

# UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE SOM 3D NA CONSTRUÇÃO DO LABORATÓRIO DE ÁUDIO E ACÚSTICA DO ISEL

Paulo, J.<sup>1,2</sup>, Miranda M.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ISEL-Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Portugal

<sup>2</sup> LAA-Lab. de Áudio e Acústica do ISEL, Portugal  
{joel.paulo@isel.pt, miguel.a.m.mirand@gmail.com}

## Resumo

Neste projeto realizou-se um conjunto de medições acústicas com captação de som 3D usando uma cabeça artificial e um microfone ambisonic, antes e depois da requalificação da sala, em diversos pontos do laboratório, para analisar perceptualmente a influência dos tipos de materiais acústicos e sua localização. Adicionalmente, fez-se o estudo e desenvolvimento de uma aplicação para audição com auscultadores que permite representar o campo sonoro 3D com recurso ao motor de jogos Unity e ao plugin Resonance da Google criando uma experiência de som imersivo permitindo a movimentação do utilizador, seguindo uma abordagem de auralização. Com base nas medições de som 3D escolheram-se as localizações dos painéis acústicos que alcançaram melhores resultados, em termos perceptuais, para as posições usuais dos utilizadores. A utilização da ferramenta de modelação virtual permitiu em pré-projeto ter uma noção bastante realista, em primeira aproximação, da acústica no interior do Laboratório, na utilização de diferentes materiais de revestimento das superfícies envolventes. No entanto, os resultados apresentam ainda algum desvio em termos dos parâmetros de conforto acústico, devido essencialmente ao plugin Resonance não contabilizar os efeitos de difusão dos painéis. Este problema será contemplado na continuação deste trabalho e será incluída uma abordagem VR.

**Palavras-chave:** Processamento de sinais, acústica de salas, som 3D, medições acústicas, auralização.

## Abstract

In this project, a set of acoustic measurements with 3D sound capture was performed using an artificial head and an ambisonic microphone at different points in the laboratory, before and after the requalification of the room, to normally analyze the behavior of different types of acoustic materials and their location. Additionally, it was developed an application for listening with headphones that allows access to the 3D sound field using the Unity game engine and the Google Resonance plug-in creating an immersive sound and visual experience for the user, following an auralization approach. Based on the 3D sound measurements, the locations of the acoustic panels that achieved the best results, in perceptual terms, for the users' usual positions, was chosen. The use of the virtual modeling tool allowed, at pre-project, a very realistic perception, in the first place, of the acoustics inside the Laboratory, the use of different coating materials for the surfaces involved. However, the results presented shows some deviations in terms of the acoustical comfort parameters, due to the Resonance plugin not accounted for the diffusion effects of the acoustical panels yet. This problem will be addressed in the continuation of this work and a VR approach will be included.

**Keywords:** Signal processing, room acoustics, 3D sound, acoustic measurements, auralization.

**PACS no. 43.55.Br, 43.60.-c**

## 1 Introdução

O Instituto Superior de Engenharia, ISEL, sendo uma das mais antigas escolas de engenharia de Portugal, afirmou-se desde há muito como instituição de ensino de excelência no panorama nacional, tem vindo a preparar um conjunto de valências nas mais variadas vertentes da engenharia. Em virtude do ISEL não dispôr de laboratórios e salas com ótimas condições acústicas adequadas à correta prática dos temas do áudio, desencadeou-se, com o apoio da Área Departamental de Engenharia de Eletrónica, Telecomunicações e de Computadores, ADEETC, o curso de Licenciatura em Engenharia Informática e Multimédia, LEIM, e o curso de Mestrado em Engenharia de Redes de Comunicação e Multimédia, MERCM, o processo de criação de espaços adequados à prática do ensino e experimentação de áudio e acústica, com vertente para a multimédia. Assim, na Fase I, foi construído o Laboratório de Áudio e Acústica, estando para breve a sua inauguração oficial, e foi definido o projeto para uma Sala de Audição Crítica e Som 3D, seguindo as recomendações técnicas constantes nas normas da especialidade, nomeadamente a Rec. ITU-R BS.1116-1 [1] e todas as boas práticas de construção aplicadas a este tipo de instalações técnicas, tendo sempre em conta a máxima contenção de custos [2-4]. Este projeto foi já alvo de apreciação por parte desta e da anterior Direção do ISEL, com parecer favorável, vide documentos em anexo.

A utilidade deste tipo de espaços é diversa, passando por dar apoio aos cursos do ISEL e por oferecer condições favoráveis a que empresas e organismos externos possam realizar trabalhos e estudos de áudio e acústica no ISEL. De facto, existe no exterior uma lacuna na oferta de espaços com estas características, onde se podem realizar testes a equipamentos e sistemas de som, e com pessoal altamente especializado que possa dar resposta às diversas solicitações colocadas pelo mercado.

Está previsto o projeto de execução iniciar-se ainda durante o mês de Março de 2019, dando seguimento ao Plano de Trabalhos de definido no âmbito da minha Dispensa de Serviço Docente, ao abrigo do art.º 36.º do Decreto-Lei n.º 207/2009, de 31 de agosto, que me foi atribuída para o semestre de verão de 2018-2019, disponibilizada em anexo. A conclusão deste projeto está prevista para o final do terceiro trimestre deste ano, de forma a poder dar apoio às aulas do próximo ano letivo, nomeadamente, as UCs de Sistemas de Áudio, Processamento de Fala e UC de Projeto dos vários cursos.

### 1.1 Estado atual do desenvolvimento do projeto

Temos neste momento terminado o Laboratório de Áudio e Acústica, Fase I, inaugurado em 6 de Março de 2020. Este espaço encontra-se em funcionamento, a dar apoio às UC de Áudio Interativo e Imersivo (antiga Sistemas de Áudio) e Processamento de Fala do curso MERCM, a atividades de projetos finais de curso e de mestrado dos diversos cursos da ADEETC e a projetos técnico/científicos de I&D, nomeadamente, o projeto FI-Sonic, que aí decorrem neste momento. Estas instalações têm sido também utilizadas para ações de divulgação no âmbito da iniciativa "Semanas Abertas no ISEL" e "Dia Aberto" que têm decorrido desde 2016 até ao presente. A Figura 1 mostra imagens do atual Laboratório de Áudio e Acústica. Este laboratório serve também como cabine técnica de controlo (regie de som) de apoio à sala principal, Sala de Audição Crítica. Assim, aplicou-se o tratamento acústico conveniente controlando a reverberação no seu interior.

Outra importância de um projeto deste tipo é o de estabelecer uma ligação forte com o exterior, quer entre empresas quer com outras instituições de I&D no sentido de criar sinergias em trabalhos de consultoria em áudio e acústica e transferência de tecnologia, nomeadamente, IoT e Cidades Inteligentes, municípios e gestão ambiental. Parcerias e troca de experiências com Startups e SMEs são bem vindas. O tecido empresarial tem tido já um papel preponderante nesta obra com o patrocínio de bens e serviços.



a)



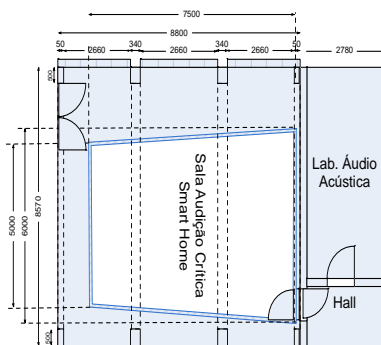
b)

Figura 1 – Imagens das infraestruturas de apoio às atividades de áudio e acústica já construídas. a) modelo 3D do projeto do laboratório b) fotografia dos espaços atuais, já em funcionamento.

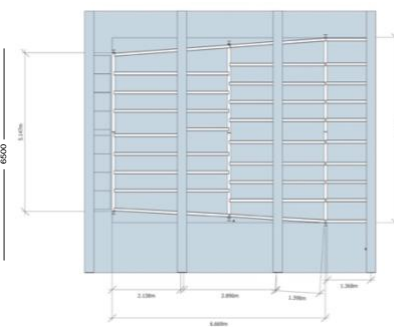
## 1.2 Trabalhos a desenvolver

A Figura 2 mostra desenhos em planta e em perspetiva do projeto referente à distribuição das áreas de construção da Sala de Audição Crítica e Som Imersivo.

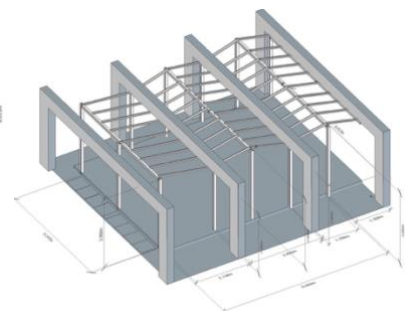
Planta sala ISEL



a)



b)



c)

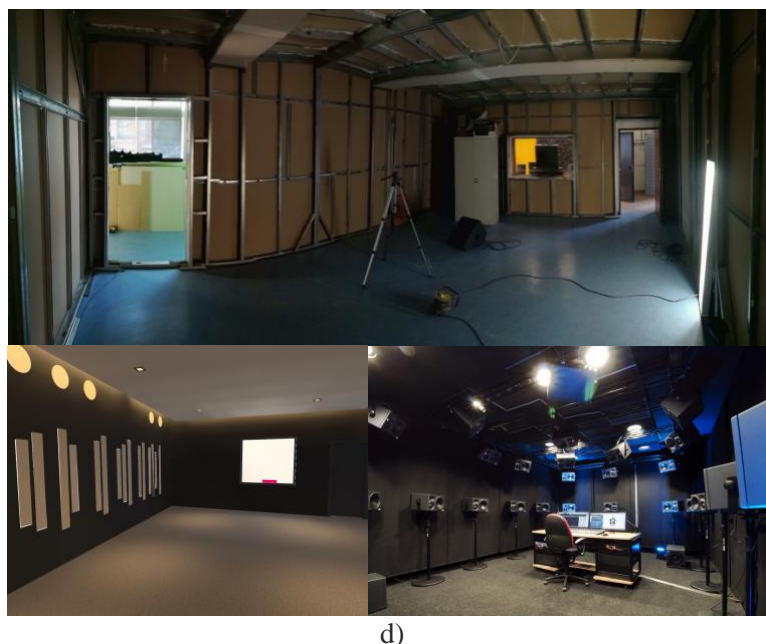


Figura 2 – Desenhos ilustrativos do projeto de requalificação da sala G0.16.a para construção de sala de Audição Crítica e som 3D para atividades nas áreas do áudio e acústica aplicados a multimédia. a) planta do projeto da sala; b) planta do projeto de estruturas e c) projeto em perspetiva da estrutura a desenvolver no interior da sala existente (os elementos exteriores do desenho, tais como colunas e vigas, pertencem à estrutura do edifício G) e d) Fase I e II realizada.

Pretende seguir-se, sempre que possível, uma abordagem de sustentabilidade energética para este espaço, de forma a ser mais ‘amiga do ambiente’. Neste sentido, está preconizado a instalação de sistemas de ventilação natural como solução principal à renovação de ar no interior da sala. O sistema de ar condicionado/forçado apenas funcionará em situações críticas, quando não seja possível utilizar outras opções. Em relação à iluminação, iremos tentar instalar sistemas baseados em tubos solares ou soluções similares que permitem o transporte de luz para zonas distantes da fonte luminosa (janelas). A Sala de Audição Crítica e Som Imersivo, contígua ao Laboratório, será utilizada para trabalhos de gravação de som e para testes de acuidade auditiva utilizando um sistema de reprodução de som multicanal com 50+ altifalantes. Esta nova sala permitirá igualmente realizar estudos e testes com som 3D aplicados a VR/AR e audição das futuras transmissões de televisão com som imersivo (NGA, Next Generation Audio), normas MPEG-H.

## 2 Estudo acústico

A construção do Laboratório seguiu a metodologia usual para a remodelação de espaços para atividades de som profissional consistindo na simulação do ambiente acústico com modelo virtual e auralização e parte experimental com medições acústicas [5].

Foram medidos e calculados um conjunto de parâmetros acústicos para aferir os resultados, nomeadamente, Early Decay Time (EDT), Tempo de Reverberação (RT60), índice de Clareza (C80), Definição da fala (D50) e o SDM (Spatial Decomposition Method). Foram igualmente realizados testes perceptuais.

A Figura 3 mostra os esquemas do Laboratório, incluindo os pontos de medição da fonte (Sx) e dos recetores (Rx) e modelo 3D com e sem tratamento acústico.

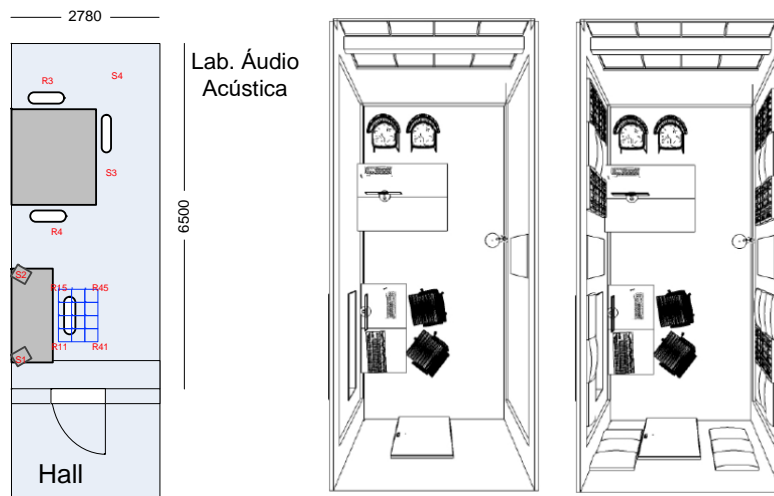


Figura 3 – Planos de arquitetura do Laboratório e pontos de medição utilizados.

## 2.1 Requisitos de projeto

O Tempo de Reverberação,  $RT_{60}$ , é o parâmetro que, em primeira aproximação, melhor descreve as condições acústicas, permitindo à partida dar uma noção do conforto acústico no interior de salas. Desta forma, colocou-se como premissa os valores recomendados para esta utilização, ao longo da gama de frequências de interesse, vide Figura 4.

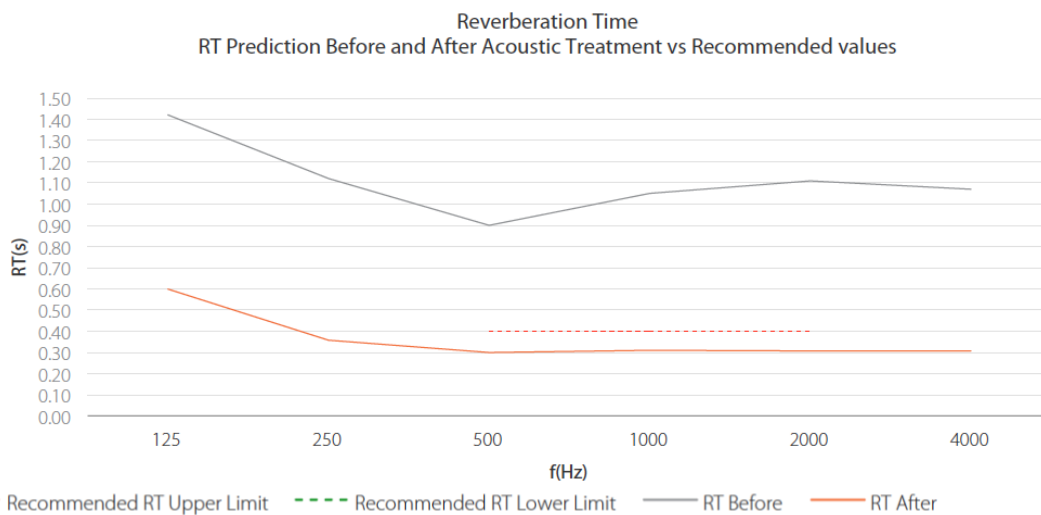


Figura 4 – Curvas da distribuição dos valores do Tempo de Reverberação para as bandas de frequência de interesse, antes e depois do tratamento acústico.

Um aspeto fundamental na análise de salas/estúdios de dimensões pequenas, como é o caso em estudo, são os modos de ressonância associados às ondas estacionárias, especialmente na gama de frequências baixas, sensivelmente até 150 Hz [6]. Desta forma, é necessário ser criterioso na escolha dos materiais acústicos que vão atuar nesta gama de frequências, não danificando a gama de frequências alta. A Figura

5 mostra uma estimativa das frequências de ressonâncias que irão aparecer para esta sala sem intervenção (sem tratamento acústico).

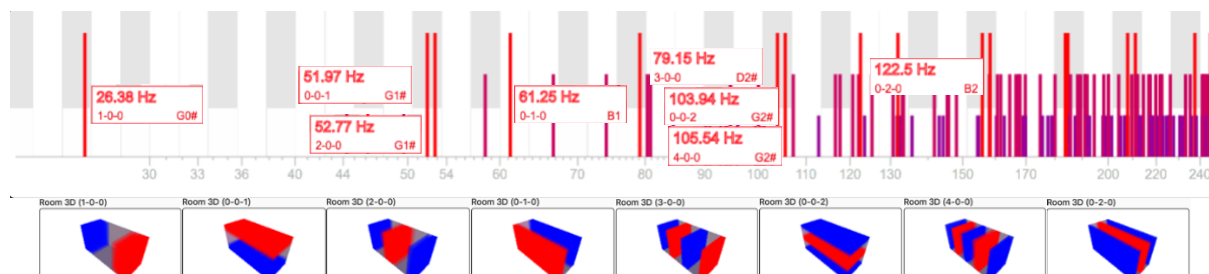


Figura 5 – Distribuição dos modos de ressonância ao longo da frequência. Estão assinalados os modos com maior relevância e respetivos tipos de modos.

Como se observa, existe um conjunto de frequências de ressonância associadas à geometria do espaço que impõem à partida limitações da utilização do Laboratório para fins de reprodução de material musical de alta qualidade. Assim, o tratamento acústico irá ter a função de destruir/atenuar estas frequências de modo a garantir uma resposta em frequência da sala o mais uniformemente possível.

## 2.2 Experimental e resultados

Os testes experimentais foram realizados com três tipos de microfones: pontual (diagrama polar omnidirecional), binaural (cabeça artificial) e topologia tetraédrica (conceito ambisonic). O microfone pontual é utilizado para medições acústicas normalizadas permitindo fazer testes comparativos, o microfone binaural é utilizado para testes perceptuais (utilização de excertos de músicas) e o microfone ambisonic permite fazer um estudo discriminativo sobre a intensidade do campo sonoro nas várias direções, para diferentes períodos de tempo, Figura 6. Foram utilizadas dois tipos de fontes sonoras, uma fonte dodecaédrica e os próprios monitores de som do Laboratório.



Figura 6 – Microfones utilizados nos testes acústicos. ECM 8000 - Behringer, MA231 - BSWA, Binaural (desenvolvida no LAA do ISEL) e AMBII - SigSonus (marca a aparecer em breve).

Os excertos de músicas para os testes binaurais foram retirados da seleção de online <https://www.whathifi.com/features/10-best-songs-to-test-your-speakers>

O tratamento acústico consistiu em colocar painéis de absorção e difusão acústica em certas zonas da sala de forma a se atingir o RT60 preconizado. Foram igualmente colocados sistemas de Bass Traps nos cantos entre as paredes e o teto de forma a atenuar os modos de ressonância da sala.

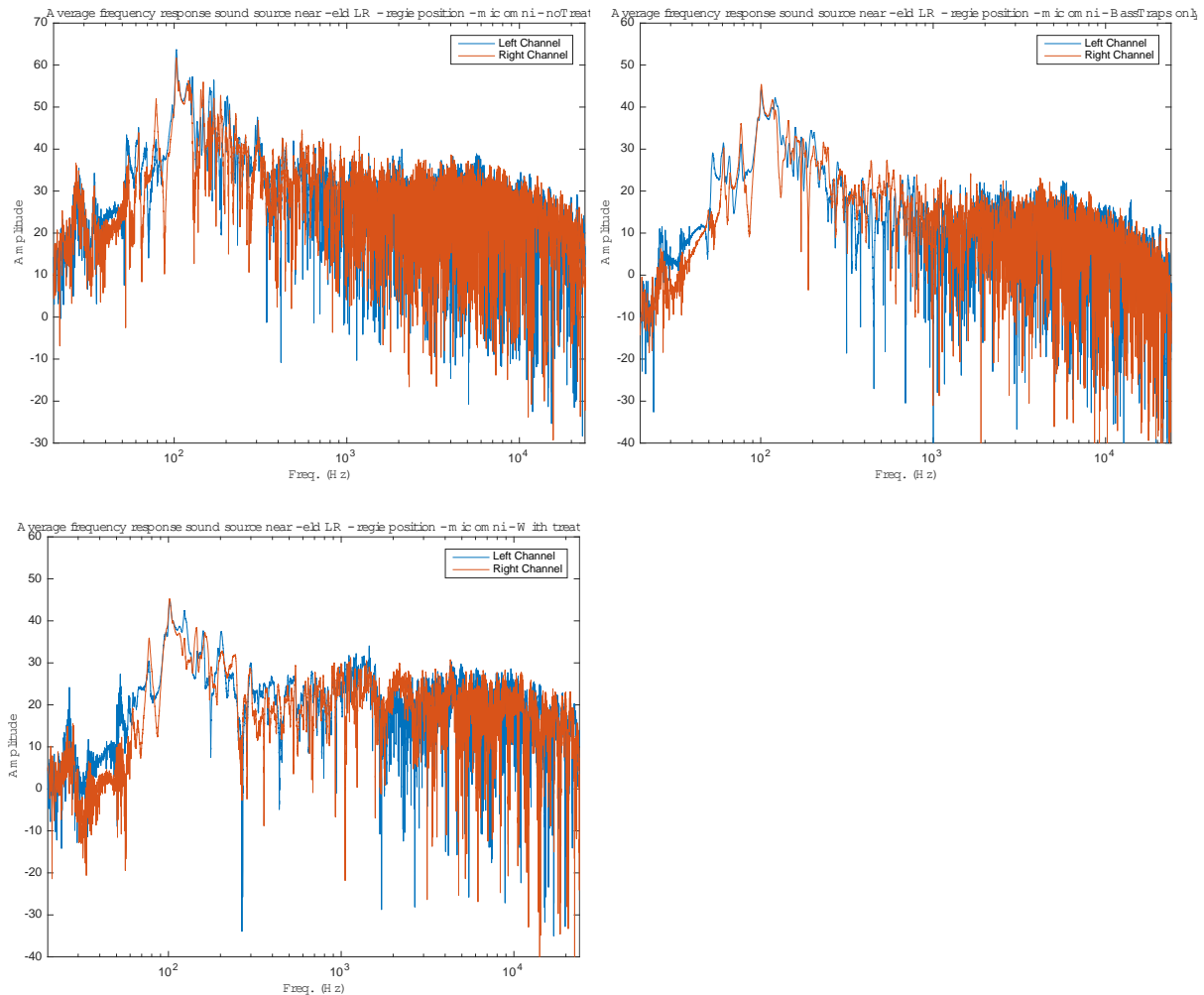


Figura 7 – Resposta em frequência para as situações de i) sem tratamento acústico, ii) com apenas os sistemas de Bass Traps e iii) com painéis acústicos absorventes e difusores e sistema Bass Traps.

Observam-se, na Figura 7, como era expectável pelo estudo teórico anterior relativo aos modos de ressonância, picos pronunciados na gama de frequências baixas, até cerca de 250 Hz. A ressonância à volta de 100 Hz é a mais pronunciada e resulta da confluência de 2 modos em 104 e 105 Hz). Contudo, existe também uma ressonância muito significativa na vizinhança de 52 Hz, que resulta da sobreposição de 2 modos, e outra em 80 Hz, da mesma ordem de grandeza. Embora se observe que as amplitudes destas últimas são bastante inferiores à de 100 Hz, isso deve-se ao facto dos monitores de som utilizados terem uma frequência de corte de cerca de 70 Hz, o que faz atenuar bastante os modos para as frequências mais baixas.

Os parâmetro de conforto sonoros medidos e analisados mostram que se atinge no essencial os requisitos de projeto, após se realizarem os trabalhos de tratamento acústico, ver Figura 8. Contudo, para a gama de frequências inferior a 100 Hz isso não se verifica em pleno. Ou seja, o RT60 apresenta valores elevados, aproximando-se de 2,5 s @ 50 Hz. Os parâmetros C80 e D50 mostram melhores resultados. Assim, a utilização deste espaço para fins de reprodução de música fica comprometido nas baixas frequências. Será necessário uma segunda intervenção utilizando sistema sintonizados, por exemplo, ressoadores de Helmholtz, para destruir as ressonâncias mais críticas, 52, 80 105 Hz.

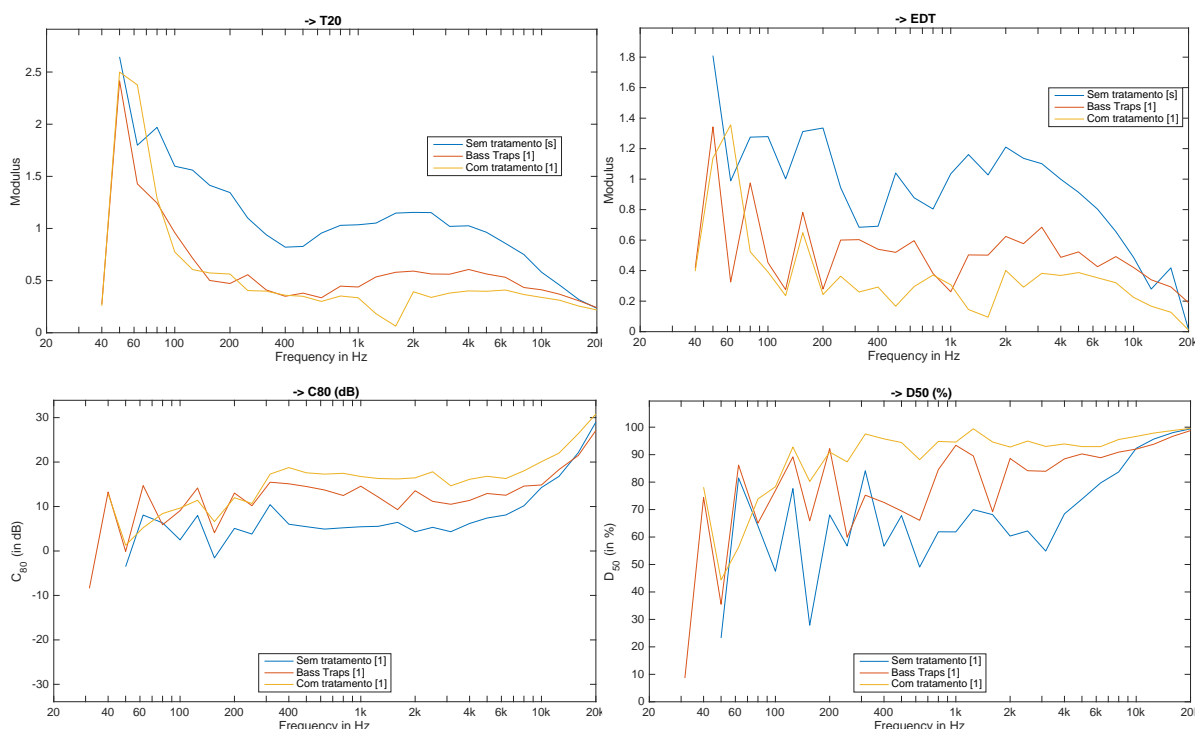


Figura 8 – Parâmetros de conforto acústico para as situações de i) sem tratamento acústico, ii) com apenas os sistemas de Bass Traps e iii) com painéis acústicos absorventes e difusores.

O método de decomposição espacial, SDM (Spatial Decomposition Method), decompõe o campo sonoro numa sucessão de ondas planas. Para isso, é necessário um conjunto de microfones, pelo menos quatro, utilizámos o conceito ambisonic de ordem 1, o AMBI1. É aplicada uma janela curta deslizante no SRIR medido e a direção de chegada de cada amostra é estimada usando a solução de mínimos quadrados para estimativas de diferença de tempo de chegada (TDOA). A informação espacial que pode ser usada em combinação com a resposta de impulso da sala para análise ou auralização. Esta análise permite avaliar por exemplo a distribuição das primeiras reflexões. Desta forma, pode ser verificada a eficiência acústica dos painéis usados como difusores e absorção colocados na zona circundante, paredes e teto, do técnico/engenheiro de som. Permite igualmente verificar qual a melhor localização para a colocação dos monitores de som [7-9].

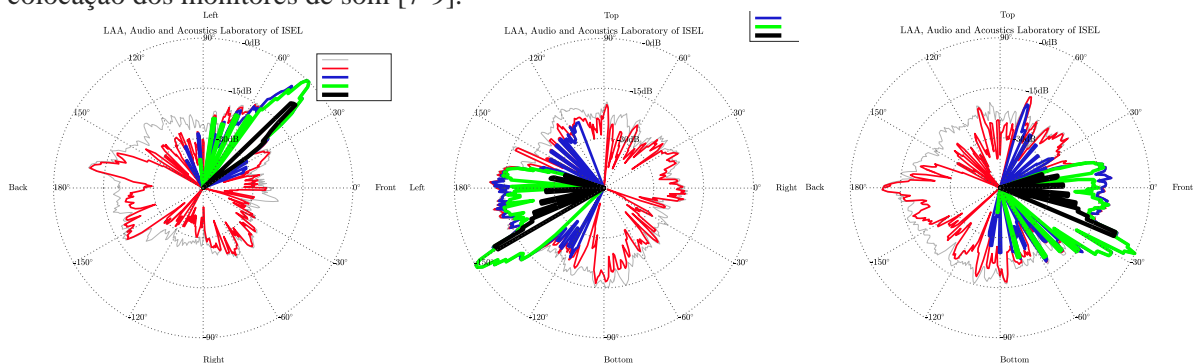


Figura 9 – Representação gráfica de SDM da análise espacial da sala nos planos horizontal, transversal e vertical, considerando os monitores de som como sendo a *front*, para diferentes intervalos de tempo. A fonte sonora (monitor de som) está colocado no lado esquerdo (S1) no plano horizontal do microfone.



Pela análise realizada, Figura 9, podemos retirar algumas conclusões: i) verifica-se alguma reflexão na mesa de trabalho devido aos monitores de som (curvas a verde nas figuras do centro e mais à esquerda, intervalo 0-2 ms, espaço percorrido até 0,7 m), ii) verifica-se também uma significativa reflexão na parede traseira (curvas a vermelho, intervalo 0-20 ms, espaço percorrido até 7 m), iii) o campo reverberante pode ser observado (curvas a cinzento, intervalo 0-200 ms, espaço percorrido até 70 m).

## 2.3 Simulação\_Auralização

### *Plataforma Unity*

Anunciado em 2005 pela Apple no decorrer da Worldwide Developers Conference como sendo um motor de jogos exclusivo para Mac OSX, o Unity tem vindo a crescer, tornando-se um dos motores de jogos mais utilizados e conhecidos da atualidade [10]. Sendo que, ao longo dos anos, tem aumentado o número de plataformas para as quais se pode desenvolver em Unity, sendo que em 2018 já era possível desenvolver para mais de que 25 plataformas. Existem inúmeros jogos publicados ao longo dos anos produzidos em Unity podendo ressaltar jogos como Ori and the Will of the Wisps, Pokemon GO e Cuphead.

De forma a permitir aos utilizadores a possibilidade da criação para múltiplas plataforma, o Unity suporta as seguintes APIs: Direct3D, OpenGL, WebGL e APIs proprietárias para consolas; Anteriormente o Unity permitia aos utilizadores programarem em diferentes linguagens: Boo, UnityScript e C#. Contudo ao longo dos anos, tem sido feitas alterações, sendo que em 2015 e 2017, o suporte às linguagens Boo e UnityScript foram removidos. Outro aspeto interessante do Unity é a sua Asset Store, lançado em 2010, onde criadores de *assets* podem disponibilizar ou vender os seus *assets*, que por sua, podem ser adquiridos por outros utilizadores para usarem nos seus projetos.

### *Toolbox Resonance*

#### *Simulação das Ondas Sonoras*

O Resonance [11, 12] é responsável por simular a forma como as ondas sonoras interagem com as orelhas humanas, uma vez que, no quotidiano, nós recorremos a estas interações de forma a determinar a posição das fontes sonoras à nossa volta, implementando técnicas de auralização. Desta forma o Resonance replica estas interações para que seja possível criar a ilusão de que o som vem de diferentes posições na simulação. Desta forma de forma a simular como é que o ser humano percebe os sons ao seu redor, o Resonance utiliza o Interaural Time Difference e o Interaural Level Difference, em conjunto com as Head-Related Transfer Functions de forma a que seja possível localizar a origem de determinado som.

#### *Simulação das Interações das Ondas Sonoras com o Ambiente Físico*

Para além de simular como é que as ondas sonoras interagem com os nossos ouvidos, o Resonance também simula as interações das ondas com o meio ambiente.

No mundo real, as ondas sonoras viajam pelo ar, sendo que estas se refletem nas superfícies com que colidem, resultando no som que ouvimos. Contudo este pode ser dividido em 3 tipos distintos: Onda Direta, Primeiras Reflexões e campo reverberante. A onda direta é a primeira onda que nos chega aos ouvidos, ou seja, a onda que vem diretamente da fonte. A distância da fonte irá fazer com que o som perca intensidade, isto é, quanto maior a distância à fonte, menor será a intensidade do som que será percebido, atenuação geométrica e por absorção, especialmente nas frequências altas.

Caso nos encontremos dentro de uma sala, por exemplo, será possível captar as primeiras reflexões, ou seja, as primeiras ondas nos chegam aos nossos ouvidos, após a onda direta, e que sofreram reflexões nas envolventes da sala. Sendo que estas reflexões podem nos ajudar a perceber a dimensão da sala em que nos encontramos.

Por fim, ao longo do tempo, a densidade das reflexões que nos chegam aos ouvidos aumentam exponencialmente até que seja impossível distinguir a direccionalidade das ondas sonoras, este fenómeno chama-se reverberação.

Tendo assim, estes termos em consideração, o Resonance tem mecanismos que permitem simular todos estes tipos de onda de forma a proporcionar uma experiência o mais realística possível. Para além disto, o Resonance também tem mecanismos para lidar com a oclusão de objetos, de forma a simular os efeitos que ocorrem no mundo real, onde as altas frequências são mais bloqueados do que as baixas.

## 2.4 Configuração

A configuração do Resonance no Unity é bastante rápida e fácil de utilizar bastando seguir os seguintes passos.

Após instalar-se o Unity e ter-se criado um projeto, será necessário ir à aba Assets e escolher a opção Import Package e de seguida escolher a opção Custom

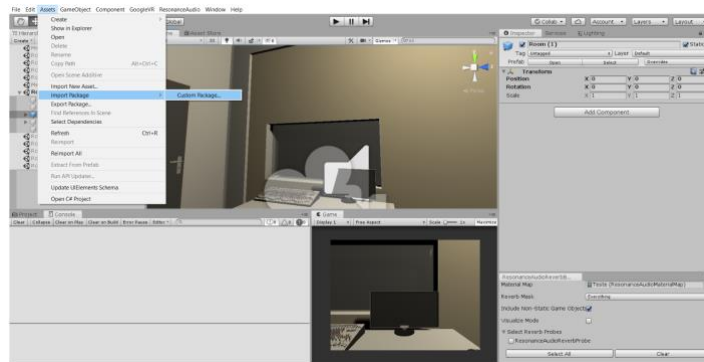


Figura 10 - Importação do Plugin Resonance

Uma vez feito isso, será necessário escolher o package ResonanceAudioForUnity\_\*.unitypackage que poderá ser descarregado da página oficial do Resonance. Após se terminar o processo de importação é necessário indicar ao Unity que este deve utilizar o Resonance para a Spacialization e para Ambisonics. Isto poderá ser feito na aba Edit e escolhendo a opção Project Setting e ir à janela Audio, Figura 10. Dado por terminado o processo de instalação do Resonance pode já usar-se nas nossas cenas.

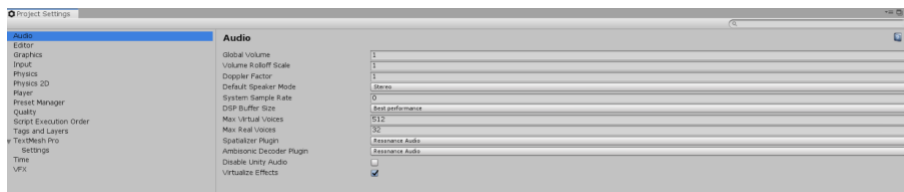


Figura 11 - Configuração do Áudio

## 2.5 Criação da Cena

O Unity permite criar salas mas bastante básicas, o que não ia de acordo com o objetivo pretendido. Assim sendo, de forma a que a simulação fosse o mais realística possível, foi fornecido um modelo do laboratório de áudio desenvolvido em SketchUp, Figura 12).



Figura 12 - Modelo do Laboratório de Áudio. Lado esquerdo: modelo criado com a aplicação SketchUp, do lado direito: modelo importado para a plataforma Unity.

Após a importação do modelo para o Unity foi necessário adicionar uma fonte sonora e um "player" à cena para que fosse possível ouvir o som. A configuração da fonte é bastante simples, foi apenas adicionado à cena uma esfera sendo que é necessário adicionar à mesma dois componentes. O primeiro é um Audio Source que é responsável por produzir o som e, de seguida, é necessário adicionar o componente Resonance Audio Source para que esta fonte utilize o Resonance Figura 13 a).

Por fim, de forma a que se possa ouvir o som emitido pela fonte, foi necessário adicionar um player, isto é, no caso mais simples, bastará introduzir uma câmara na cena sendo que a semelhança da fonte é necessário adicionar dois componentes à mesma, o primeiro é o Audio Listener que é responsável por captar todos os sons ouvidos pelo "player" e o segundo é o Resonance Audio Listener que é responsável por ouvir os sons com os efeitos gerados pelo Resonance, Figura 13 b).

Seguidamente adiciona-se uma Resonance Audio Reverb Probe à cena de forma a calcular os tempos de reverberação dentro da sala, sendo que é necessário configurar as dimensões da mesma de forma a que coincidam com as dimensões da sala (aprox. 7m\_3m\_3m). Inicialmente os tempos de reverberação (variam entre a banda dos 31.5 Hz até à banda dos 8 kHz) presentes irão estar a zero, assim sendo é necessário proceder ao cálculo dos mesmos.

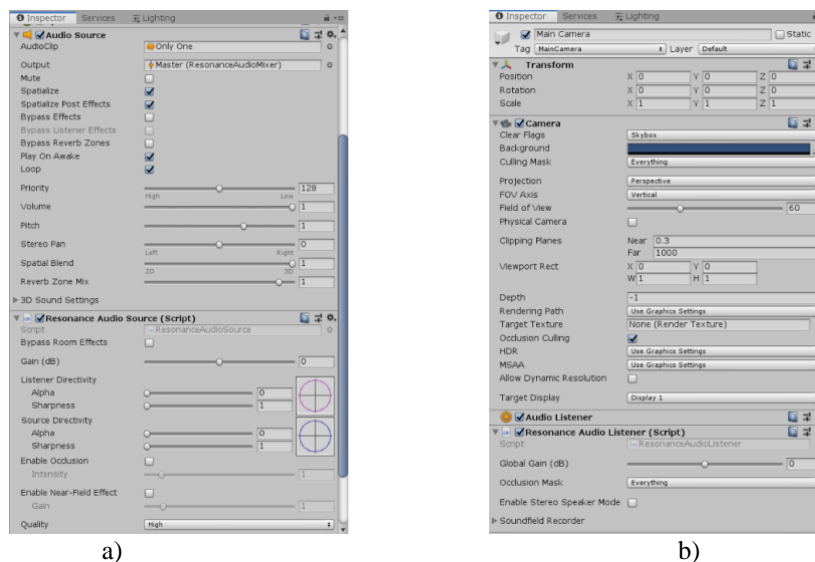


Figura 13 - Configuração da Fonte e do Ouvinte

Para fazer este cálculo é necessário ir à aba ResonanceAudio e escolher a opção Reverb Baking. Na nova janela que irá surgir irá ser solicitado que o utilizador escolha a Resonance Audio Reverb Probe para a qual pretende calcular os novos tempos de reverberação, Figura 14.

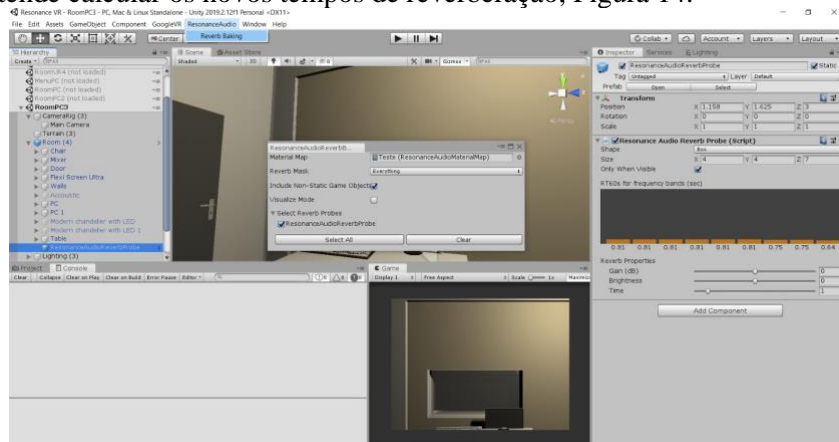


Figura 14 - Seleção das Probes

Será também solicitado que se escolha um Material Map, isto é, o Material Map serve para mapear os materiais presentes na cena com os materiais acústicos disponibilizados pelo Resonance, Figura 15. O Resonance apresenta, por omissão, 23 materiais diferentes, sendo possível ser adicionados novos materiais mas de forma pouco intuitiva e prática.



Figura 15 - Mapeamento dos Materiais Acústicos

Após ter sido feito o mapeamento pretendido e ter-se selecionado a Reverb Probe pretendida bastará fazer o Bake e os tempos de reverberação da Reverb Probe irão ser atualizados, sendo que, a partir deste momento a simulação encontra-se pronta a ser executada.

## 2.6 Alterar/Adicionar Materiais

Como mencionado anteriormente é possível adicionar ou adicionar novos materiais acústicos à base de dados do Resonance, contudo o processo não é nada intuitivo e pouco prático pois é necessário alterar os ficheiros fonte do Resonance e proceder à recompilação dos mesmos.

De forma a que seja possível proceder a estas alterações é necessário aceder à seguinte página do Resonance no GitHub: onde é possível ver os ficheiros fonte do Resonance. Após ser seguidos os passos indicados para clonar o repositório e instalar as dependências necessárias, é necessário proceder aos scripts que se encontram na pasta platforms\commons.

Caso se pretenda adicionar novos materiais, o primeiro script que é preciso alterar é o room\_properties.h sendo que neste script é necessário adicionar ao enumerado MaterialName os novos materiais que se pretende adicionar. Caso se pretenda editar os coeficientes de absorção de materiais já existentes este passo pode ser ignorado.

De seguida é necessário alterar o script room\_effects\_utils.cc adicionado ao kRoomMaterials os coeficientes dos novos materiais ou alterando os coeficientes dos materiais já existentes.

Por fim, é necessário compilar as alterações feitas sendo que se irá obter o ficheiro `audiopluginresonanceaudio.dll` que deverá substituir o ficheiro com o mesmo nome que esta presente no projeto em que se está a trabalhar.

Por fim, caso se tenham adicionado novos materiais, é necessário editar alguns scripts no projeto. O primeiro deles é o script `ResonanceAudioRoomManager` onde é necessário atribuir nomes aos novos materiais no enumerado `SurfaceMaterial`. E de seguida é necessário editar o script `ResonanceAudioMaterialMap` e introduzir no array `surfaceMaterialColors` novas cores para representarem os novos materiais.

A Figura 16 mostra algumas cenas virtuais do Laboratório de Áudio e Acústica. Neste momento, temos implementado o ambiente em computador com reprodução de som 3D em auscultadores. Futuramente, iremos integrar todo o ambiente para óculos de realidade virtual, VR, utilizando algumas ferramentas existentes no Unity.

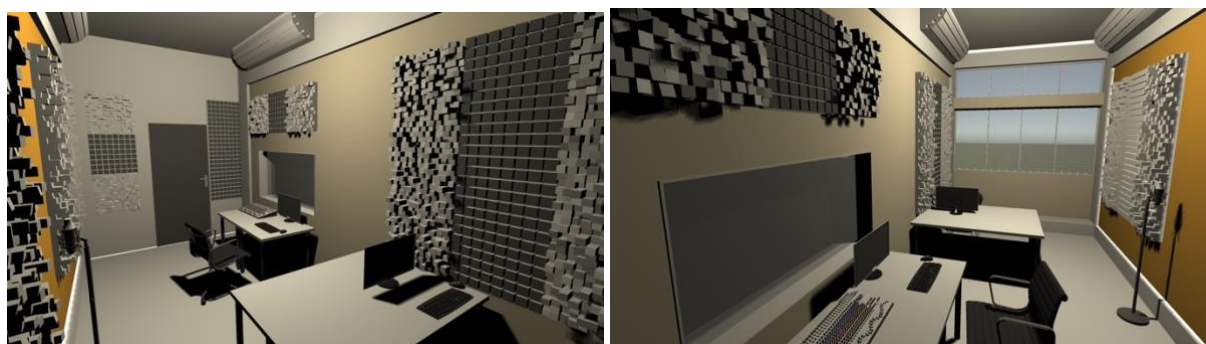


Figura 16 - Cenas do ambiente virtual ilustrativas do ambiente do Laboratório. a) Sem tratamento acústico e b) com tratamento acústico.

A avaliação perceptual realizada com auscultadores permite validar esta abordagem e abre um universo de possibilidades para apresentação à priori dos resultados de reabilitação de espaços dedicados a atividades onde o som seja fundamental.

### 3 Conclusões

No âmbito da reabilitação/construção do Laboratório de Áudio e Acústica do ISEL foi implementado um plano para melhoria das condições acústicas no seu interior. Relembre-se que este espaço é dedicado ao desenvolvimento de atividades letivas, projetos de R&D e como régie de som para apoio à Sala de Audição Crítica e Som 3D. Desta forma, desenhou-se um conjunto de procedimentos e metodologias tendo em conta o custo/benefício das opções adotadas. A ideia foi usar painéis acústicos para controlar a absorção e difusão e atenuar o mais possível os modos de ressonância da sala. Os painéis de absorção e difusão são amovíveis permitindo criar o conceito de acústica variável. Este conceito é também interessante para fins didáticos.

Realizaram-se um conjunto de testes acústicos experimentais para validação das premissas iniciais, em termos de reverberação através do parâmetro RT60. Realizaram-se 3 tipos de medições acústicas, nomeadamente, avaliação usual com microfones omnidirecionais, testes binaurais, com cabeça artificial para avaliação perceptual, e testes para avaliação espacial do campo sonoro com microfone ambisonic.

Verifica-se que com a aplicação do tratamento acústico preconizado os valores do RT60 medidos aproximam-se dos estimados para as bandas de frequência de oitavas a partir dos 250 Hz. As bandas de

frequência inferiores a 100 Hz têm problemas, o que se conclui que os sistemas de Bass Traps não estão a funcionar corretamente. Assim, podemos afirmar que ficámos com muito boas condições acústicas para atividades de fala, lecionação, e razoáveis condições para utilização com música.

### **Agradecimentos**

As empresas parceiras do Laboratório de Áudio e Acústica são neste momento: Efapel - material elétrico; Exporlux - iluminação; Vicoustic - material de condicionamento acústico; Rohde & Schwarz - equipamento de medida. Foi igualmente relevante a colaboração das pessoas que diretamente estiveram envolvidas neste projeto, e que sem elas a sua concretização seria inviável. Colegas: Tiago Oliveira pelo seu espírito empreendedor, participativo e sempre pronto a ajudar (ISEL/ETConcept), Jorge Fidalgo pela sua disponibilidade incondicional em participar (ISEL), Sérgio André pela sua generosidade e apoio desinteressado (projeto FI-Sonic/EtConcept), José Rosa de Almeida por aparecer nos momentos de maior crise e resolver os problemas (ISEL). Empresas: Exporlux, Vicoustic, Efapel, Rohde&Schwartz.

As empresas envolvidas na Sala de Audição Crítica e Som Imersivo são a CDM- sistemas anti-vibráteis, Gyptec - gessos técnicos, Faclima - sistemas de ventilação, LuxMais - iluminação de interiores, Dosmontes - construções em aço leve, LSF e SoundOfNumbers - simulação acústica.

Mais informação pode ser obtida no portal do Laboratório de Áudio e Acústica do ISEL, LAA, em <https://acusticaudiolab.isel.pt>

### **Referências**

- [1] International Telecommunication Union, ITU-R BS.1116-1, Methods for the Subjective Assessment of Small Impairments in Audio Systems including Multichannel Sound Systems (1997).
- [2] Regulamento dos Requisitos Acústicos dos Edifícios, Decreto-Lei nº 129/2002 of March 11.
- [3] ISO/CD 3382-1:2004. Acoustics. Measurement of the reverberation time – Part 1: Performance Spaces; 2004.
- [4] Hodgson, M., “Case-study evaluations of the acoustical designs of renovated university classrooms”, Applied Acoustics, 65 (2004) 69–89;
- [5] G. L. Augspurger, “Control Room Design: The Monitoring Environment,” Acoustics Today, vol. 9, no. 2, pp. 15–20 (2013).
- [6] Amcoustics <https://amcoustics.com>
- [7] D. Protheroe and B. Guillemin, “3D impulse response measurements of spaces using an inexpensive microphone array,” in Proceedings of the International Symposium on Room Acoustics, Toronto, Canada (2013).
- [8] M. Dunn and D. Protheroe, “Visualization of early reflections in control rooms,” in 137th Convention of the Audio Engineering Society, Los Angeles, CA (2014).
- [9] J. Patynen, S. Tervo, and T. Lokki, “Analysis of concert hall acoustics via visualizations of time frequency and spatiotemporal responses,” J. Acoust. Soc. Am. 133(2), 842–857 (2013).
- [10] Unity, <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>
- [11] Resonance Audio, <https://resonance-audio.github.io/resonance-audio/>
- [12] Resonance Audio, <https://github.com/resonance-audio>