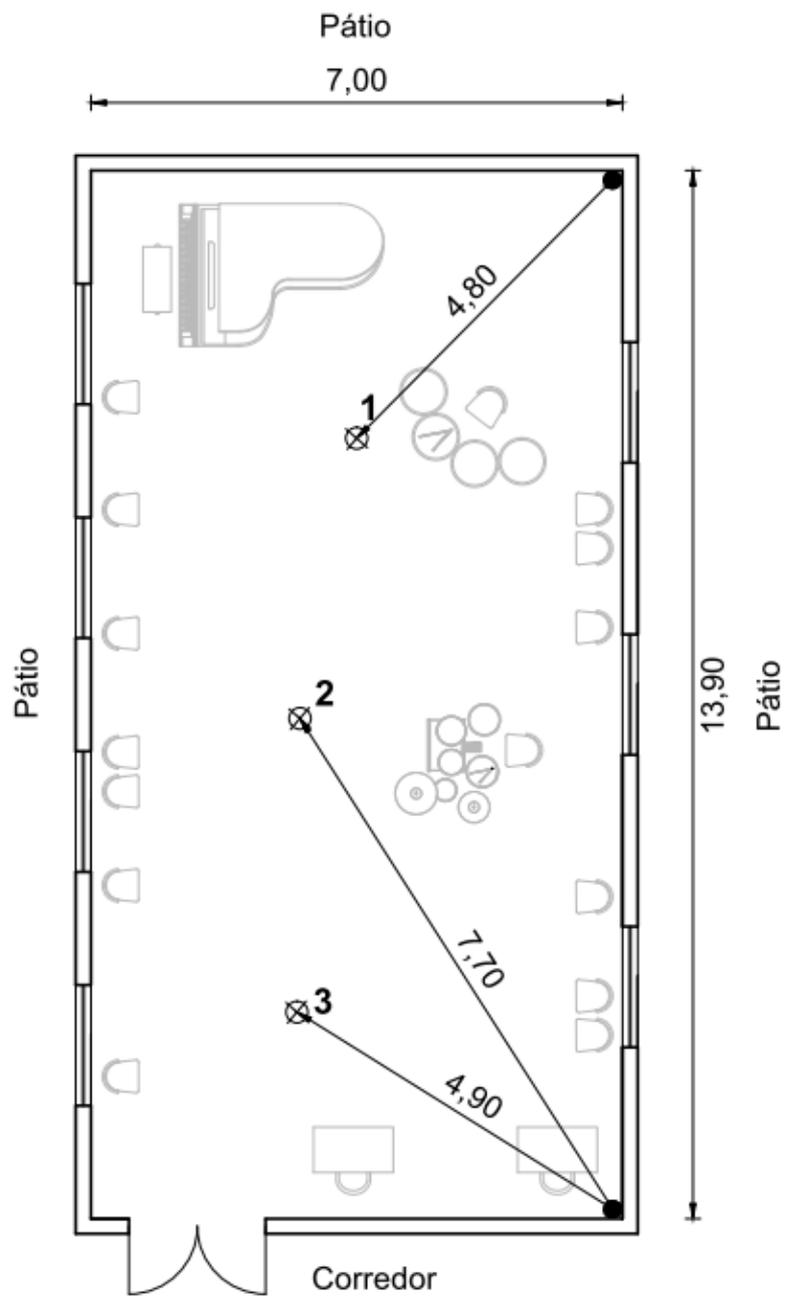


Figura 3.15 – Planta da Sala 1

Legenda:



Posicionamento do Microfone



Posicionamento da Fonte sonora

3.2.3.4. Conservatório de Albufeira

Tabela 3.17 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 8 (Pior)

PONTOS	L _{Aeq} [dB(A)]	T ₂₀ [s]	G [dB]	EDT [s]	C ₈₀ [dB]	D ₅₀ [sem unidades]	T _s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz	Para as bandas de oitava 500 e 1000 Hz				
1	43,82	0,74	22,46	0,71	6,03	0,66	41,72
2	48,78	0,75	18,76	0,71	6,85	0,74	45,96
MÉDIA	46,30	0,75	20,61	0,71	6,44	0,70	43,84

Os valores de Ruído de Fundo obtidos devem-se, principalmente, ao decorrer de aulas de violino e violoncelo nas salas em frente e ao ruído e vozes provenientes do corredor.

Tabela 3.18 – Características arquitetónicas da Sala 8

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
2,90	7,68	22,27	Alvenaria de Tijolo com 0,20 m de espessura revestida a estuque	Azulejo	Teto falso em gesso liso



Figura 3.16 – Vista geral da Sala 8

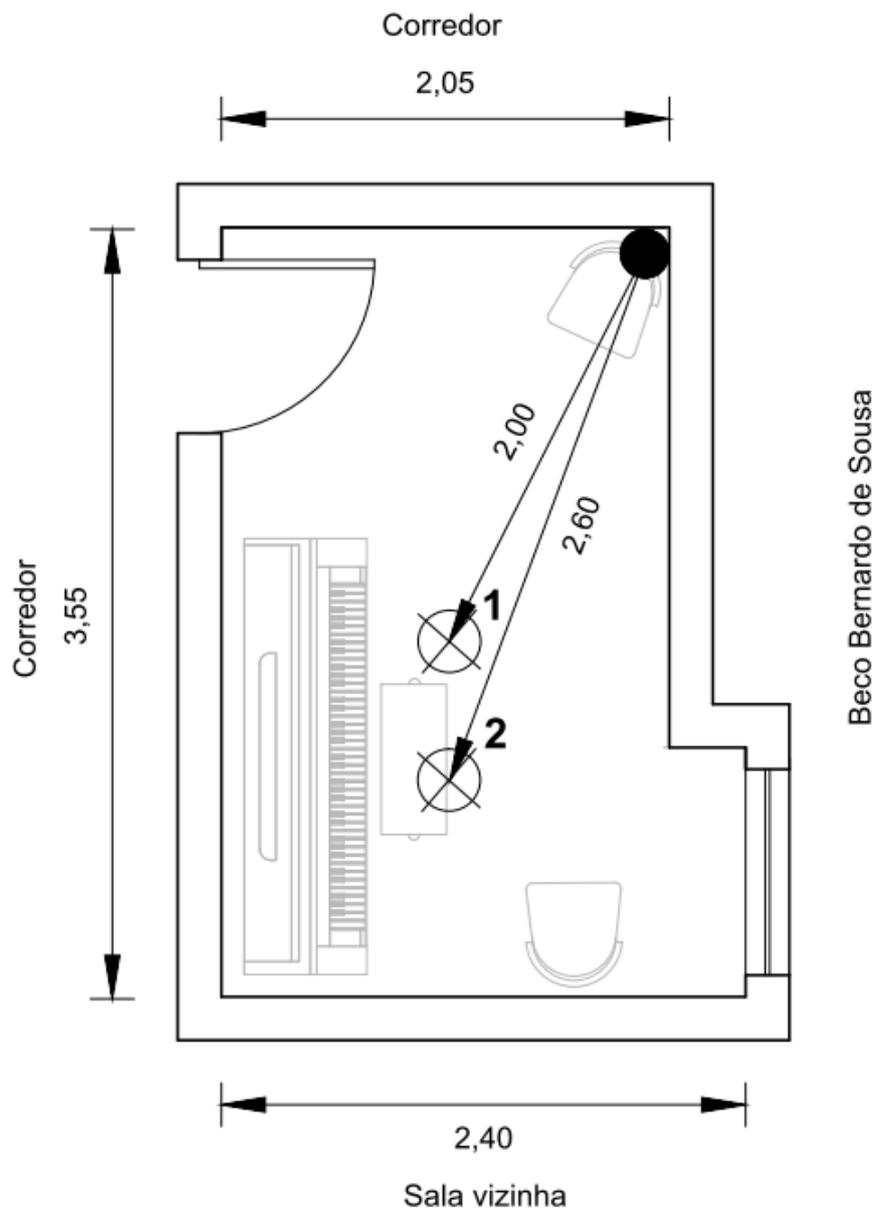


Figura 3.17 – Planta da Sala 8

Legenda:



Posicionamento do Microfone



Posicionamento da Fonte sonora

Tabela 3.19 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 6 (Melhor)

PONTOS	L_{Aeq} [dB(A)]	T_{20} [s]	G [dB]	EDT [s]	C_{80} [dB]	D_{50} [sem unidades]	T_s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz	Para as bandas de oitava 500 e 1000 Hz				
1	42,10	1,34	19,50	1,39	2,24	0,53	85,34
2	38,93	1,37	16,76	1,31	1,81	0,49	87,13
MÉDIA	40,52	1,36	18,13	1,35	2,02	0,51	86,24

Os valores de Ruído de Fundo obtidos devem-se, principalmente, ao decorrer de aulas de violino nas salas do piso de cima, ao ruído das máquinas de venda automática do lado exterior, junto da porta de entrada da sala, ao ruído provenientes do corredor e do largo ao lado da escola.

Tabela 3.20 – Características arquitetónicas da Sala 6

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
3,40	38,72	131,65	Alvenaria de Tijolo com 0,20 m de espessura forradas com painéis de cortiça envernizada	Vinílico	Laje de betão armado



Figura 3.18 – Vista geral da Sala 6

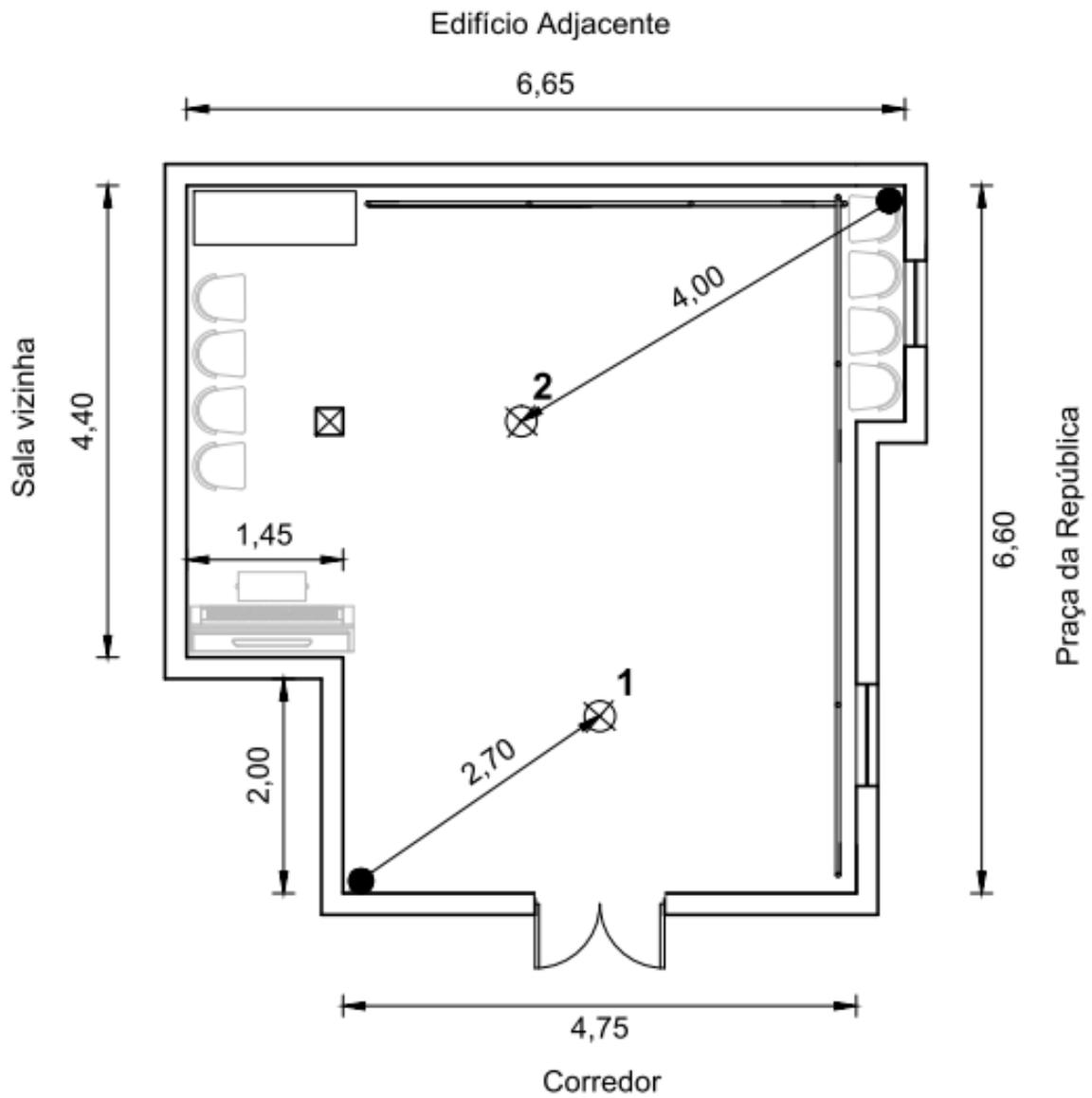


Figura 3.19 – Planta da Sala 6

Legenda:



Posicionamento do Microfone



Posicionamento da Fonte sonora

3.2.3.5. Conservatório Regional Maria Campina

Tabela 3.21 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 12 (Pior)

PONTOS	L_{Aeq} [dB(A)]	T_{20} [s]	G [dB]	EDT [s]	C_{80} [dB]	D_{50} [sem unidades]	TS [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz	Para as bandas de oitava 500 e 1000 Hz				
1	41,23	0,55	18,31	0,48	9,86	0,80	30,52
2	46,90	0,56	15,92	0,48	10,20	0,84	27,73
MÉDIA	44,07	0,56	17,11	0,48	10,03	0,82	29,12

Os valores de Ruído de Fundo obtidos devem-se, principalmente, ao decorrer de aulas de piano nas salas vizinhas, ao ruído proveniente dos corredores e ao ruído do trânsito automóvel e tráfego aéreo.

Tabela 3.22 – Características arquitetónicas da Sala 12

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
2,80	22,21	62,19	Alvenaria de Tijolo com 0,20 m de espessura revestida a estuque	Vinílico	Teto falso com placas de gesso perfuradas



Figura 3.20 – Vista geral da Sala 12

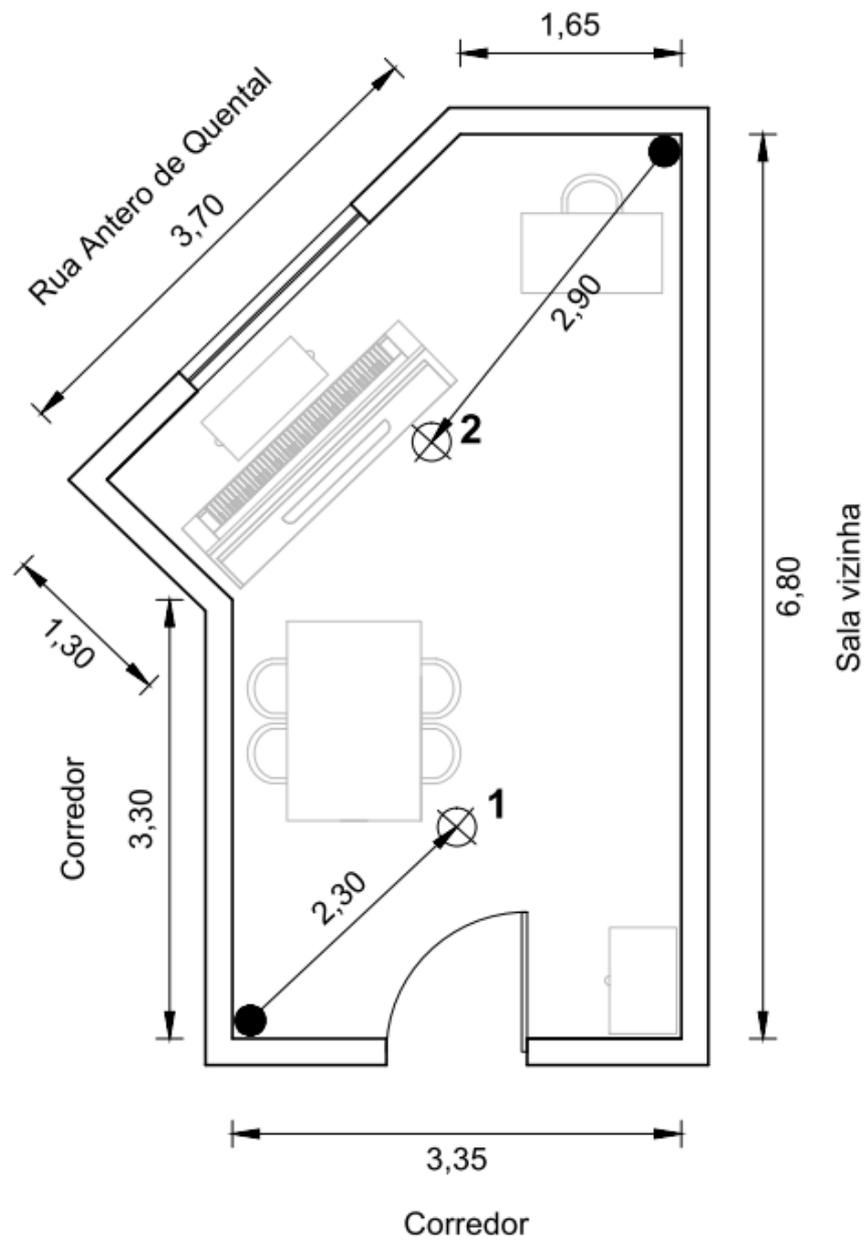


Figura 3.21 – Planta da Sala 12

Legenda:



Posicionamento do Microfone



Posicionamento da Fonte sonora

Tabela 3.23 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 15 (Melhor)

PONTOS	L_{Aeq} [dB(A)]	T_{20} [s]	G [dB]	EDT [s]	C_{80} [dB]	D_{50} [sem unidades]	T_s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz					
1	35,77	0,58	14,69	0,61	7,76	0,72	38,31
2	35,93	0,60	14,08	0,63	7,17	0,72	40,21
MÉDIA	35,85	0,59	14,38	0,62	7,47	0,72	39,26

Os valores de Ruído de Fundo obtidos devem-se, principalmente, ao decorrer de aulas de piano, violino e flauta nas salas vizinhas e ao ruído proveniente do corredor.

Tabela 3.24 – Características arquitetónicas da Sala 15

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
2,60	40,25	104,65	Alvenaria de Tijolo com 0,20 m de espessura revestida a estuque	Vinílico	Teto falso com placas de gesso perfuradas



Figura 3.22 – Vista geral da Sala 15

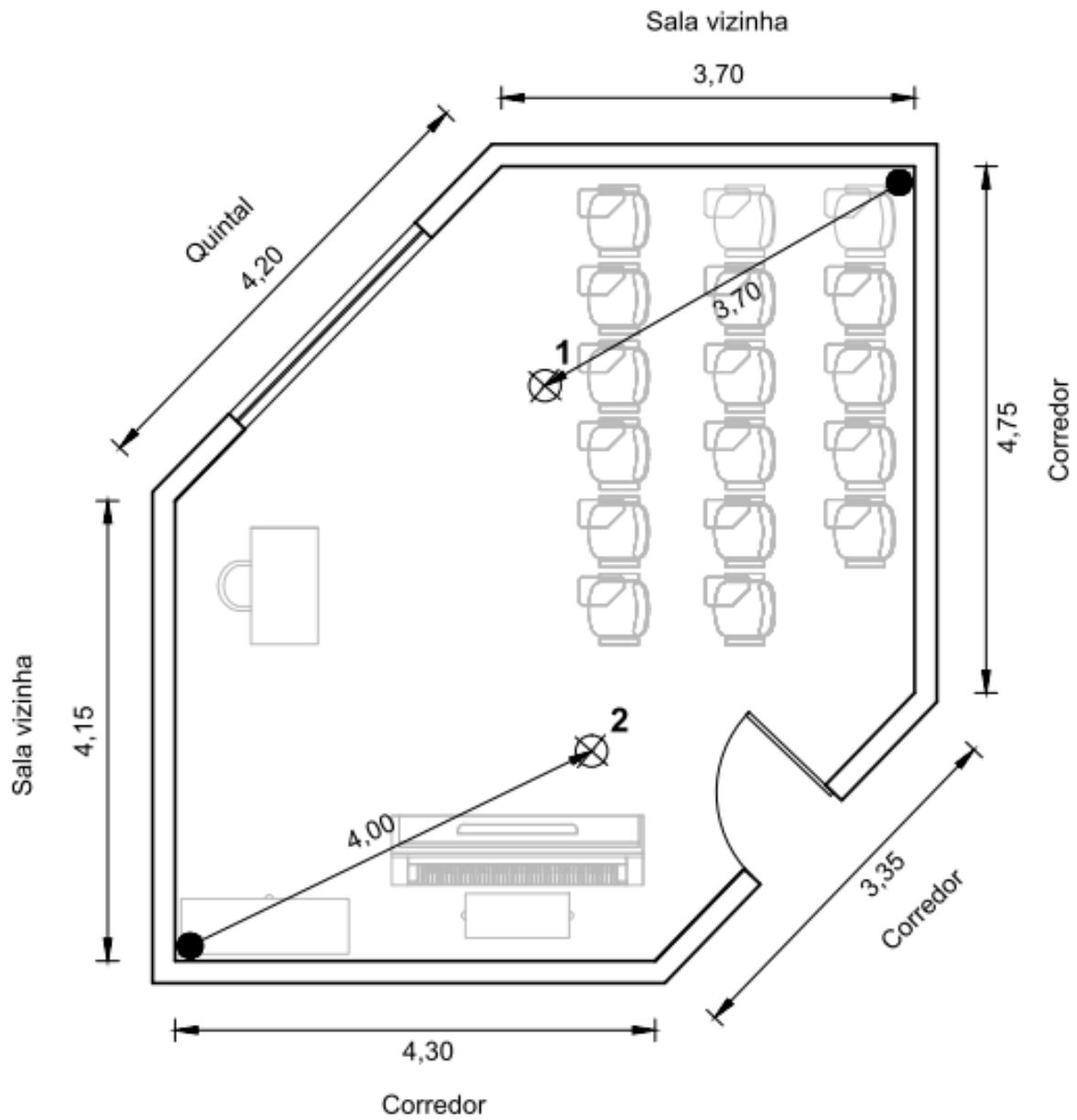


Figura 3.23 – Planta da Sala 15

Legenda:

-  Posicionamento do Microfone
-  Posicionamento da Fonte sonora

3.2.3.6. Conservatório de Música de Olhão

Tabela 3.25 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 4 (Pior)

PONTOS	L _{Aeq} [dB(A)]	T ₂₀ [s]	G [dB]	EDT [s]	C ₈₀ [dB]	D ₅₀ [sem unidades]	T _s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz	Para as bandas de oitava 500 e 1000 Hz				
1	30,05	1,12	17,97	1,18	1,38	0,43	79,56
2	32,49	1,11	20,23	1,19	1,86	0,49	87,80
MÉDIA	31,27	1,12	19,10	1,19	1,62	0,46	83,68

Os valores de Ruído de Fundo obtidos devem-se, principalmente, ao decorrer de aulas de violino nas salas vizinhas e ao ruído proveniente da rua.

Tabela 3.26 – Características arquitetónicas da Sala 4

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
3,20	22,30	71,36	Alvenaria de Pedra com 0,25 m de espessura revestida a estuque	Soalho de madeira	Teto em estrutura de madeira e acabamento em estuque



Figura 3.24 – Vista geral da Sala 4

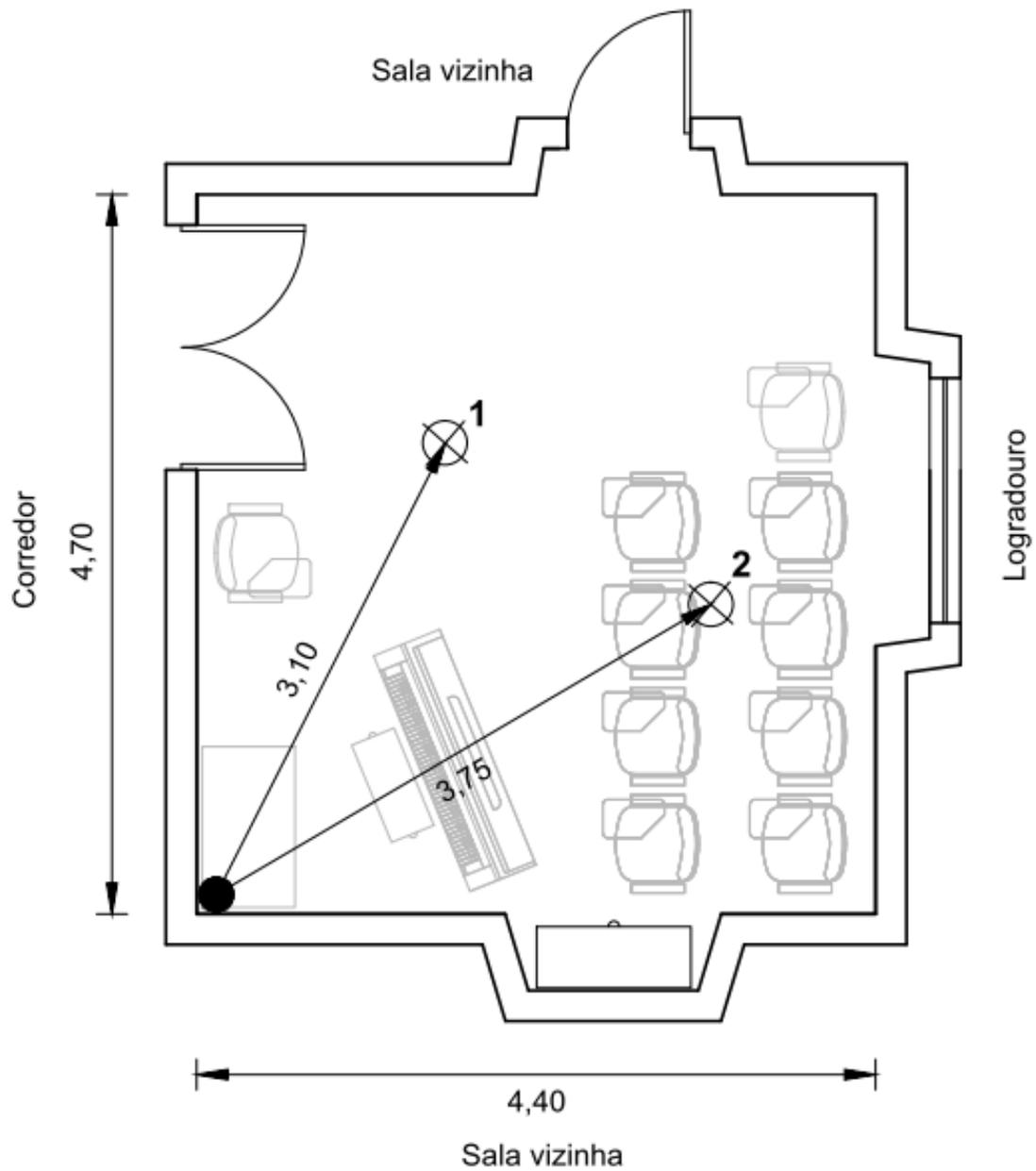


Figura 3.25 – Planta da Sala 4

Legenda:



Posicionamento do Microfone



Posicionamento da Fonte sonora

Tabela 3.27 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 5 (Melhor)

PONTOS	L _{Aeq} [dB(A)]	T ₂₀ [s]	G [dB]	EDT [s]	C ₈₀ [dB]	D ₅₀ [sem unidades]	T _s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz	Para as bandas de oitava 500 e 1000 Hz				
1	36,23	0,96	15,96	1,01	3,65	0,58	60,86
2	38,51	0,96	20,06	1,03	4,01	0,62	64,90
MÉDIA	37,37	0,96	18,01	1,02	3,83	0,60	62,88

Os valores de Ruído de Fundo obtidos devem-se, principalmente, ao decorrer de aulas de violino nas salas vizinhas, ao ruído proveniente do largo da rua (música a vivo) e ao ruído proveniente dos corredores.

Tabela 3.28 – Características arquitetónicas da Sala 5

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
3,30	18,30	60,39	Alvenaria de Pedra com 0,45 m de espessura revestida a estruque	Soalho de madeira	Teto em estrutura de madeira e acabamento em estruque



Figura 3.26 – Vista geral da Sala 5

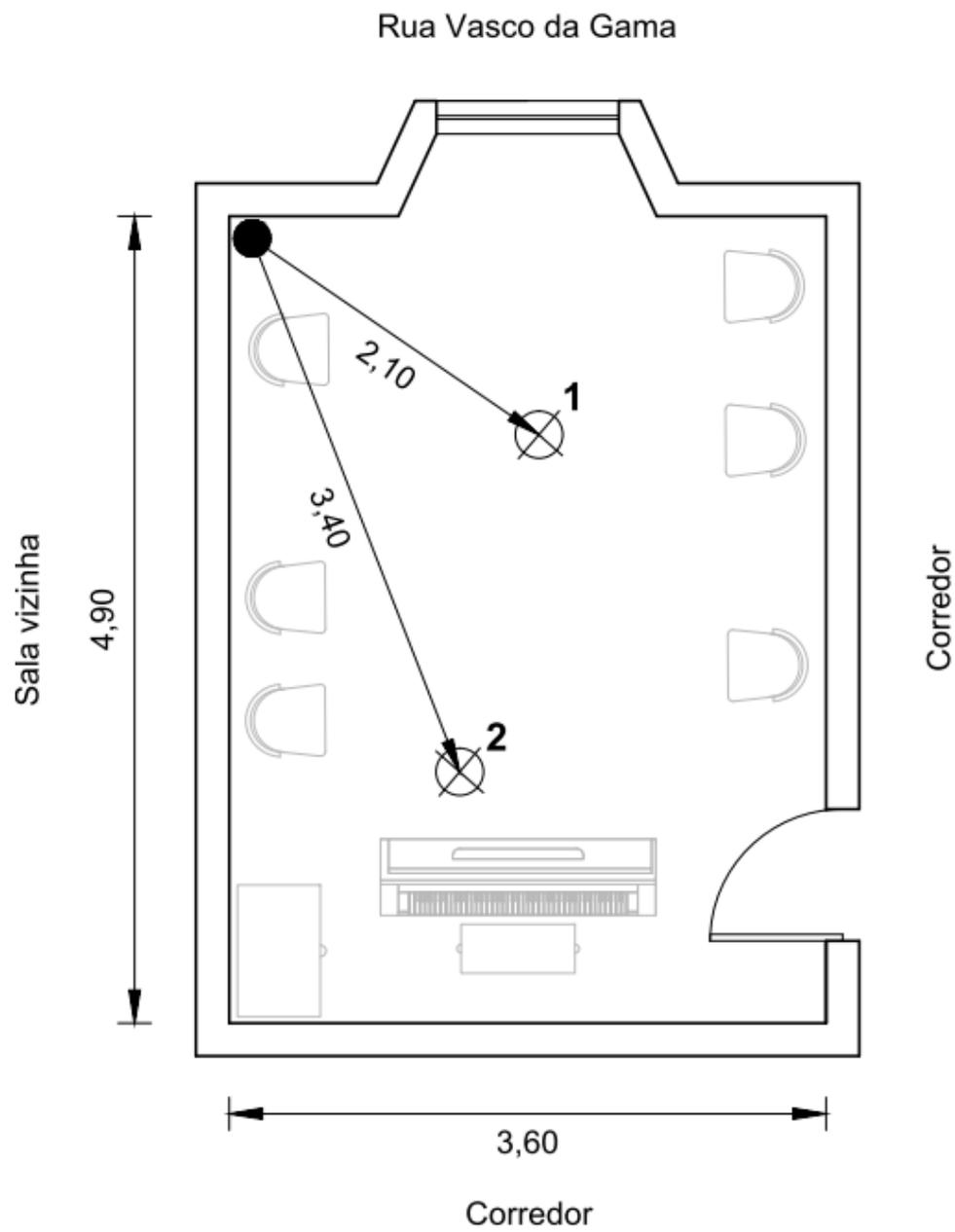


Figura 3.27 – Planta da Sala 5

Legenda:



Posicionamento do Microfone



Posicionamento da Fonte sonora

3.2.3.7. Academia de Música de Tavira

Tabela 3.29 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 2 (Pior)

PONTOS	L_{Aeq} [dB(A)]	T_{20} [s]	G [dB]	EDT [s]	C_{80} [dB]	D_{50} [sem unidades]	T_s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz	Para as bandas de oitava 500 e 1000 Hz				
1	47,53	0,67	19,47	0,70	6,65	0,73	40,72
2	56,90	0,68	14,39	0,65	7,34	0,76	38,58
MÉDIA	52,22	0,68	16,93	0,67	7,00	0,75	39,65

Os valores de Ruído de Fundo obtidos devem-se, principalmente, ao decorrer de uma aula de piano na sala ao lado e ao ruído do trânsito proveniente da Rua João Vaz Corte Real.

Tabela 3.30 – Características arquitetónicas da Sala 2

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
4,10	17,60	72,16	Alvenaria de Pedra com 0,50 m de espessura revestida a estuque	Soalho de madeira	Teto em estrutura de madeira e acabamento em estuque



Figura 3.28 – Vista geral da Sala 2

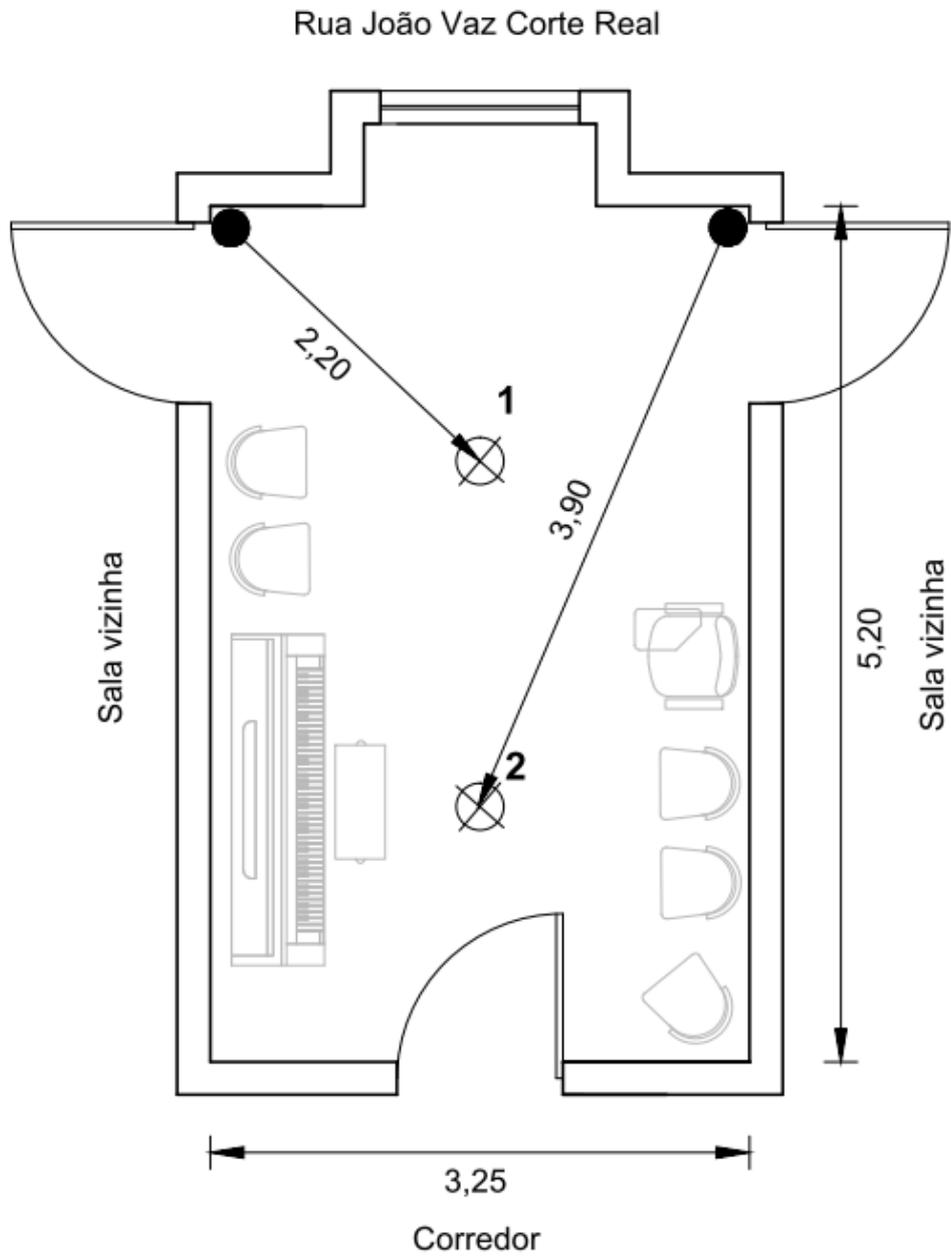


Figura 3.29 – Planta da Sala 2

Legenda:



Posicionamento do Microfone



Posicionamento da Fonte sonora

Tabela 3.31 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 5 (Melhor)

PONTOS	L_{Aeq} [dB(A)]	T_{20} [s]	G [dB]	EDT [s]	C_{80} [dB]	D_{50} [sem unidades]	T_s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz					
1	37,97	1,06	21,28	1,01	2,91	0,50	72,32
2	35,73	1,08	19,53	1,04	3,66	0,59	64,27
MÉDIA	36,85	1,07	20,41	1,03	3,28	0,55	68,30

Os valores de Ruído de Fundo obtidos devem-se, principalmente, ao decorrer de uma aula de piano numa sala próxima e ao ruído do trânsito proveniente da Rua João Vaz Corte Real.

Tabela 3.32 – Características arquitetónicas da Sala 5

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
4,10	20,16	82,66	Alvenaria de Pedra com 0,50 m de espessura revestida a estuque	Soalho de madeira	Teto em estrutura de madeira e acabamento em estuque

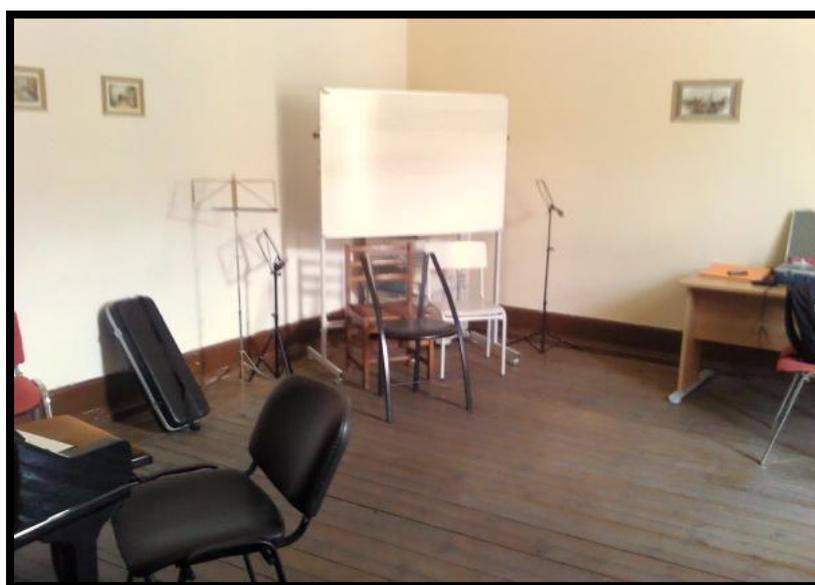


Figura 3.30 – Vista geral da Sala 5

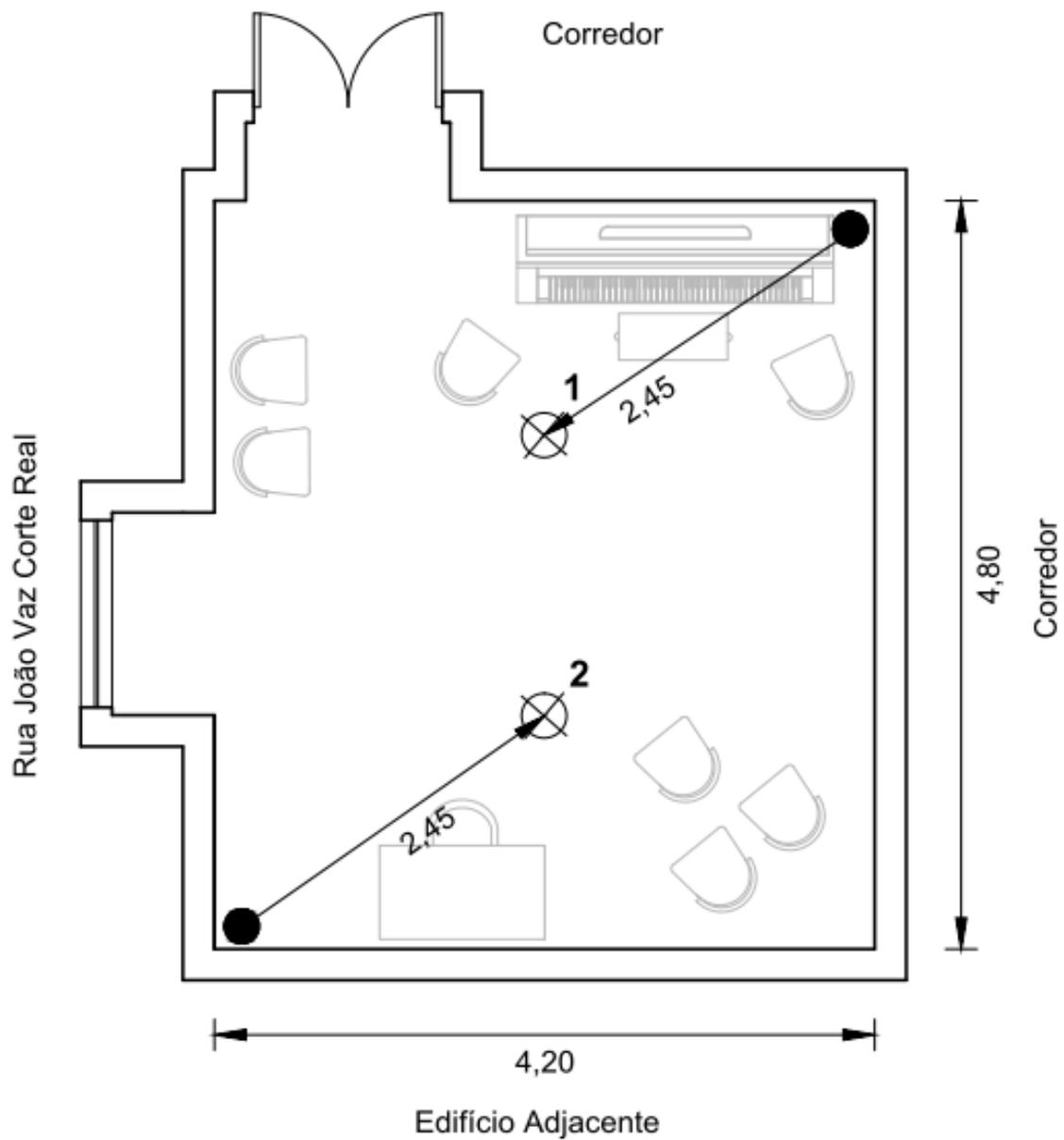


Figura 3.31 – Planta da Sala 5

Legenda:

-  Posicionamento do Microfone
-  Posicionamento da Fonte sonora

3.2.3.8. Conservatório Regional de Vila Real de St.º António

Tabela 3.33 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 7 (Pior)

PONTOS	L_{Aeq} [dB(A)]	T_{20} [s]	G [dB]	EDT [s]	C_{80} [dB]	D_{50} [sem unidades]	T_s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz					
1	50,97	1,48	22,25	1,53	-0,49	0,36	114,32
2	52,13	1,49	17,17	1,51	0,43	0,40	107,27
MÉDIA	51,55	1,49	19,71	1,52	-0,03	0,38	110,79

Os valores de Ruído de Fundo obtidos devem-se, principalmente, ao decorrer de aulas de piano e acordeão em salas próximas, ao ruído do trânsito proveniente da Avenida da República e ao ruído proveniente dos corredores.

Tabela 3.34 – Características arquitetónicas da Sala 7

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
3,45	18,90	65,21	Alvenaria de Pedra com 0,50 m de espessura revestida a estuque	Azulejo	Teto em estrutura em madeira e acabamento em estuque



Figura 3.32 – Vista geral da Sala 7

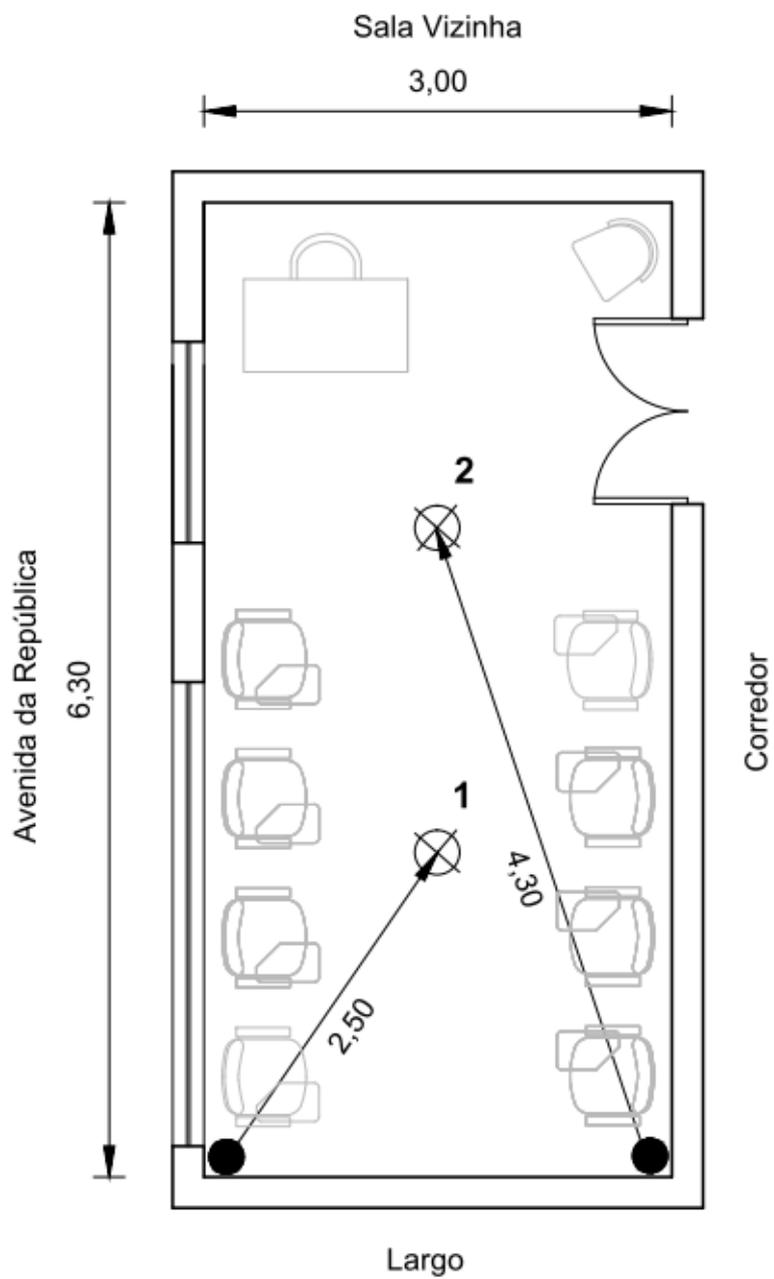


Figura 3.33 – Planta da Sala 7

Legenda:



Posicionamento do Microfone



Posicionamento da Fonte sonora

Tabela 3.35 – Valores médios dos parâmetros acústicos na Sala 9 (Melhor)

PONTOS	L _{Aeq} [dB(A)]	T ₂₀ [s]	G [dB]	EDT [s]	C ₈₀ [dB]	D ₅₀ [sem unidades]	T _s [ms]
		Para as bandas de oitava 500, 1000 e 2000 Hz	Para as bandas de oitava 500 e 1000 Hz				
1	47,50	1,23	21,70	1,15	2,72	0,54	76,13
2	46,67	1,20	15,18	1,23	2,13	0,53	78,98
3	45,60	1,18	19,90	1,07	3,15	0,55	70,61
MÉDIA	46,59	1,21	18,93	1,15	2,67	0,54	75,24

Os valores de Ruído de Fundo obtidos devem-se, principalmente, ao decorrer de aulas de saxofone, piano e acordeão em salas próximas, ao ruído do trânsito proveniente da Avenida da República e ao ruído proveniente dos corredores.

Tabela 3.36 – Características arquitetónicas da Sala 9

Pé-direito (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)	Paredes	Pavimento	Teto
3,45	27,45	94,70	Alvenaria de Pedra com 0,50 m de espessura revestida a estuque	Azulejo	Teto em estrutura em madeira e acabamento em estuque

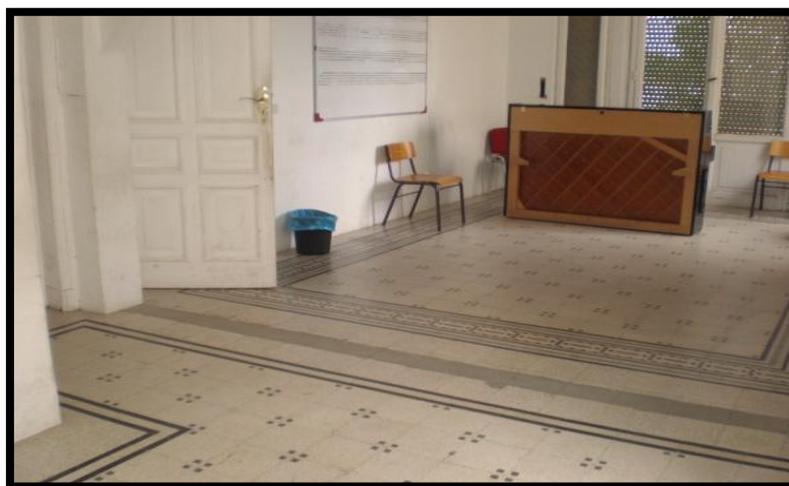


Figura 3.34 – Vista geral da Sala 9

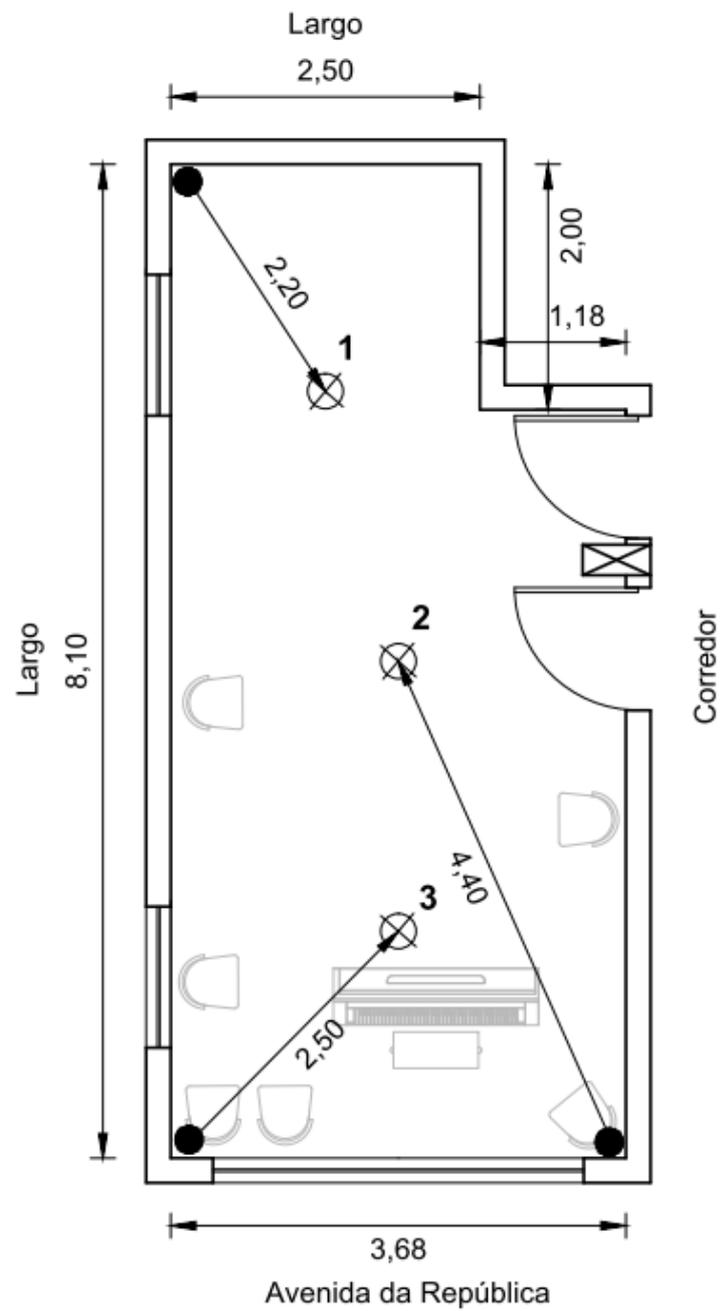


Figura 3.35 – Planta da Sala 9

Legenda:



Posicionamento do Microfone



Posicionamento da Fonte sonora

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo, serão analisadas e comparadas as respostas obtidas no Questionário, presentes nos Tabelas 3.1 e 3.2, com os resultados obtidos nas medições acústicas, nomeadamente com a média de cada parâmetro, apresentadas nos Tabelas 3.5, 3.7, 3.9, 3.11, 3.13, 3.15, 3.17, 3.19, 3.21, 3.23, 3.25, 3.27, 3.29, 3.31, 3.33 e 3.35. De maneira a simplificar a leitura dos mesmos, serão apresentados os resultados das medições ao longo da secção 4.1 em forma de gráfico de barras. Nestes gráficos, relativamente a cada escola, a barra da esquerda corresponde à sala que apresenta piores condições acústicas e a barra da direita à sala que apresenta melhores condições acústicas de acordo com as respostas dos inquiridos.

De seguida, na secção 4.2, serão apresentadas algumas medidas de melhoria a nível da qualidade acústica das salas e colocadas algumas opiniões e reflexões acerca da aplicabilidade da legislação e das normas em salas de aula musical.

4.1. Discussão dos resultados

- **Ruído de Fundo ($L_{A,eq}$):**

Os resultados obtidos do parâmetro Ruído de Fundo demonstraram ser, no geral, elevados e superiores ao limite estabelecido para “Auditórios e Salas” de 30 dB(A), variando de 31,27 dB(A) a 52,22 dB(A), como mostra a Figura 4.1.

Para as salas que foram classificadas no Questionário como as melhores acusticamente e mencionadas como detentoras de um bom grau de qualidade acústica (representadas na Figura 4.1 pela barra da direita de cada escola), esperavam-se resultados inferiores ao limite estabelecido, de maneira a cumpri-lo.

Possivelmente, estes resultados elevados do Ruído de Fundo, poderão indicar que, este parâmetro acústico foi pouco apreciado nas respostas ao Questionário em que, possivelmente, os inquiridos terão dado maior importância a outros parâmetros acústicos. Isto pode implicar que, poderão não ter sido avaliadas as salas que na realidade apresentam melhores condições de Ruído de Fundo, ou que o limite é demasiado exigente.

Existem três salas, Sala 11 (Portimão), Sala 1 (Lagoa), Sala 15 (Faro) que são as únicas classificadas pelos inquiridos como salas que apresentam “inexistência de qualquer tipo de ruído” e que foram classificadas como salas com boas condições acústicas. Relativamente aos

resultados obtidos do Ruído de Fundo, estas também apresentam valores de Ruído de Fundo baixos comparativamente com as outras salas, mas mesmo assim ainda superiores ao limite, sendo que, mais uma vez poderá implicar que o limite seja demasiado exigente.

De qualquer forma, analisando concretamente os valores obtidos de Ruído de Fundo, só na escola de Lagos e na escola de Olhão é que as salas eleitas como as melhores acusticamente, nomeadamente, o Auditório (Lagos) e a Sala 5 (Olhão), apresentam maiores valores de Ruído de Fundo do que as piores salas dessas escolas, Biblioteca (Lagos) e Sala 4 (Olhão), apesar dessa diferença de Ruído de Fundo ser pequena. As restantes salas mencionadas como melhores apresentam valores mais baixos de Ruído de Fundo em relação as classificadas como piores de cada escola.

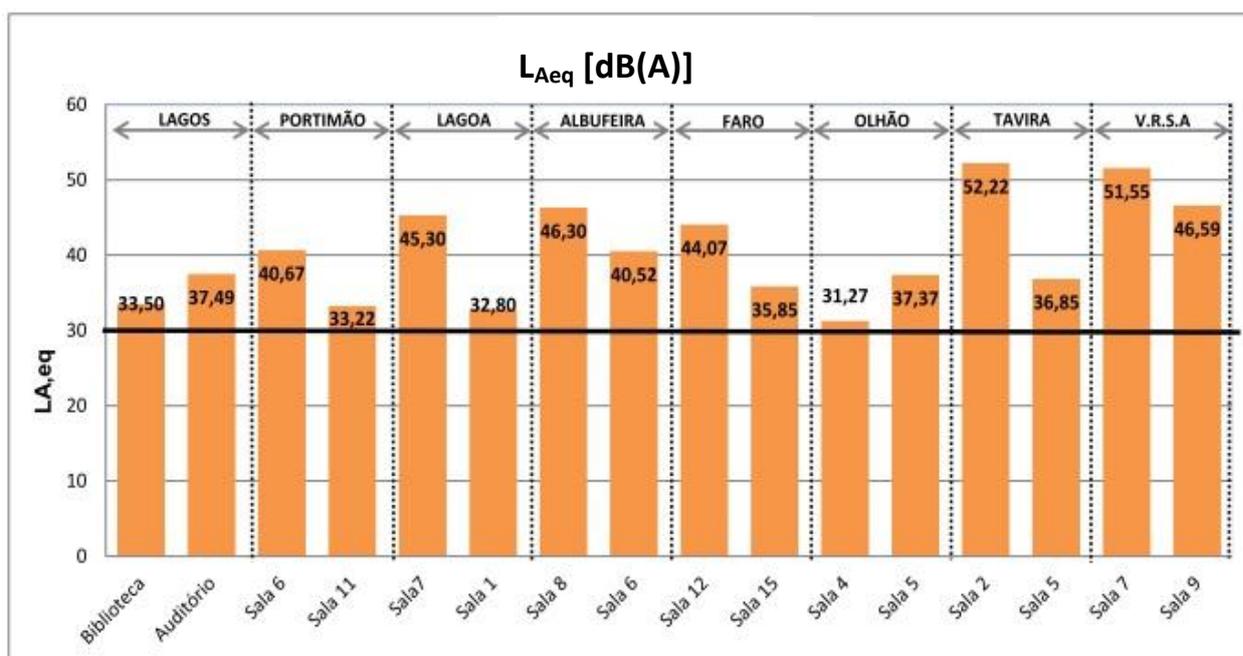


Figura 4.1 – Valores obtidos do parâmetro Ruído de Fundo

- **Tempo de Reverberação (T_{20}):**

Como se pode observar na Figura 4.2, os resultados obtidos do Tempo de Reverberação para as salas avaliadas variam bastante de sala para sala, com valores desde 0,24 s a 1,61 s.

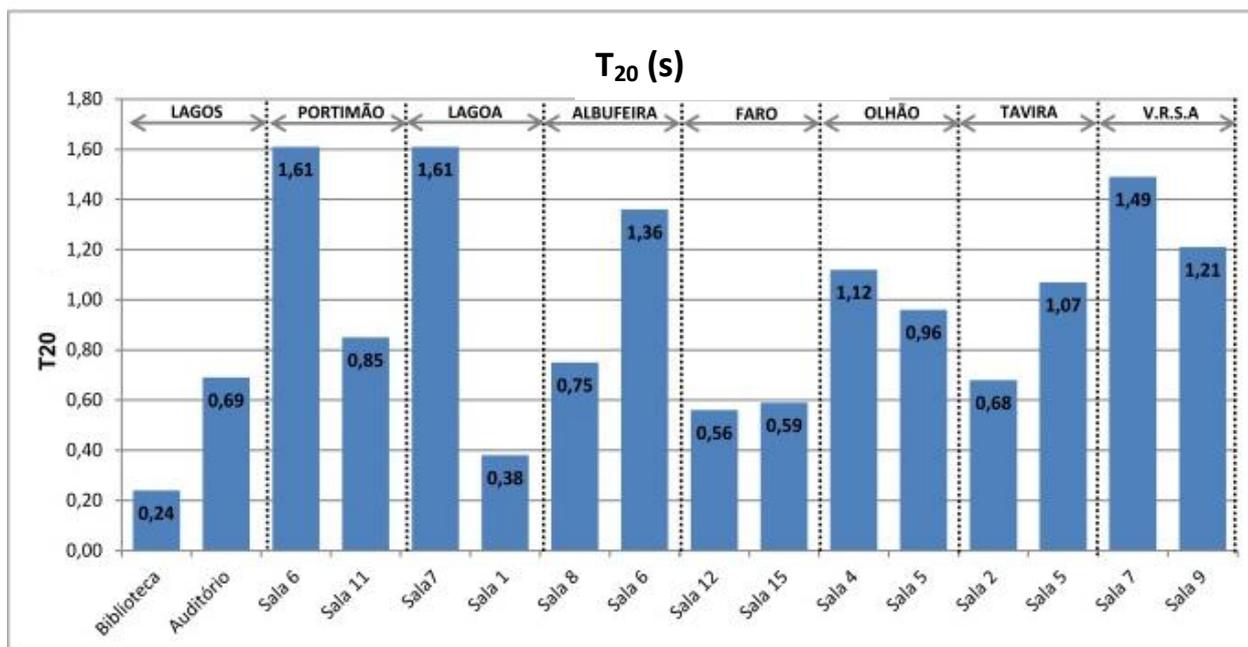


Figura 4.2 - Valores obtidos do parâmetro Tempo de Reverberação

As salas 6 (Portimão), 7 (Lagoa) e 7 (Vila Real de St.º António) destacam-se pelos seus valores elevados de Tempo de Reverberação em relação às outras salas. A Sala 6 (Portimão) foi eleita pelos inquiridos como a pior sala da escola e classificada acusticamente como “Má”, sendo que a maioria dos votos pertencem a trompetistas com 44% (Anexo 2), o mesmo para a Sala 7 (Lagoa) e para a Sala 7 (Vila Real de Sto.º António), com a maioria dos votos de percussionistas com 80% e de contrabaixistas com 100% respetivamente (Anexo 2). Comparando estas três salas com as respostas ao Questionário, apresentadas na Tabela 3.1, uma das principais razões de escolha dos inquiridos é a “Demasiada reverberação” o que verifica também os resultados apresentados na Figura 4.2.

As salas que apresentam os valores mais baixos do Tempo de Reverberação da Figura 4.2 são, a Biblioteca (Lagos) e a Sala 1 (Lagoa) que, ao compará-las com as opiniões da Tabela 3.1 e 3.2 foram também nomeadas por apresentarem “Muito pouca reverberação” e “Pouca reverberação” respetivamente. Estas foram classificadas acusticamente como “Má” no caso da Biblioteca (Lagos) e “Boa” no caso da Sala 1 (Lagoa). É de referir que, os inquiridos que nomearam a Biblioteca (Lagos) como a pior sala em termos acústicos foram na grande maioria pianistas com 57% dos votos e os que nomearam a Sala 1 (Lagoa) como a melhor sala de Lagoa foram instrumentistas de percussão com 100% dos votos (Anexo 2).

Na Tabela 4.1, são expostos os valores obtidos do Tempo de Reverberação, relativamente a cada sala analisada, e verificados se satisfazem o limite legal imposto no Decreto-Lei 96/2008 [34].

Tabela 4.1 – Verificação dos valores obtidos do parâmetro Tempo de Reverberação relativamente ao preconizado pelo DL 96/2008 [34]

Local	Designação da sala	Volume (m ³)	T ₂₀ (s)	$0,15 \times V^{\frac{1}{3}}$	Verificação $T_{20} \leq 0,15 \times V^{\frac{1}{3}}$
Lagos	Biblioteca	29,39	0,24	0,46	Verifica
	Auditório	140,05	0,69	0,78	Verifica
Portimão	Sala 6	106,56	1,61	0,71	Não verifica
	Sala 11	84,00	0,85	0,66	Não verifica
Lagoa	Sala 7	62,83	1,61	0,60	Não verifica
	Sala 1	291,90	0,38	1,00	Verifica
Albufeira	Sala 8	22,27	0,75	0,42	Não verifica
	Sala 6	131,65	1,36	0,76	Não verifica
Faro	Sala 12	62,19	0,56	0,59	Verifica
	Sala 15	104,65	0,59	0,71	Verifica
Olhão	Sala 4	71,36	1,12	0,62	Não verifica
	Sala 5	60,39	0,96	0,59	Não verifica
Tavira	Sala 2	72,16	0,68	0,62	Não verifica
	Sala 5	82,66	1,07	0,65	Não verifica
Vila Real St.º António	Sala 7	65,21	1,49	0,60	Não verifica
	Sala 9	94,70	1,21	0,68	Não verifica

Apenas 5 das 16 salas analisadas verificam o limite legal do Decreto-Lei 96/2008 [34]. Destas 5 salas, apenas 1 delas (Biblioteca), que foi nomeada por ser “Má” acusticamente e “Muito pouco reverberante”, verifica o limite. Isto pode indicar, apesar de verificar o limite, uma absorção sonora demasiado elevada (Tempo de Reverberação muito baixo), e portanto uma possível inadequação/inaplicabilidade do limite legal.

Quanto às 11 salas que não verificam o limite, 3 delas foram eleitas pelos inquiridos como “Más” e como principal nomeação “Demasiado Reverberantes”, como é caso da Sala 6 (Portimão), Sala 7 (Lagoa) e Sala 7 (Vila Real de St.º António), o que confirma que são salas que apresentam muito pouca absorção sonora e consequentemente elevados tempos de reverberação. As restantes 7 salas foram classificadas como “Boas” e “Médias” acusticamente, “Reverberantes” e “Reverberação intermédia” respetivamente mas não verificam também o limite legal, logo, pode-se induzir que no geral o limite legal é muito exigente e que um pouco mais de reverberação em relação ao limite influencia na preferência dos alunos e professores.

- **Tempo de Decaimento Inicial (EDT):**

De acordo com a norma EN ISO 3382-1 [31], os valores obtidos de EDT não se encontram todos nos limites estipulados, ou seja, entre 1 s e 3 s. Observando a Figura 5.3, repara-se que todas as salas verificam o limite máximo de 3 s mas o limite mínimo de 1 s, apenas metade das salas verificam a condição, nomeadamente, a Sala 6 (Portimão), Sala 7 (Lagoa), Sala 6 (Albufeira), Sala 4 (Olhão), Sala 5 (Olhão), Sala 5 (Tavira), Sala 7 (Vila Real de St.º António) e Sala 9 (Vila Real de St.º António).

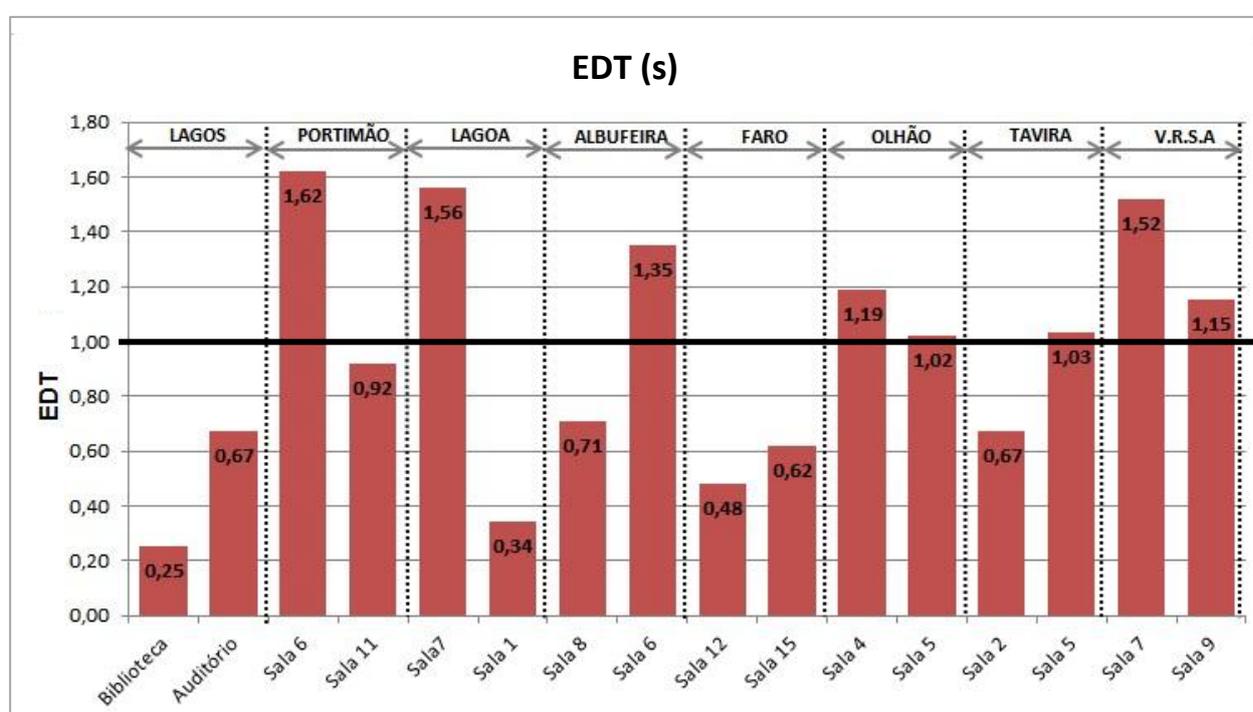


Figura 4.3 - Valores obtidos do parâmetro Tempo de Decaimento Inicial

É possível notar, também, que, os valores obtidos do Tempo de Reverberação (T_{20}) da Figura 4.2 e os valores obtidos do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) da Figura 4.3 são valores muito próximos, variando entre 0,01 e 0,08 segundos. Desta forma, como os valores de EDT e T_{20} são muito próximos, significa que, as características de absorção das superfícies mais próximas do ponto de análise e as características de absorção das superfícies mais afastadas do ponto de análise são semelhantes.

- **Fator de Força (G):**

Como se pode observar na Figura 4.4, os valores obtidos de G variam entre 9,60 e 20,61, assim sendo, pode afirmar-se que quase todas as salas caracterizadas apresentam valores de G relativamente elevados. Isto significa, tipicamente, uma boa audibilidade para instrumentos com baixa potência sonora, mas poderá significar um excesso de amplificação acústica para instrumentos com elevada potência sonora, como é usualmente o caso das percussões e pode justificar a escolha da Sala 1 de Lagoa como a melhor pelos instrumentistas de percussão (Anexo 2). É de salientar, também, que esta é a única sala que verifica o limite máximo de 10 dB estabelecido pela norma EN ISO 3382-1 [31].

É de salientar também que, o valor obtido de G mais alto é de 20,61 dB para a Sala 8 (Albufeira) que foi classificada como a pior sala, sendo que, 75% dos inquiridos que votaram nesta sala são saxofonistas, como se pode observar no Anexo 2. A sala que, apresenta o segundo maior valor de G, é a Sala 5 (Tavira) que, contrariamente à anterior, foi classificada pelos inquiridos como a melhor sala de Tavira, sendo que 75%, dos inquiridos que votaram nesta sala são clarinetistas, como se pode observar no Anexo 2.

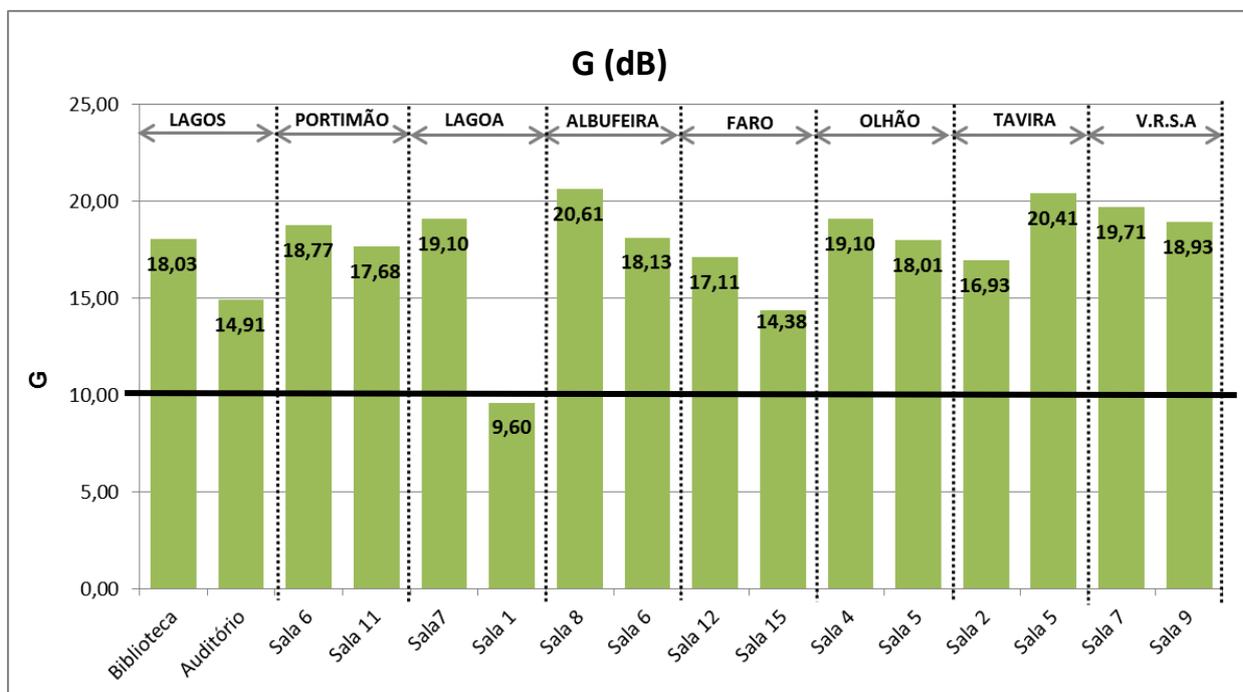


Figura 4.4 - Valores obtidos do parâmetro Fator de Força

- **Clareza (C_{80}):**

Os valores de C_{80} obtidos variam desde 19,33 dB a -0,03 dB, o que representa uma grande disparidade de valores de Clareza entre salas, além de que alguns destes valores se destacam por ultrapassarem em muito o valor máximo de 5 dB estabelecido pela norma EN ISO 3382-1 [31], sendo que, para o valor limite mínimo de -5 dB todas as salas cumprem.

É de salientar que, a Biblioteca (Lagos) e a Sala 1 (Lagoa), cujos valores de C_{80} são bastante elevados, relativamente ao limite máximo de 5 dB, com 19,33 dB e 14,32 dB respetivamente e que, desta forma, apresentam uma sonoridade muito clara. Nos Questionários, apenas estas salas foram classificadas como “muito pouco reverberante” e “pouco reverberante” respetivamente, o que confirma o conteúdo da Figura 4.5 pois, quanto mais baixo for o valor do Tempo de Reverberação, maior será o parâmetro clareza e, conseqüentemente, mais clareza terão as respetivas salas. As salas mais secas (maior clareza) são neste caso, a Biblioteca (Lagos) e a Sala 1 (Lagoa), seguidas das salas 12 e 15 (Faro) com valores de 10,03 e 7,47 dB respetivamente.

No geral, as salas referidas no Questionário como salas com boas condições acústicas, apresentam valores de C_{80} inferiores ao limite máximo 5 dB, à exceção da Sala 1 (Lagoa), Auditórios (Lagos) e a Sala 15 (Faro), apesar destas últimas duas salas apresentarem um valor ligeiramente superior ao limite máximo regulamentar.

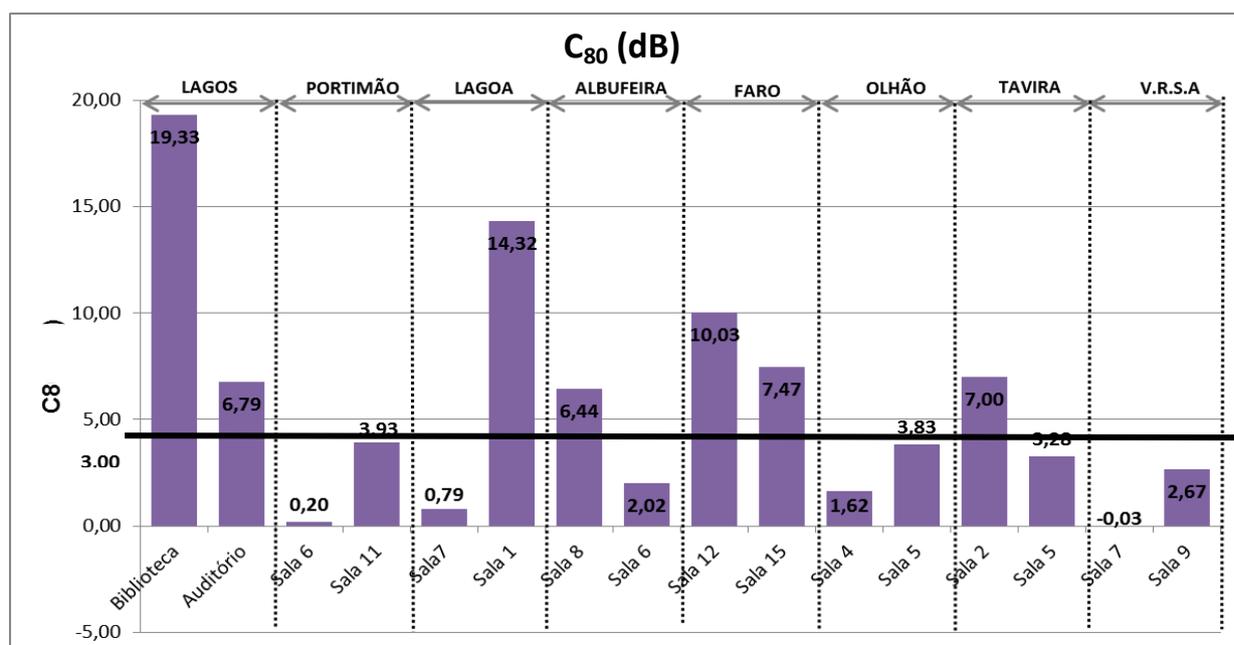


Figura 4.5 - Valores obtidos do parâmetro Clareza

- **Definição (D_{50}):**

Os valores obtidos de D_{50} apresentam a mesma tendência que o parâmetro C_{80} , ou seja, quando um parâmetro aumenta o outro também tende a aumentar e vice versa.

Ao observar a Figura 4.6, é de notar que, todos os valores obtidos de D_{50} cumprem o limite mínimo de 0,3 mas para o limite máximo de 0,7 da norma EN ISO 3382-1 [31], nem todas as salas cumprem, sendo estas respetivamente a Biblioteca e Auditório (Lagos), Sala 1 (Lagoa), Sala 12 e 15 (Faro) e Sala 2 (Tavira). Sendo assim, estas salas, que apresentam maior valor de Definição, não obrigam a um elevado poder de articulação das palavras por parte do palestrante para que se verifique a inteligibilidade.

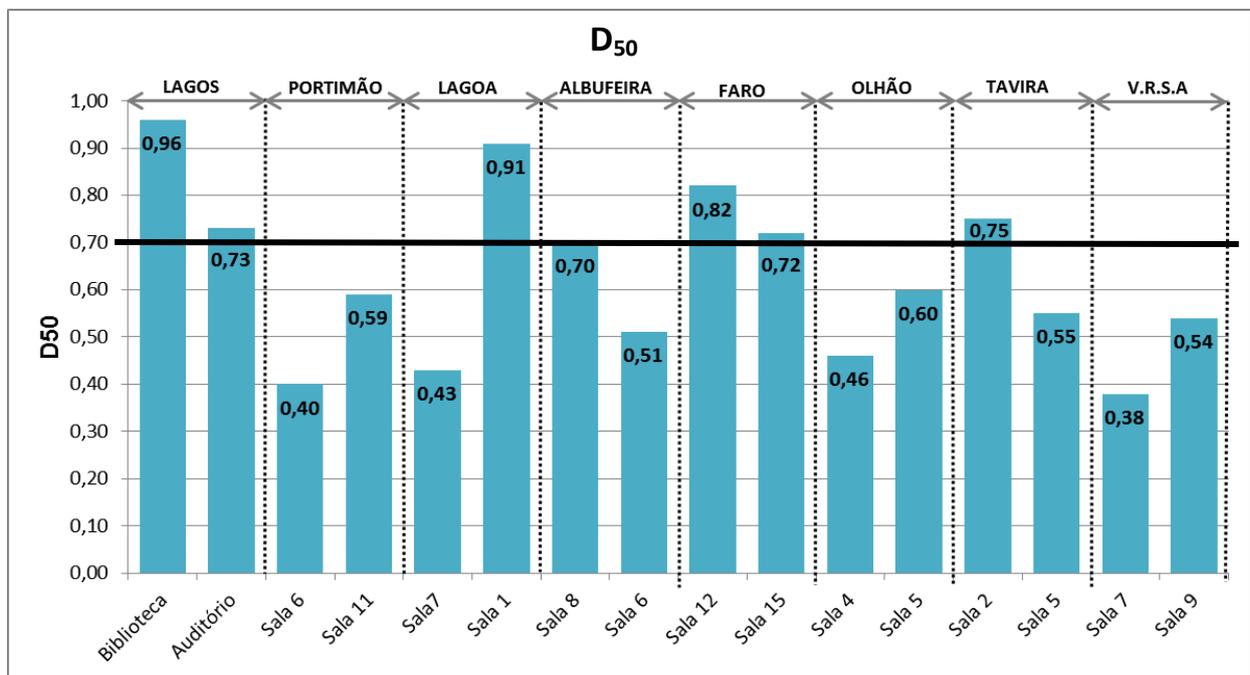


Figura 4.6 - Valores obtidos do parâmetro Definição

- **Tempo Central (T_S):**

Os valores obtidos do parâmetro T_S variam entre 15,07 ms e 111,64 ms e, observando a Figura 4.7, é de notar que todos os valores obtidos estão abaixo do limite máximo de 260 ms dado pela norma EN ISO 3382-1 [31]. Quanto ao limite mínimo de 60 ms dado pela mesma norma nem todas as salas verificam. Sendo estas, as mesmas que não verificam o limite máximo para

o parâmetro D_{50} e C_{80} , ou seja, a Biblioteca e Auditório (Lagos), Sala 1 (Lagoa), Sala 8 (Albufeira), Sala 12 e 15 (Faro) e Sala 2 (Tavira).

O que corrobora mais uma vez que, maior é a clareza e a definição nessas mesmas salas, isto é, a inteligibilidade do discurso falado e a compreensibilidade do discurso musical são tanto melhores quanto menor for o valor do parâmetro T_S .

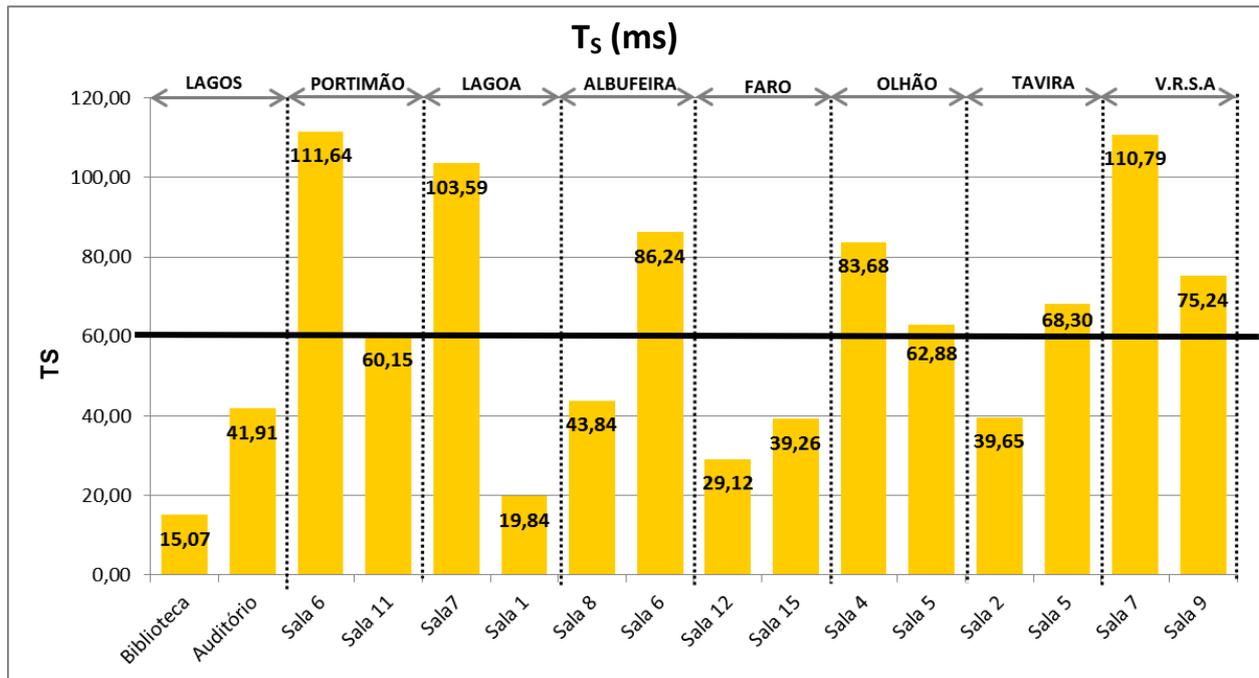


Figura 4.7 - Valores obtidos do parâmetro Tempo Central

4.2. Medidas de melhoria

Conforme o explicitado atrás, o desenvolvimento do presente trabalho levou à emergência de várias oportunidades de melhoria a vários níveis, nomeadamente:

- Legislação e normas: Aparece haver uma fraca aplicabilidade da legislação e normas de acústica ao caso das Salas de Aula de Música, com os seguintes destaques:
 - Ruído de Fundo: Ainda que seja óbvio que quanto menor o Ruído de Fundo melhores as condições acústicas, talvez a exigência legal [34] de $L_{Aeq} \leq 30$ dB(A) seja excessiva, pois nenhuma das salas analisadas cumpre tal limite e existem salas consideradas com boa acústica.

- Tempo de Reverberação: Não é claro se o limite máximo do Tempo de Reverberação estabelecido na legislação [34] para Salas de Aula é aplicável a Salas de Aula de Música. Se o limite referido for aplicável, verificou-se, no presente trabalho, existirem salas consideradas com boa acústica, em que esse valor é ultrapassado o que indicia a inadequação do limite legal para o caso das Salas de Aula de Música. Verificou-se também, com o presente trabalho, existirem salas consideradas com má acústica (demasiado secas) em que o limite máximo da legislação é cumprido, o que indicia também a necessidade de definição de um limite mínimo para o Tempo de Reverberação em Salas de Aula de Música e eventualmente um limite máximo um pouco superior ao estabelecido para sala de aula onde a palavra predomina.
- Parâmetros complementares: Os valores indicativos na norma EN ISO 3382-1 [31] são maioritariamente inadequados para salas de aula musical, sobretudo devido ao facto dos volumes típicos das salas de aula musical serem normalmente muito menores do que os volumes das salas de concerto e para os quais os valores da norma aparentam ser mais adequados. Outro aspeto julgado relevante é o facto do Tempo de Reverberação e dos parâmetros complementares cingirem-se, normalmente e de acordo com a legislação e norma [34];[30] à gama de frequências contidas nas bandas de oitava centradas nos 500 Hz, 1000Hz e 2000 Hz, e a tessitura (extensão de notas mais confortável musicalmente para um determinado instrumento ou voz [56]) de alguns instrumentos estar fora dessa gama, e.g. a tessitura normal de um contrabaixo é Mi1 (≈ 40 Hz) a Dó4 (≈ 275 Hz) como se pode observar no Anexo 3. De referir também que, e.g., um flautim tem uma tessitura típica de Dó5 (≈ 500 Hz) a Dó8 (≈ 4380 Hz), ver Anexo 3, o que revela uma aparente maior adequabilidade da gama 500 Hz a 2000 Hz para instrumentos mais agudos.
- Escolas de música:
 - Todos nós gostaríamos que houvesse uma solução “milagrosa” única e bem definida para os nossos problemas, mas quase sempre a solução viável não é “milagrosa”, não é única e não pode ser bem definida. Considera-se que o presente trabalho permitiu revelar que não é possível definir uma solução única capaz de resolver completamente “todos” os problemas acústicos de uma determinada sala, porquanto alguns dos problemas dependem das características particulares do instrumentista ou do instrumento, e muitas vezes pretende-se

que uma única sala seja capaz de responder adequadamente, em termos acústicos, para vários tipos de utilização e para vários tipos de instrumentos, pelo que a solução que poderia resolver um determinado problema acústico apercebido por um determinado tipo de utilização e/ou de instrumento, poderá também agravar o problema acústico apercebido por outro tipo de utilização e/ou instrumento. Afigura-se assim, ser importante que cada escola procure encontrar as soluções mais adequadas para o seu caso, sendo que por vezes as soluções mais simples nem sempre são devidamente valorizadas, pois, por exemplo e tendo em conta os resultados do Questionário efetuado, aparentemente dá-se mais valor aos aspetos da “reverberação”, em sentido lato, e menos valor aos aspetos do Ruído de Fundo, sendo que sem um Ruído de Fundo adequado de “pouco” valerá uma boa “reverberação”.

- Julga-se assim adequado recomendar que, em primeiro lugar, seja equacionada a redução do Ruído de Fundo, proveniente do exterior e/ou do interior do edifício, nos casos em que o mesmo é manifestamente elevado. De acordo com as medições efetuadas tem-se que, pelo menos na sala 2 (Tavira) e sala 7 (Vila Real de St.º António), deveria ser equacionada a melhoria do isolamento sonoro relativamente ao exterior e/ou relativamente ao interior (compartimentos adjacentes e corredores), de modo a diminuir o Ruído de Fundo existente nestas Salas.
- Em segundo lugar, julga-se que deveria ser efetuada, na medida do possível, uma adequada distribuição das atividades e tipos de instrumento pelas salas mais adequadas, em termos acústicos, para os respetivos fins.
- Caso se conclua, eventualmente, pela inexistência de salas com características de “reverberação” adequadas para determinado fim, dever-se-ia então equacionar, portanto em terceiro lugar, a melhoria da “reverberação” de uma determinada sala escolhida para esse fim.
- Consideram-se como aspetos principais a ter em conta na definição da melhor solução de “reverberação” para determinado fim, os seguintes:
 - Potência sonora: Salas dedicadas a instrumentos com elevada potência sonora não devem ter Fatores de Força muito elevados, ou seja, não devem ser muito pequenas e ou não devem ter elevada reverberação, pois tal facto pode ser prejudicial à saúde auditiva dos instrumentistas,

para além de ser normalmente desagradável. De qualquer forma, é importante que qualquer diminuição da reverberação, no sentido da diminuição do Fator de Força, não seja exagerada, para que não passe a existir uma Clareza demasiado elevada que possa tornar claramente perceptíveis todas as “imperfeições naturais” do instrumentista/instrumento, o que pode ser também desagradável e desmotivador (de referir, a título ilustrativo, que a elevada reverberação existente normalmente no chuveiro, mascara as imperfeições da nossa voz e faz com que a mesma nos soe melhor do que em outros espaços com menor reverberação). Salas dedicadas a instrumentos com menor potência sonora necessitam de Fatores de Força mais elevados (salas mais pequenas ou com maior reverberação), para não obrigarem a um grande desgaste do instrumentista para se ouvir.

- Número de elementos: Em Salas para execução simultânea de vários instrumentistas, a Potência Sonora global vai ser a sobreposição das potências sonoras individuais, pelo que um Fator de Força adequado para poucos ou um só instrumento pode ser desadequado para vários instrumentos. De referir que a variação do Nível de Intensidade Sonora em função do número n de instrumentos com igual Potência Sonora varia numa proporção de $10\log(n)$ [10], ou seja, para haver uma variação de 10 dB é necessário passar de 1 para 10 instrumentos ou de 10 para 100, por exemplo.
- Tessitura: Para diminuir ou aumentar a reverberação, de forma a controlar o Fator de Força da Sala e/ou a Clareza, deverá ter-se em conta a tessitura dos instrumentos em causa, de modo a que a solução atue efetivamente na gama de frequências de interesse.
- Salas para palavra: No caso de salas onde o primordial é a inteligibilidade da palavra, é essencial que haja uma muito boa definição do discurso falado, o que normalmente significa Tempos de Reverberação mais baixos mas sem perda de um Fator de Força que permita uma boa audibilidade. Tipicamente as salas para palavra devem ter tempos de reverberação mais baixos do que os tempos de reverberação das salas de música. A gama de frequências típica da conversação humana é 250 Hz a 8000 Hz [57], sendo que as vogais têm usualmente componente

mais graves (250 Hz a 2000 Hz) e as consoantes, que desempenham papel fulcral na inteligibilidade, têm usualmente componentes mais agudas (2000 Hz a 8000 Hz), pelo que, para tempos de reverberação adequados (boa definição da palavra) é usualmente desejável, de forma geral, menores tempos de reverberação nas baixas frequências (abaixo de 2000 Hz) do que nas altas frequências (acima de 2000 Hz) [57].

5. CONCLUSÕES

Através do desenvolvimento deste trabalho, foi possível constatar que a qualidade acústica de uma sala de aula musical é um tema bastante complexo, que deve ter em consideração uma avaliação objetiva, utilizando os parâmetros acústicos definidos na norma EN ISO 3382-1 [31], mas também uma avaliação subjetiva, reconhecendo-se que a apreciação humana é um fator também importante no estudo da qualidade acústica de uma sala, pois como foi demonstrado neste trabalho em muitas das salas consideradas com boas condições acústicas pelos inquiridos não se verificaram os limites regulamentares, sendo que, outras salas consideradas pelos inquiridos como tendo más condições acústicas cumpriram aqueles limites. Assim, é importante ter em conta esta análise subjetiva juntamente com a análise objetiva para que desta forma, se obtenha um maior êxito na avaliação da qualidade acústica de uma sala.

Apesar do número de respostas ao Questionário por escola ter sido reduzido, principalmente, nas escolas de Faro, Olhão e Vila Real de St.º António com 4 a 5 respostas, foi possível concluir, no que diz respeito à relação entre as respostas ao Questionário e os resultados das medições acústicas efetuadas *in situ*, que:

- Uma vez que a legislação [34] não define limites para o Ruído de Fundo em salas de aula musical, o limite legal referente a Auditórios e Salas [34], adotado para o Ruído de Fundo em salas de aula musical, aparenta ser demasiado exigente, uma vez que todas as salas apresentam valores de Ruído de Fundo superiores ao limite até mesmo aquelas que foram classificadas como salas que apresentavam boas condições acústicas;
- Aparentemente existe uma preferência dos inquiridos por Tempos de Reverberação (T_{20}) e Tempos de Decaimento Inicial (EDT) mais altos, tendo ocorrido em cinco casos (Sala 11 de Portimão, Sala 6 de Albufeira, Sala 5 de Olhão, Sala 5 de Tavira, Sala 9 de Vila Real St.º António) em que os valores obtidos de T_{20} e EDT são superiores ao limite legal imposto na legislação [34] e cujas salas foram mencionadas no Questionário como sendo as melhores salas das respetivas escolas. A maioria dos inquiridos que preferiram estas salas com tempos de reverberação (T_{20} e EDT) mais elevados foram violinistas, flautistas e clarinetistas, que correspondem a instrumentos de menor potência sonora em relação a outros instrumentos, como o trompete, saxofone, trompa, tuba, contrabaixo, percussão caracterizados por apresentarem elevada potência sonora.

- Aparentemente existe uma tendência para os instrumentistas de percussão preferirem salas com tempos de reverberação (T_{20} e EDT) e fatores de forma (G) menores como é o caso da Sala 1 de Lagoa;

Segundo a maioria dos resultados do Tempo de Reverberação e segundo Carvalho (2013), em salas de música, o Tempo de Reverberação tem de ser um pouco mais elevado do que em salas para a palavra, isto para que as notas musicais não soem com exagerada clareza [9]. Daí que, deveria ser feita uma adenda ao Decreto-Lei 96/2008 [34] de maneira a que seja estabelecido um limite máximo do Tempo de Reverberação um pouco mais elevado para salas de aula musical. Pelos resultados deste estudo, deveria existir também um limite mínimo de Tempo de Reverberação, pois algumas das salas classificadas pelos inquiridos como tendo más condições acústicas apresentaram valores de Tempo de Reverberação muito reduzidos, ou seja, verificam o limite máximo regulamentar mas são prejudicadas por terem um Tempo de Reverberação muito baixo que as torna “secas”, não sendo promovida a ligação entre os sons. A adenda ao referido Decreto-Lei também devia estabelecer limites para o Ruído de Fundo, uma vez que este não é explicitado para salas de aula musical.

Os problemas da qualidade acústica nas escolas de música do Algarve, e eventualmente em outras regiões, não estão só relacionados com o facto de estas terem origem em edifícios degradados ou originalmente não projetados para esse fim (alguns dos edifícios das escolas de música analisados são muito antigos, construídos em datas anteriores a 1950 e já tinham tido outros tipos de utilização no passado). Em edifícios recentes, como é o caso da escola de música de Faro, também foram identificados problemas acústicos. De notar contudo que, no geral, em todos os parâmetros acústicos medidos, a sala mencionada como a que apresenta piores condições acústicas na escola de Faro (Sala 12) e a mencionada como a que apresenta melhores condições acústicas dessa mesma escola (Sala 15), apresentam valores muito semelhantes uma da outra, o que poderá estar relacionado com o facto de, essa escola ter sido a única escola do Algarve construída de raiz (no ano 1992) com a finalidade de ensino de música e daí poder haver pouco contraste entre as salas com piores condições acústicas e as salas com melhores condições acústicas. Para todas as outras escolas os valores de cada parâmetro diferem muito das piores salas para as melhores salas mencionadas pelos inquiridos.

Considera-se que o presente trabalho permitiu identificar alguns dos problemas acústicos existentes nas escolas de música do Algarve e apontar formas de resolução desses problemas. Permitiu ainda verificar que, dada a complexidade das questões que envolvem a qualidade

acústica de uma sala de aula musical, não é possível, na maior parte dos casos, apontar uma forma única e bem definida para a resolução do problema. Contudo, em alguns casos, se for possível ter em conta critérios acústicos, por parte das entidades responsáveis, na atribuição de determinada sala a um determinado tipo de função, poderão ser minimizados significativamente alguns dos problemas acústicos identificados, evitando-se mesmo a necessidade de serem executadas obras de correção acústica.

Deseja-se por fim, que os desenvolvimentos efetuados e os princípios expressos no presente trabalho, possam servir de base a um eventual trabalho futuro que conduza a efetivas intervenções com vista à melhoria das condições acústicas nas escolas de música no Algarve. Conforme referido atrás, as intervenções não terão de ser obrigatoriamente intervenções de obra, poderão ser apenas intervenções organizativas, mas se forem intervenções de obra, considera-se também que os desenvolvimentos e princípios expressos no presente trabalho poderão também constituir uma boa base de trabalho.

Como sugestões de trabalhos futuros, seria desejável que se conseguisse um maior número de respostas ao questionário e que fossem executados trabalhos deste tipo noutras regiões do país. Tais estudos iriam criar condições que sustentassem condições regulamentares específicas das salas de aula para ensino de música ou, pelo menos, para que fossem estabelecidas linhas orientadoras do projeto de salas de aula para ensino de música.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GOHN, Maria Da Glória; STAVRACAS, Isa - **O Papel da Música na Educação Infantil**. Eccos Revista Científica. Brasil. ISSN 1983-9278. Nº 2 (2010), p. 85-103. Disponível em WWW:<URL:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=71518580013>>.
- [2] PARREIRAL, Ana Rita Vaz - **Caracterização da Qualidade do Ambiente Interior num Edifício Escolar Recentemente Requalificado**. Universidade de Coimbra, 2011. Tese de Mestrado.
- [3] PATRÍCIO, Jorge - **Acústica nos Edifícios**. 1ª Edição. Lisboa: Edição de autor, 2003. 292 p. ISBN 972-9025-21-5.
- [4] ANDRADE, Joana Maria Figueiredo Mota De - **Caracterização do Conforto Acústico em Escolas**. Porto: FEUP, 2009. Tese de mestrado.
- [5] SHROEDER, M. R. - **Music Perception in Concert Halls**. Stockholm: Royal Swedish Academy of Music, 1979. p. 1-32. ISBN 91-85428-14-0.
- [6] MATEUS, Diogo - **Acústica de Edifícios e Controlo de Ruído**. Coimbra: FCTUC, 2008. Sebenta.
- [7] MARQUES, Américo; SILVA, João; GASPAS, César - **Isolamentos**. Porto: UFP, 2010. Trabalho académico.
- [8] SILVA, José Júlio Braga Correia Da - **Desenvolvimento de um modelo de previsão do comportamento de uma parede em relação ao isolamento aos sons aéreos**. Porto: FEUP, 1994. Tese de Mestrado.
- [9] CARVALHO, António Pedro Oliveira De - **Acústica Ambiental e de Edifícios**. Edição 8.5. Porto: FEUP, 2013. Sebenta.
- [10] HENRIQUE, Luís L. - **Acústica Musical**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002. ISBN 972-31-0987-5.
- [11] IAZZETTA, Fernando - **Propagação de Ondas** [Em linha]. [Consult. 20 jan. 2014]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.eca.usp.br/prof/iazchetta/tutor/acustica/propagacao/propaga.html>>.
- [12] SANTOS, Marco Aurélio Da Silva - **A Sensibilidade Auditiva** [Em linha]. [Consult. 30 jan. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.mundoeducacao.com/fisica/a-sensibilidade-auditiva.htm>>.
- [13] RIBEIRO, Alexandre - **As sensações auditivas** [Em linha]. p. 1-12. Oliveira de Frades. 2011. [Consult. 21 jan. 2014]. Disponível em WWW: <URL:<http://www.slideshare.net/AlexandreRibeiro5/as-sensaes-auditivas>>
- [14] GUERRA, Rui - **O som** [Em linha]. p. 1-28. [Consult. 26 jan. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://w3.ualg.pt/~rguerra/Acustica/som.pdf>>

- [15] ALMEIDA, Manuela; SILVA, Sandra; FERREIRA, Tiago - Física das Construções: **Acústica Ambiental e de Edifícios**. Sebenta de Acústica Ambiental e de Edifícios. Minho: EEUM, 2007. Sebenta.
- [16] RETAMAL, Maria Cristina Ruiz *et al.* - Estudo dos limiares de audibilidade nas altas frequências em indivíduos normo-ouvintes de 12 a 19 anos. **Distúrbios da Comunicação**. 16,1 (2004) p. 35-42.
- [17] MACHADO, Nuno - Aulas de Física e Química. **O som e a luz** [Em linha]. [Consult. 12 feb. 2014]. Disponível em WWW:<URL:http://www.aulas-fisica-quimica.com/8f_07.html>.
- [18] LAZZARINI, Victor E. P. - **Elementos de Acústica**. Maynooth: Music Department of National University of Ireland, 1998. Sebenta.
- [19] BARRON, Michael - **Auditorium Acoustics and Architectural Design**. 2ª. Edição. New York: Spon Press, 2010. 481 p. ISBN 0-203-87422-6.
- [20] ENGENHARIA ACÚSTICA DA UFSM - **Acústica arquitetônica** [Em linha]. [Consult. 20 dec. 2013]. Disponível em WWW:<URL:http://www.eac.ufsm.br/pesquisa/areas-de-atuacao>.
- [21] PORTELA, Marcelo - Materiais Acústicos. **Conceitos para acústica arquitetônica** [Em linha]. [Consult. 20 dec. 2013]. Disponível em WWW:<URL:http://www.labcon.ufsc.br/anexosg/389.pdf
- [22] MOREIRA, Anabela - Acústica nos Edifícios - Parte 1 [Em linha]. p.1-20. [Consult. 26 jan. 2014]. Disponível em WWW:<URL:http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2959__AcusEdif_FC_Parte1.pdf
- [23] SIMÕES, Flávio Maia - **Acústica Arquitetônica**. Rio de Janeiro: PROCEL EDIFICA - Eficiência Energética em Edificações, 2011.
- [24] SERRANO, Rodrigo - **Guia para a Elaboração de Estúdio de Gravação**. 2010. Manual de Acústica - Projeto.
- [25] OLIVEIRA E IRMÃO, S. A. - **AveiroDomus - Associação para o Desenvolvimento da Casa do Futuro: Sub-Projecto de Acústica**. Aveiro: UA, 2006. Relatório de progresso
- [26] SOUSA, Albano Neves E - Modelos de Previsão: **Requisitos Acústicos nos Edifícios** [Em linha]. atual. 22 de Mai. 2009. [Consult. 12 feb. 2014]. Disponível em WWW:<URL:http://www.construcaomagazine.pt/xFiles/scEditor/File/Seminrio Acstica/Albano Neves e Sousa.pdf>.
- [27] MOREIRA, Anabela - Acústica nos Edifícios - Parte 2 [Em linha]. p.1-14. [Consult. 26 jan. 2014]. Disponível em WWW:<URL:http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2959__AcusEdif_FC_Parte2.pdf
- [28] CORBELLINI, Daniel Espinosa - Auditório Universidade do Algarve. In SEMINÁRIO INGENIERÍA ACÚSTICA, ACÚSTICA DE SALAS - **Acústica Arquitetônica: Capítulo 6**. Faro, 5 Junho 2013.

- [29] EVEREST, F. Alton; POHLMANN, Ken C. - **Master Handbook of Acoustics**. 5ª Edição. New York, Chicago, San Francisco, Lisbon, Madrid, Mexico, Milan, New Delhi, San Juan, Seoul, Singapore, Sidney, Toronto: The McGraw-Hill Companies, 2009. 510 p. ISBN 978-0-07-160333-1.
- [30] NP EN ISO 3382-2 Acústica. Medição de parâmetros de acústica de salas. Parte 2: Tempo de reverberação em salas correntes. 2011.
- [31] EN ISO 3382-1 - Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 1: Performance spaces. 1ª Edição. Switzerland: 2009.
- [32] PEREIRA, Ricardo Nepomuceno - **Caracterização Acústica de Salas**. Lisboa: IST, 2010. Tese de Mestrado.
- [33] OITICICA, Maria Lúcia Gondim Da Rosa - Acústica x Aprendizagem: A problemática das salas de aula. **Revista Em Foco n° 17**. [Em linha]. [Consult. em 22 Fev. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.gw3mn.com.br/site/index.php/revista-em-foco-n-17/90-acustica-x-aprendizagem-a-problematICA-das-salas-de-aula>>.
- [34] Decreto-Lei n.º 96/2008 de 9 de Junho de 2008 do Ministério do Ambiente, do Ordenamento, do Território e do Desenvolvimento Regional. Diário da República: 1.ª Série, n.º 110.
- [35] SPADA, Adriano Luiz - Fenômenos Físicos e Leis Fundamentais [Em linha]. [Consult. em 12 Jan. 2014]. Disponível em WWW:<URL:http://www.attack.com.br/artigos_tecnicos/fen.pdf>.
- [36] BARROSO, Marta Feijó - Introdução às Ciências Físicas. **Reflexão especular e reflexão difusa** [Em linha]. [Consult. em 13 Jan. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.if.ufrj.br/~marta/cederj/optica/02-5.pdf>>.
- [37] EGAN, M. David - **Architectural Acoustics Workbook**. Massachusetts: Charles W. Tilley, AIA, 2000. 200 p.
- [38] MARÍN, Antonio Carlos Pérez De Siles - **Campo directo y campo difuso** [Em linha], atual. 2001. [Consult. em 3 Dez. 2014]. Disponível em WWW:<URL:[http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas_proyecto_def/\(6\)_El_campo_acustico/campo_directo_y_campo_difuso.htm](http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/1/paginas_proyecto_def/(6)_El_campo_acustico/campo_directo_y_campo_difuso.htm)>.
- [39] NASCIMENTO, Marcelo De Sousa - **Diagnóstico e Propostas para Melhoria do Sistema de Reforço Sonoro do Estádio Olímpico do Pará**. Belém: Universidade Federal do Pará, 2005. Tese de Bacharelato.
- [40] BISQUOLO, Paulo Augusto - **Difração de Ondas: Um fenômeno que pode ser sonoro ou luminoso** [Em linha], atual. 2006. [Consult. 17 dec. 2013]. Disponível em WWW:<URL:<http://educacao.uol.com.br/disciplinas/fisica/difracao-de-ondas-um-fenomeno-que-pode-ser-sonoro-ou-luminoso.htm>>.
- [41] MARQUES, Domiciano - **Difração de ondas** [Em linha]. [Consult. 14 feb. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.brasile scola.com/fisica/difracao-ondas.htm>>.

- [42] SOTTO, Alfredo - **Ondas - Fenômenos** [Em linha]. [Consult. 13 feb. 2014]. Disponível em WWW:<URL:http://soumaisenem.com.br/fisica/oscilacoes-ondas-optica-e-radiacao/ondas-fenomenos>.
- [43] GEOCITIES.WS - **Fenômenos Ondulatórios** [Em linha], atual. 2014. [Consult. 3 jan. 2014]. Disponível em WWW:<URL:http://www.geocities.ws/saladefisica8/ondas/fenomenos.html>.
- [44] ROSÃO, Vitor; CONCEIÇÃO, Eusébio - **Software Cálculo Automático**. Aplicação informática livre para cálculo segundo a EN 12354-6 de tempo de reverberação em espaços com absorção sonora irregular. Valladolid, Tecniacustica, 2013.
- [45] BORBA, Heitor De Araújo - **Como medir o ruído de fundo** [Em linha], atual. 2010. [Consult. 27 oct. 2013]. Disponível em WWW:<URL:http://www.artigos.com/components/com_mtree/attachment.php?link_id=9924&cf_id=24>.
- [46] BRANZ Ltd - Acoustics: **Designing Quality Learning Spaces**. Wellington: Ministry of Education, 2007. 1-64 p. ISBN 0-478-13622-6.
- [47] MENEZES, Maria Inês Alves Antunes Saraiva De - **Caracterização Acústica Interior de Edifícios Escolares Reabilitados**. Porto: FEUP, 2010. Tese de Mestrado.
- [48] LACATIS, R. *et al.* - **Historical and Chronological Evolution of the Concert Hall Acoustics Parameters** [Em linha]. actual. 29 Junho-4Julho, 2008. [Consult. 19 Jan. 2014]. Disponível em WWW:<URL:http://www.arauacustica.com/files/publicaciones_relacionados/pdf_esp_70.pdf>
- [49] ROSÃO, Vitor Carlos Tadeia - **Contributo para a Caraterização da Qualidade Acústica de Casas de Fado**. Lisboa: FC-UL, 2012. Tese de Mestrado.
- [50] MIŚKIEWICZ, Andrzej *et al.* - Concert Hall Sound Clarity, A Comparison of Auditory Judgments and Objective Measures. **Archives of Acoustics** [Em linha]. Vol. 37, n.º 1 (2012). [Consult. 26 Jan. 2014]. Disponível em WWW:<URL:http://www.degruyter.com/view/j/aoa.2012.37.issue-1/v10168-012-0006-7/v10168-012-0006-7.xml. DOI: 10.2478/v10168-012-0006-7.>
- [51] SILVA, Telma Eduarda Lopes Da - **Guião da Acústica de Igrejas em Portugal**. Porto: FEUP, 2008. Tese de Mestrado.
- [52] ALVES, Edward Victor - **Estudo das Condições Acústicas de Auditórios**. Aveiro: UA, 2008. Tese de Mestrado.
- [53] ALEXANDRA, Magda - **Caracterização da qualidade acústica da Catedral Metropolitana de Campinas - Brasil**. Lisboa: FCT-UNL, 2012.
- [54] MARROS, Fernanda - **Caracterização Acústica de Salas para Prática e Ensino Musical**. Santa Maria: UFSM, 2011. Tese de Mestrado.

- [55] MARTÍN, Juan Eugenio San - Acústica Arquitectónica para Salas de Grabación. In **Seminario de Acústica Arquitectónica para Salas de Grabación** [Em linha]. [Consult. 22 Fev. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.astormastering.com.ar/Acustica%20arquitectonica%20para%20salas%20de%20grabacion.pdf>>
- [56] MAINHARD, Veruschka Bluhm - Considerações sobre timbre vocal e a sua função na obra Noigandres 4 de José Augusto Mannis: **XXIII Congresso da ANPPOM** [Em linha]. actual. 18 Ago. 2013. [Consult. 10 Mar. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.anppom.com.br/congressos/index.php/ANPPOM2013/Escritos2013/paper/viewFile/2035/500>>
- [57] Ecophon - **Generating and understanding speech** [Em linha]. [Consult. 15 mar. 2014]. Disponível em WWW:<URL:<http://www.ecophon.com/en/Acoustics/Basic-Acoustics/Acoustics-sound-speech-and-hearing/Generating-and-understanding-speech/>>.
- [58] Painéis acústicos perfurados. Disponível em WWW:<URL:http://i01.i.aliimg.com/img/pb/441/969/382/382969441_908.jpg>.
- [59] Painéis acústicos ranhurados de madeira - Disponível em WWW:<URL:http://pt.made-in-china.com/co_wywood/>
- [60] Paineis acústico perfurado de madeira decorativo - Disponível em WWW:<URL:<http://portuguese.woodacousticpanels.com/quality-1801463-decorative-wooden-perforated-acoustic-panel>>

ANEXOS

Anexo 1 - QUESTIONÁRIO

Qualidade Acústica de Escolas de Música do Algarve

O presente questionário pretende recolher informações acerca da Acústica das Escolas de Música do Algarve do ponto de vista dos alunos e professores. Este instrumento metodológico enquadra-se numa investigação no âmbito do Mestrado em Engenharia Civil (especialização em Construção) da Universidade de Évora, a fim de que seja possível produzir a respectiva dissertação.

Estas informações serão importantes para permitir compreender quais as salas mais e menos preferidas em termos de acústica pelos utentes das escolas. Serão nessas salas realizadas medições acústicas, para a obtenção de valores práticos e reais e, posteriormente, sugeridas propostas de soluções construtivas de melhoria acústica.

IMPORTANTE: PREENCHA ESTE FORMULÁRIO PARA CADA ESCOLA DE MÚSICA QUE FREQUENTA/LECIONA!

*Obrigatório

1. Assinale em que categoria se insere? *

- Aluno
 Professor

2. Se é aluno qual o instrumento que toca? Se é professor qual o instrumento que leciona? *

3. Em que escola de música leciona/frequenta? *

Caso frequente mais do que uma escola ou lecione em mais do que uma escola, preencha este questionário todo novamente para cada escola.

- Academia de Música de Lagos
 Conservatório de Portimão Joly Braga Santos
 Conservatório de Música de Lagoa
 Conservatório de Música de Albufeira
 Conservatório Regional do Algarve Maria Campina
 Conservatório de Música de Olhão
 Academia de Música de Tavira
 Conservatório Regional de Vila Real de Santo António

4. Qual a importância da acústica nas salas de música? *

- Pouco importante
 Importante
 Muito importante

5. Indique uma sala da sua escola que, na sua opinião, apresenta piores condições acústicas. *

Se não souber o número da sala identifique o melhor possível.

5.1. Justifique a sua resposta quanto à qualidade acústica dessa sala? *

Assinale apenas uma opção.

- Má
- Média
- Boa

5.2. Justifique a sua resposta quanto ao ruído de fundo normalmente existente nessa sala? *

Assinale uma ou mais opções.

- Ruído proveniente de equipamentos interiores (ar condicionado, ventilação)
- Ruído proveniente de salas de aula vizinhas
- Ruído proveniente dos corredores
- Ruído proveniente do jardim da escola
- Ruído proveniente do trânsito
- Ruído proveniente do tráfego aéreo
- Inexistência de qualquer tipo de ruído
- Outra: _____

5.3. Justifique a sua resposta quanto à reverberação dessa sala? (Ver nota) *

Assinale apenas uma opção.

- Muito pouco reverberante
- Pouco reverberante
- Intermédia
- Reverberante
- Demasiado reverberante

5.4. Outras justificações que queira partilhar. (Opcional)

6. Indique uma sala da sua escola que, na sua opinião, apresenta melhores condições acústicas. *
Se não souber o número da sala identifique o melhor possível.

6.1. Justifique a sua resposta quanto à qualidade acústica dessa sala? *

Assinale apenas uma opção.

- Má
- Média
- Boa

6.2. Justifique a sua resposta quanto ao ruído de fundo normalmente existente nessa sala? *

Assinale uma ou mais opções.

- Ruído proveniente de equipamentos interiores (ar condicionado, ventilação)
- Ruído proveniente de salas de aula vizinhas
- Ruído proveniente dos corredores
- Ruído proveniente do jardim da escola
- Ruído proveniente do trânsito
- Ruído proveniente do tráfego aéreo
- Inexistência de qualquer tipo de ruído
- Outra: _____

6.3. Justifique a sua resposta quanto à reverberação dessa sala? (Ver nota) *

Assinale apenas uma opção.

- Muito pouco reverberante
- Pouco reverberante
- Intermédia
- Reverberante
- Demasiado reverberante

6.4. Outras justificações que queira partilhar. (Opcional)

NOTA:

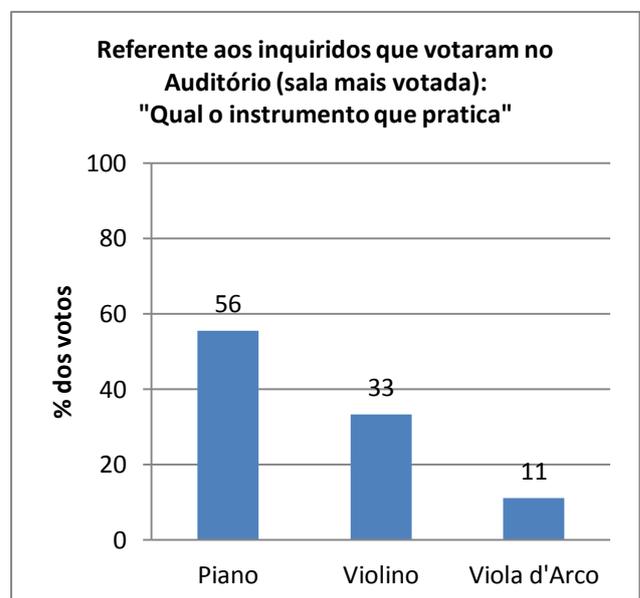
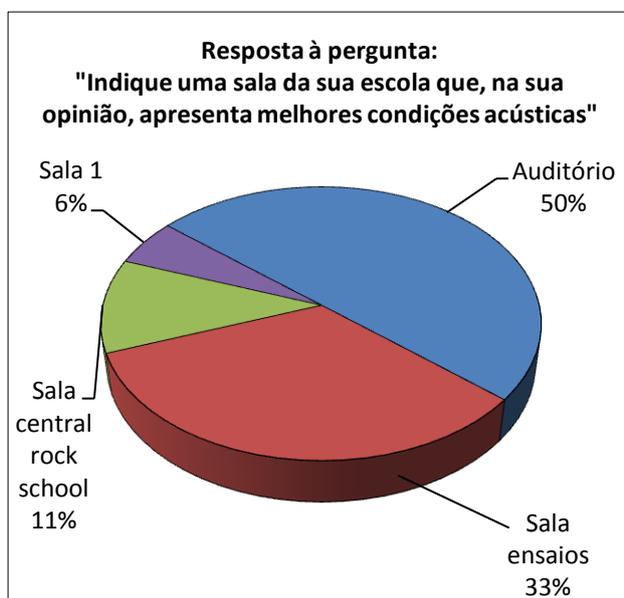
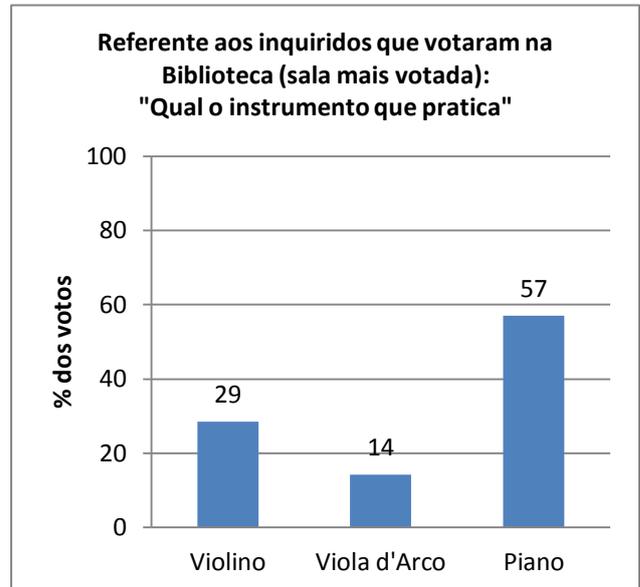
A reverberação pode ser descrita como a persistência do som numa sala, após a extinção da fonte sonora:

- Quando é demasiado reverberante, diz-se que a sala é excessivamente “envolvente”, “viva” o que compromete a inteligibilidade dos sons no seu interior. Ex: A mesma sensação auditiva dentro das Igrejas.
- Quando é muito pouco reverberante, diz-se que a sala é excessivamente “fria”, “seca” o que torna os sons abafados e sem brilho no seu interior. Ex: A mesma sensação auditiva dentro de um estúdio de gravação.

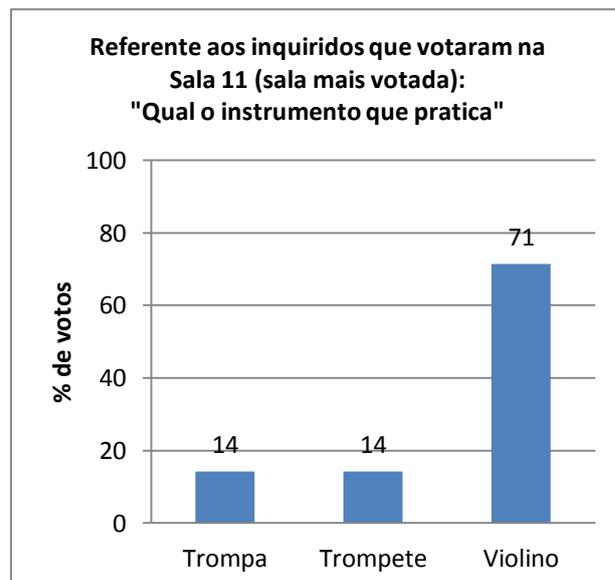
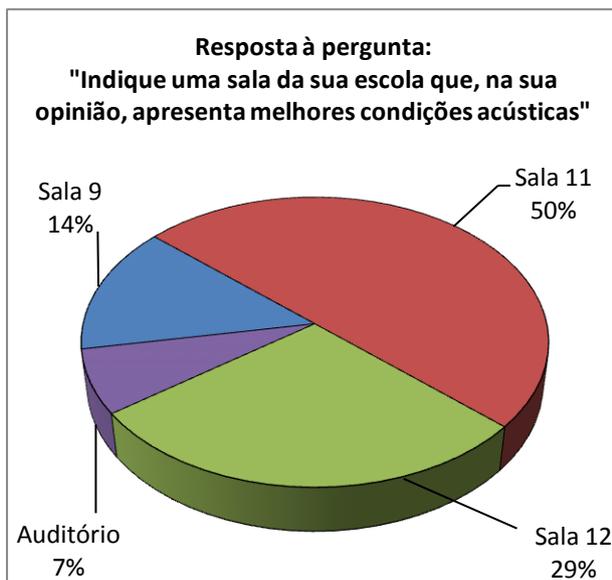
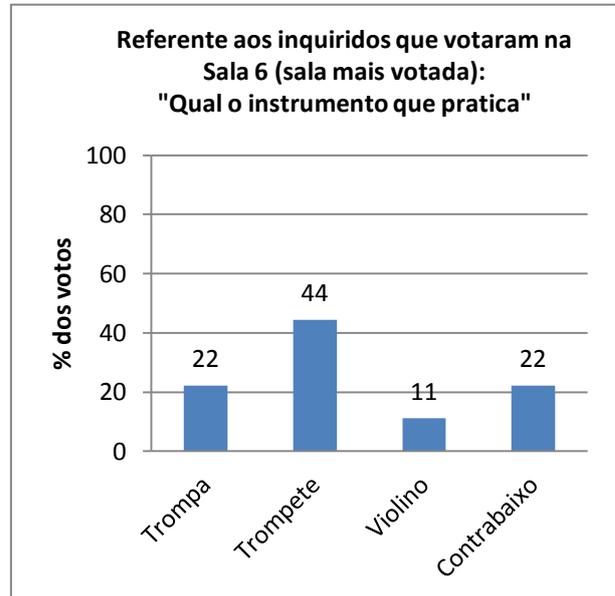
OBRIGADA PELA SUA COLABORAÇÃO.

Anexo 2 - RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO

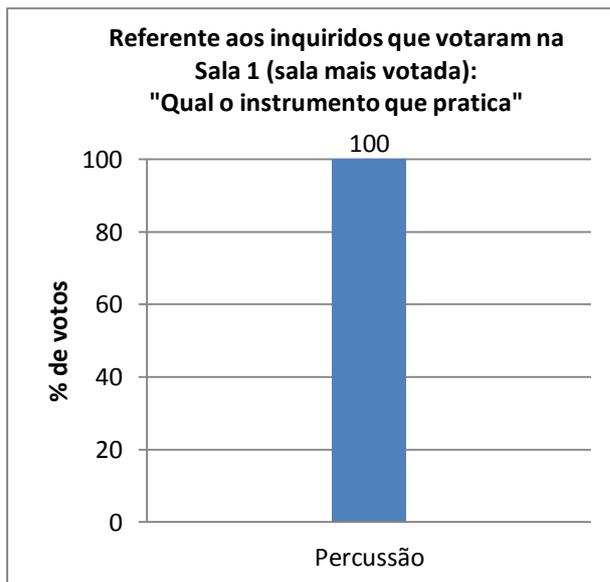
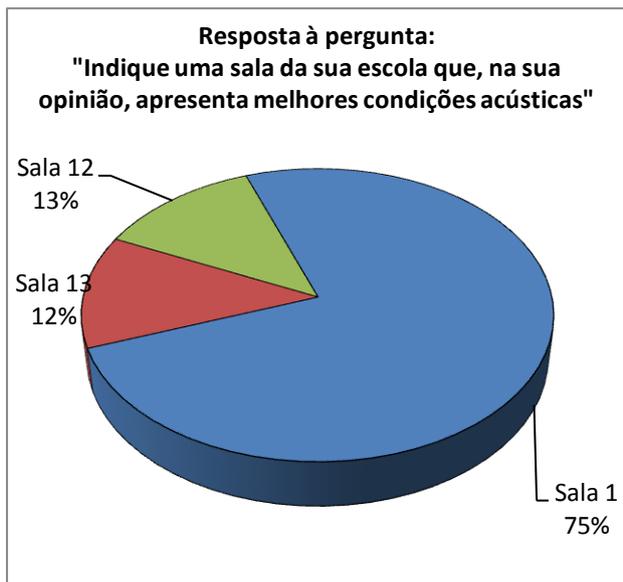
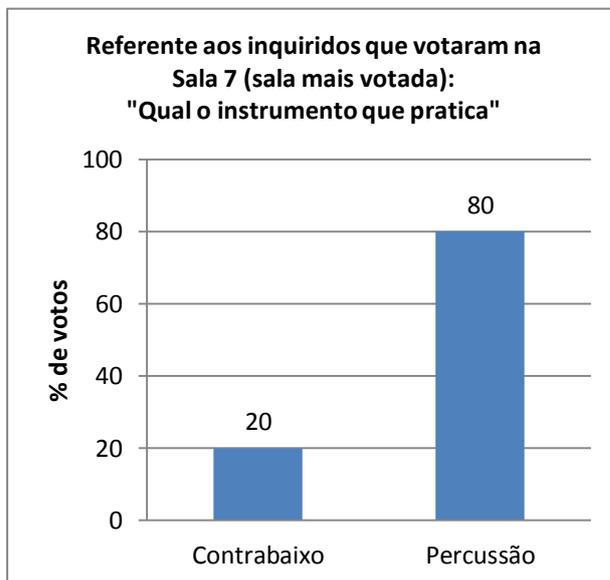
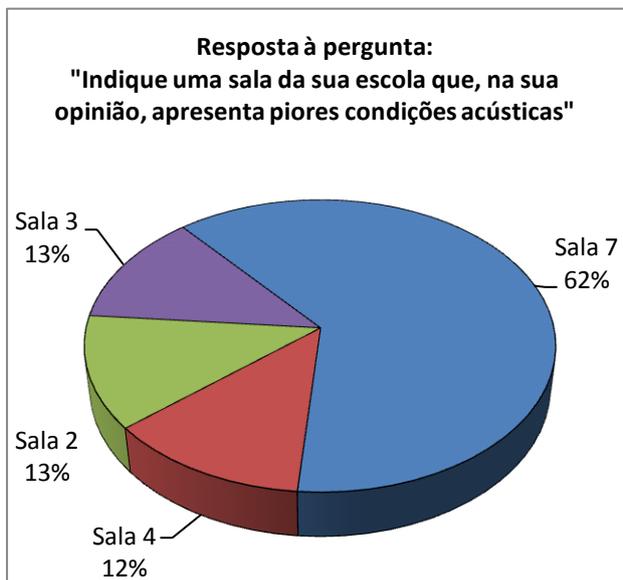
- Academia de música de lagos



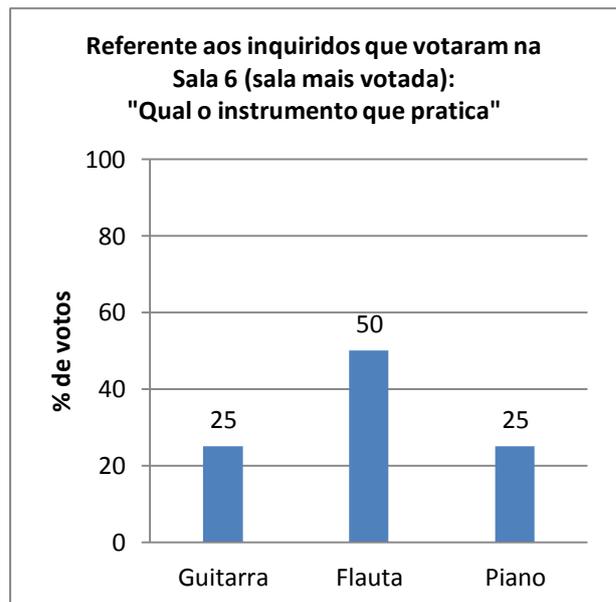
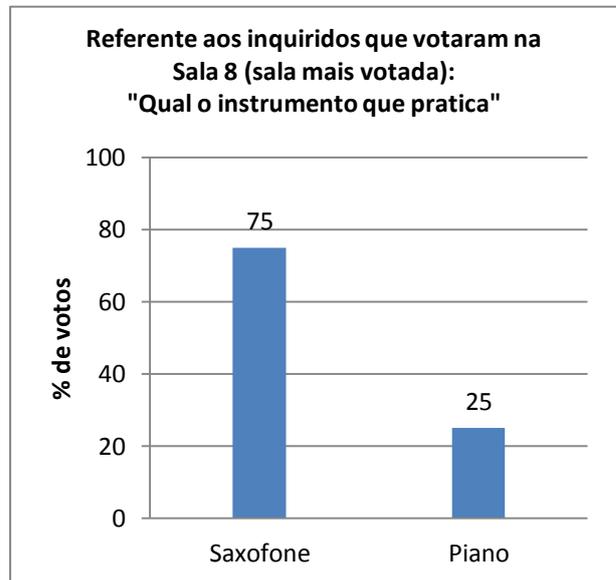
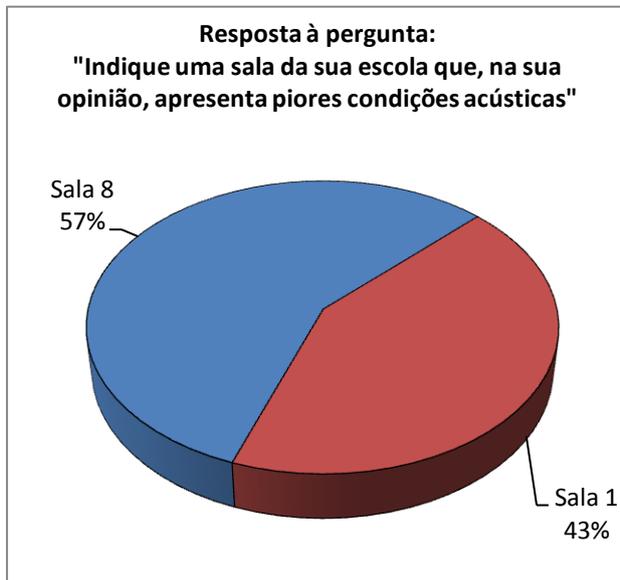
• Conservatório de Portimão Joly Braga Santos



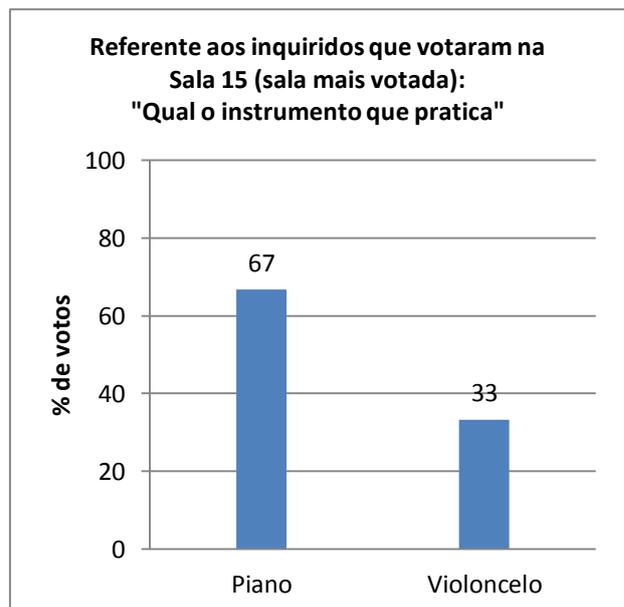
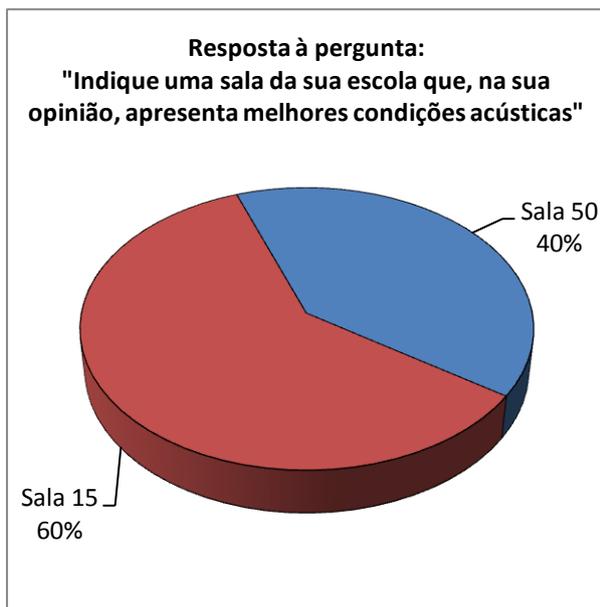
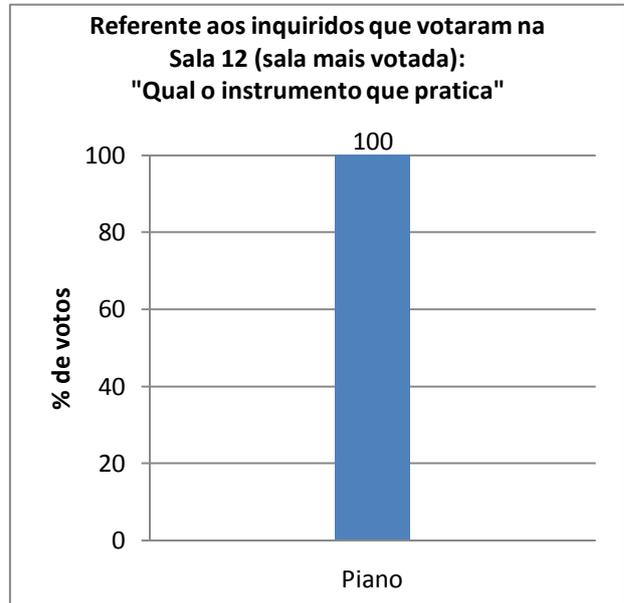
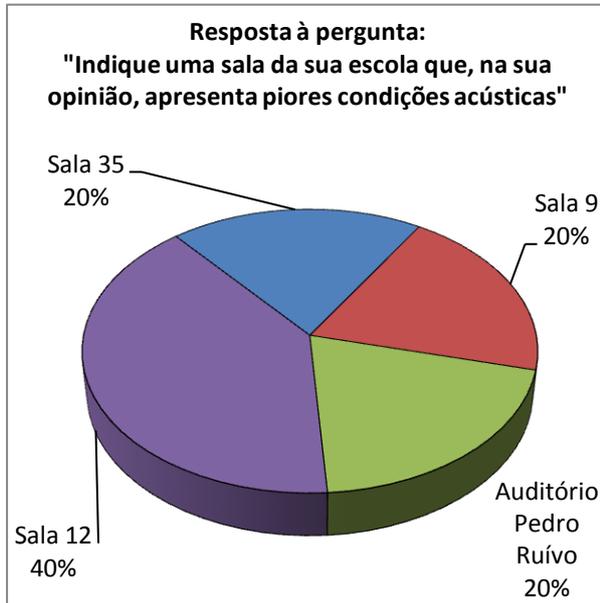
- Conservatório de Música de Lagoa



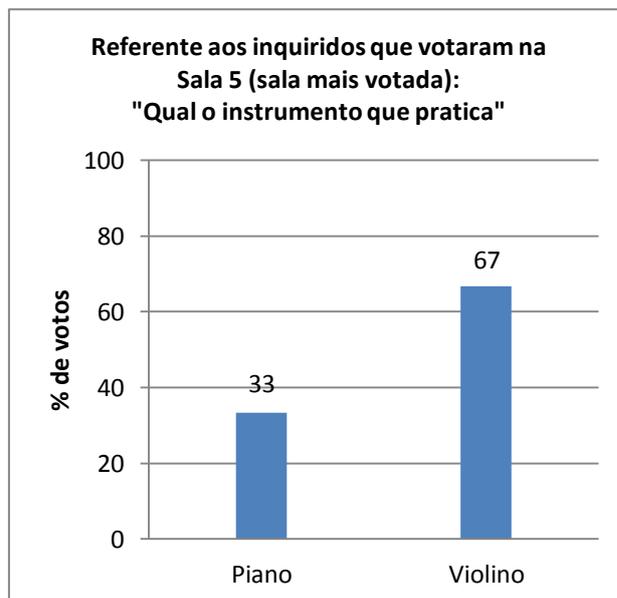
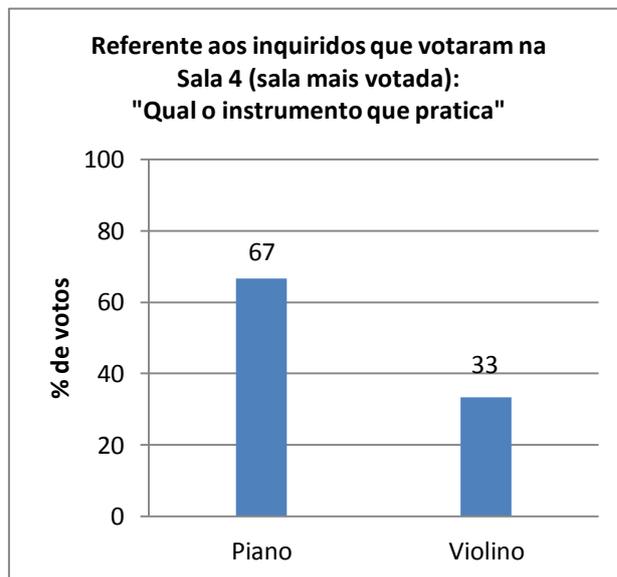
- Conservatório de Música de Albufeira



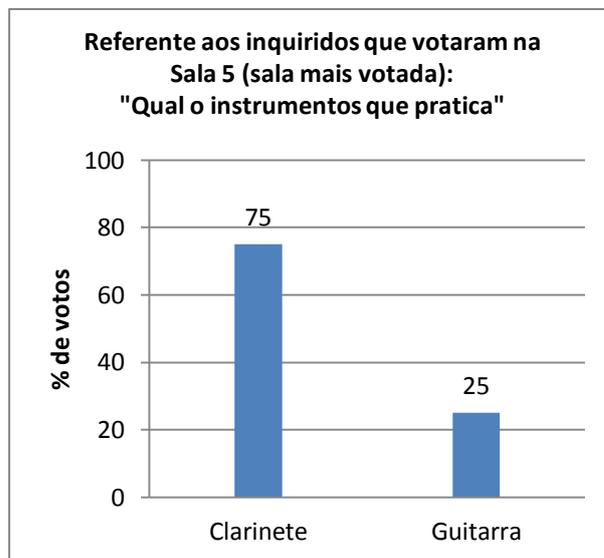
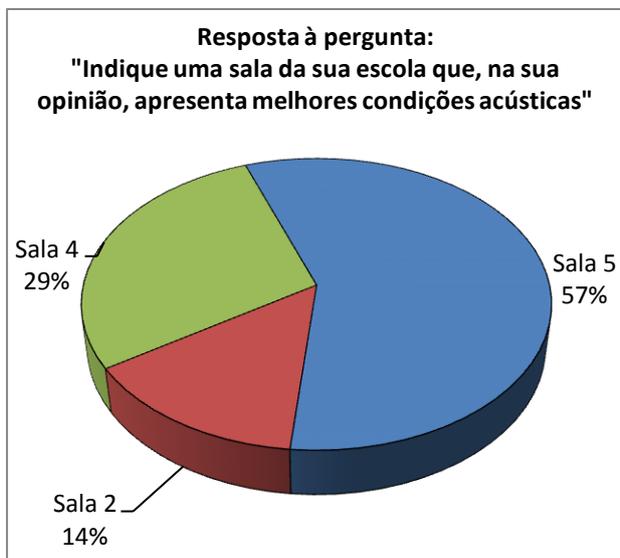
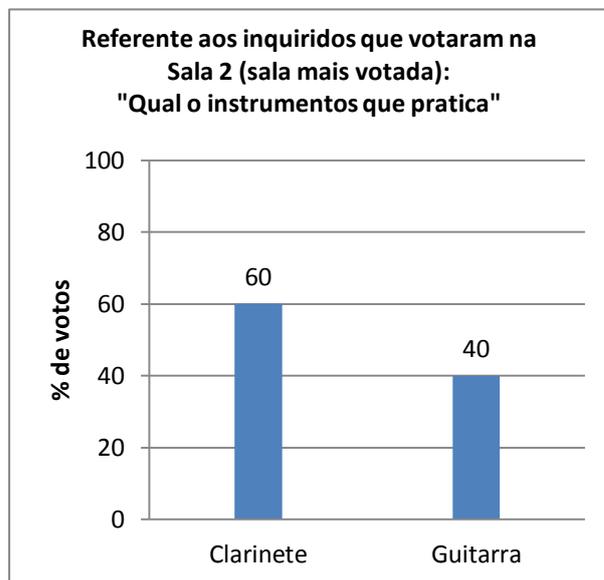
- Conservatório Regional Maria Campina



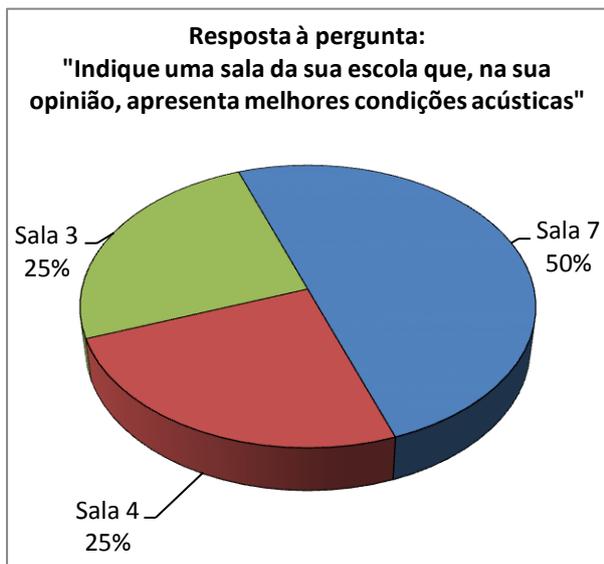
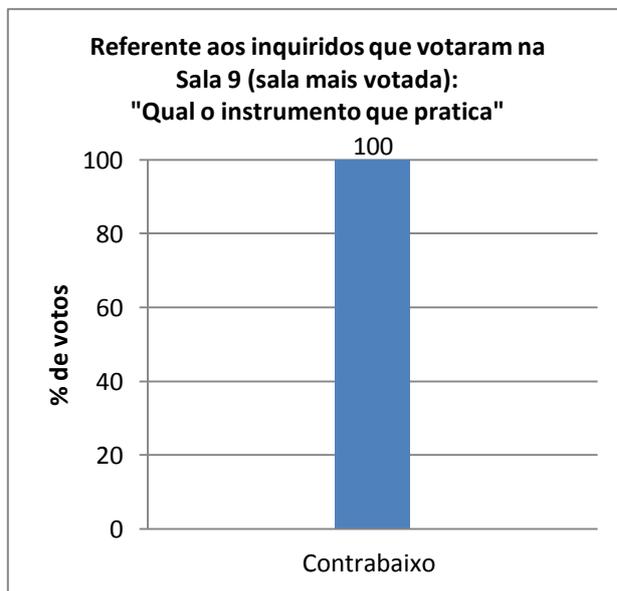
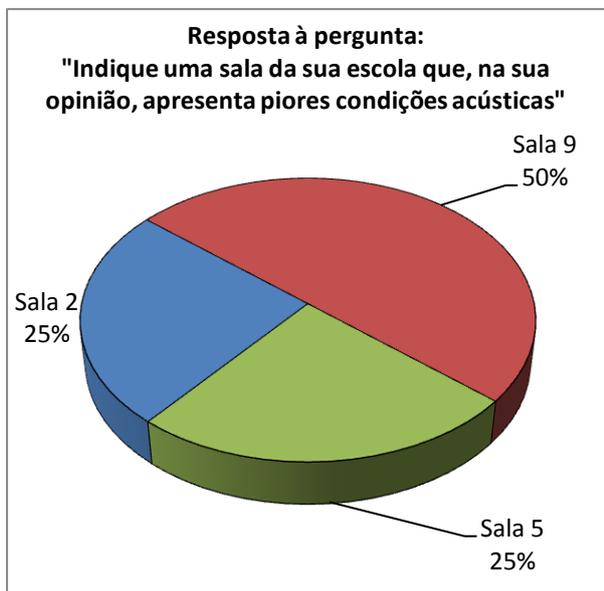
- Conservatório de Música de Olhão



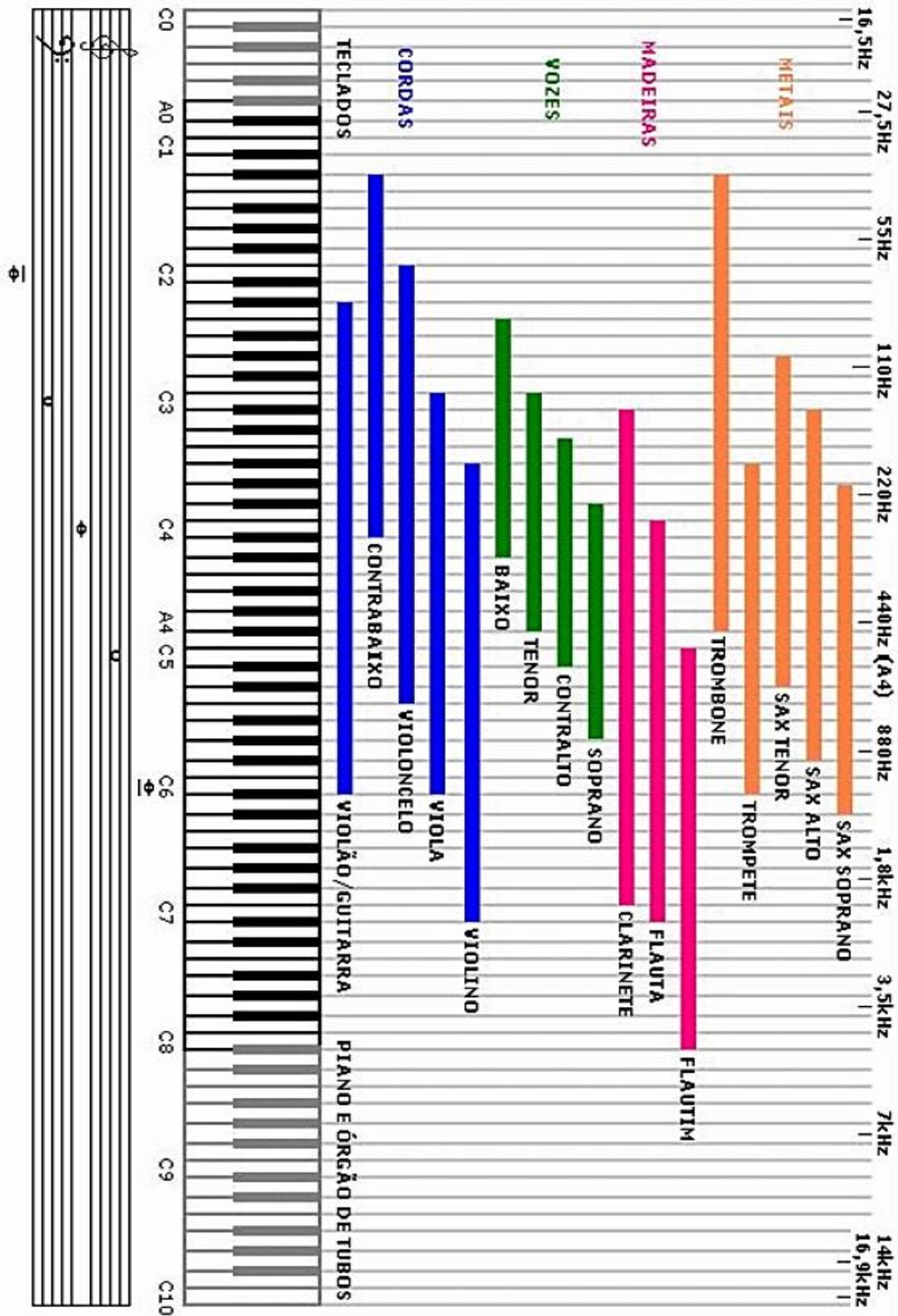
- **Academia de Música de Tavira**



- Conservatório Regional de Vila Real de St.º António



Anexo 3 - FAIXA DE FREQUÊNCIAS ATINGIDA POR CADA INSTRUMENTOS MUSICAL



Fonte: www.audionasigrejas.org/Apostila/frequencia.htm