

MESTRADO INTEGRADO
ARQUITETURA

Espetáculos de Parametrização: Análise acústica e modelação paramétrica em auditórios

Ricardo Ribeiro Faria

M
2024



Ricardo Ribeiro Faria. Espetáculos de Parametrização:
Parametrização acústica em espaços de espetáculo



Espetáculos de Parametrização:
acústica em espaços de espetáculo

Ricardo Ribeiro Faria



Espetáculos de Parametrização

Análise acústica e modelação paramétrica em Auditórios

Ricardo Ribeiro Faria

Com orientação do **Professor Doutor Pedro de Azambuja Varela**

Dissertação de Mestrado integrado em Arquitetura

Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto

2023/2024

Agradecimentos

O meu sincero obrigado:

Ao Professor Doutor Pedro de Azambuja Varela, por toda a paciência, prestação e prontidão com que me acompanhou ao longo de toda a jornada de realização desta dissertação.

Aos meus pais, pelo acompanhamento e encorajamento que sempre forneceram ao longo de todo o processo.

Ao meu irmão pelos momentos que partilhamos e pelo percurso que fazemos juntos.

Aos meus amigos pelo suporte e ajuda que me proporcionaram ao longo da execução do trabalho.

Esta dissertação tenciona refletir e experimentar sobre a integração de métodos de utilização de programas informáticos no processo criativo e analítico do processo arquitetónico, especificamente em espaços destinados a apresentações artísticas ou oratórias.

Para atingir esse fim o Anfiteatro Fernando Távora da FAUP surge como um exemplo principal a ter como caso de estudo, pela proximidade à localização da realização do trabalho assim como discussão da comunidade escolar sobre o seu desempenho acústico.

A Aula Magna da Reitoria da Universidade de Lisboa, a Sala Suggia da Casa da Música e a sala do Teatro Nacional de São João, são outros exemplos a ser tidos em conta e estudados como forma a melhor compreender as variadas hipóteses de tipologias utilizadas na construção de espaços de espetáculo.

A utilização de meios informáticos torna todo este processo mais rápido e eficaz de efetuar, permitindo ainda a criação de opções não existentes, função extremamente valiosa no processo de desenvolvimento de um espaço arquitetónico. Estes meios permitem a criação de modelos tridimensionais digitais de muito fácil manipulação, principalmente quando introduzindo uma componente paramétrica, onde as formas são definidas de acordo com algoritmos nos quais se podem criar um grande número de iterações com uma rapidez formidável. A utilização de programas informáticos permite também a realização de análises acústicas com graus erro muito baixos, processo muito demorado quando executado em meios físicos sem auxílio do meio digital.

This dissertation aims to reflect and experiment on the integration of using methods of informatic programs in the creative and analytical processes of architectural development, specifically in spaces destined to artistic or oratory presentations.

For that the Anfiteatro Fernando Távora in FAUP appear as a prime example to use as case study, from the proximity of local to where the work is being developed as well as discussions had by the school community about its acoustical performance.

The Aula Magna from Reitoria da Universidade de Lisboa, the Sala Suggia from Casa da Música and the room from Teatro Nacional de São João, are other examples to be considered and studied as a way to better understand the varied hypotheses of typologies used in the construction of show spaces.

The use of informatic means makes the whole process faster and more effective, allowing for the creation of non-existing options, an extremely valuable role in the development process of an architectural space. These means allow the making of tridimensional models of very easy manipulation, mainly with the introduction of a parametric constraints, where the shapes are defined by algorithms in which we can create a big number of iterations in a very fast manner. The use of computer programs allows for the execution of acoustical analysis with very narrow margins of error, a process that will be very laborious and slow when executed by physical means without any aid from digital means.

Palavras-chave:

Acústica, Espaços de Espetáculo, Modelos tridimensionais, Parametrização

Keywords:

Acoustics, Show spaces, Tridimensional models, Parametrization

Índice

Índice	7
---------------	----------

Notas Introdutórias	9
----------------------------	----------

Parte 1	11
----------------	-----------

Capítulo I - Acústica	11
------------------------------	-----------

1.1 - Evolução do conhecimento acústico	11
---	----

1.2 - Propriedades	13
--------------------	----

1.3 - Comportamento	17
---------------------	----

1.4 - Análise Acústica	20
------------------------	----

Capítulo II - Modelação 3D e Parametrização	23
--	-----------

2.1 - Evolução dos modelos tridimensionais	23
--	----

2.2 - Desenvolvimento das maquetes virtuais	28
---	----

Capítulo III - Design acústico em Espaços de Espetáculo	35
--	-----------

3.1 - Evolução dos Espaços de Espetáculo	35
--	----

3.2 - Integração de Análise Acústica no projeto das salas	40
---	----

Parte 2 **49**

Capítulo IV - Experimentação de Análise de Formas **49**

4.1 - Aula Magna	53
4.2 - Sala Suggia	61
4.3 - Teatro São João	71
4.4 - Considerações sobre as salas de espetáculo analisadas	80

Capítulo V - Experimentação com base no Anfiteatro Fernando Távora da FAUP **83**

5.1 - Outros Auditórios do Arquiteto Álvaro Siza	84
5.2 - Auditório Fernando Távora	91
5.3 - Anfiteatro Fernando Távora – Secção Anfiteatro	95
5.4 - Anfiteatro Fernando Távora -Anfiteatro + Sala Plana	105
5.5 - Considerações sobre as experiências efetuadas	113

Conclusão **116**

Bibliografia **117**

Notas Introdutórias

No processo de criação de um espaço arquitetónico há sempre uma série de questões e problemas a ter em conta, sendo a forma e geometria, em conjunto com o conteúdo programático, dois dos principais pontos nos quais os arquitetos se focam no desenvolvimento de um projeto. Existem ainda, alguns outros pontos a considerar, mais dependentes dos métodos e importância que cada arquiteto lhes dá ao longo do seu trabalho, como é o caso da luz e sombra, a materialidade, e, no caso deste trabalho, a acústica.

A acústica de um espaço, está diretamente associada à percepção que um utilizador tem de um espaço, estando fortemente relacionada com um dos principais meios de comunicação, o som, associado principalmente à fala e música. Devido à influência que esta característica do espaço tem sobre a compreensão direta do som, é uma questão a considerar quando se desenvolve um projeto arquitetónico, principalmente quando o espaço em questão se destina a ter uma utilização que se baseia muito no som, como é o caso de salas de espetáculo e auditórios. Nestes casos a experiência de um utilizador varia fortemente de acordo com as características acústicas do espaço, sendo especialmente importante a compreensão da propagação e inteligibilidade do som dentro do espaço, tanto para os artistas ou locutores como para a audiência.

Por forma a conseguir estudar um espaço em termos acústicos é necessário um conhecimento inicial sobre acústica e som em geral, percebendo os fenómenos que afetam a propagação do som, possibilitando assim a criação de relações entre as análises e características acústicas do espaço com os elementos que dele fazem parte.

É ainda necessária uma compreensão dos métodos e possibilidade de submeter um espaço a uma análise que forneça resultados relevantes para o estudo em causa, sendo essa análise realizada por uma série de diferentes métodos ao longo do tempo, tendo sempre como uma forte base a utilização de modelos. Métodos estes que foram acompanhando os desenvolvimentos tecnológicos, principalmente os registados no último século, com a introdução informática, proporcionando ao mesmo tempo um desenvolvimento no estudo acústico.

Desse modo, torna-se de grande importância a realização de várias experiências subsequentes que permitam criar paralelo entre diferentes espaços, permitindo o desenvolvimento ativo da criação e projeção de um espaço arquitetónico, tendo em mente a qualidade acústica do mesmo, posição que se irá tomar no desenvolvimento deste trabalho.

Para isso serão tidos em conta alguns exemplos iniciais, que permitam representar diferentes tipologias de espaços de espetáculo, assim como algumas das suas características acústicas intrínsecas, possibilitando uma melhor compreensão sobre as experiências a realizar sobre o Anfiteatro Fernando Távora da FAUP, objeto principal deste trabalho.

Parte 1

Capítulo I - Acústica

1.1 - Evolução do conhecimento acústico

Acústica nem sempre foi conhecida e compreendida como é agora, apesar de a palavra em si ter origem na palavra grega *akouein*, o seu significado não era o mesmo que se lhe dá agora, originalmente referia-se ao ato de ouvir e agora engloba a ciência que envolve toda a interação dos sons com o meio e o nosso corpo.

A evolução da compreensão de sons e música começou segundo o que se sabe, com a descoberta feita por Pitágoras em relação ao som produzido por uma corda e a influência que a divisão em partes tem sobre a mesma (Rayleigh, 1945). Quando a corda é dividida em metade, o som produzido revela-se ser uma oitava acima, resultante da divisão da frequência original também em metade, quando dividida em $2/3$ e $3/4$, temos a produção de uma quinta e uma quarta respetivamente, respeitando as mesmas regras de frequência da oitava. Apesar de estas proporções estarem diretamente associadas à música, são consideradas, na época, como leis que regem mais que simplesmente a música, sendo transpostas também para muita da arquitetura, e até mesmo sendo consideradas parcialmente como leis do universo (Henrique, 2002).

Os estudos da acústica e comportamento do som foram continuados inicialmente, maioritariamente no sentido da representação e desenvolvimento da compreensão e explicitação musical, compreendendo-se melhor a noção de intervalos, consonâncias e até mesmo afinação, sendo este último conceito explicado bastante compreensivamente por um monge e artesão com o nome de Theophilus, descrevendo no seu livro como corrigir a afinação de um címbalo, após finalizar a sua construção e caso o som não fosse o pretendido. No caso de a afinação não estar de acordo com o pretendido, de forma a subir a afinação proceder-se-ia à redução da área do címbalo, limando a sua extremidade e, portanto, aumentando a abertura, e de forma contrária, arredondando as pontas com o objetivo de baixar a afinação. Este comportamento vai de acordo com o descoberto anteriormente por Pitágoras, da redução do comprimento da corda para a obtenção de uma nota mais aguda, apesar de neste caso se referir a uma escala mais pequena e minuciosa.

Também associado ao campo da afinação e concordância de frequências, Leonardo da Vinci apercebe-se do comportamento denominado de vibração por simpatia, ocorrido quando é tocada uma corda e se está na presença de uma outra corda com a mesma nota (Henrique, 2002), apesar de o fenómeno e o conceito não estarem completamente definidos, pode-se dizer que era a primeira noção da existência de sons harmónicos, algo que se percebeu melhor mais tarde. Nesta mesma época é documentada por Zarlino a introdução

de mais dois valores na relação descrita por Pitágoras sobre a divisão da corda, criando assim uma subdivisão em 6 partes, sendo estas as terceiras, tanto maiores como menores e também as sextas, ambas maiores e menores, o que permitia ajustar a afinação de acordo com a música da época (Rayleigh, 1945).

No entanto, é só com Galileu Galilei que ocorre uma explicação do fenómeno ocorrido na divisão da corda, inicialmente descoberta por Pitágoras, procedendo ao estabelecimento das relações entre as propriedades físicas da forma da corda e o produto final da frequência dos sons. Consegue também, portanto compreender que os intervalos são causados pela alteração de frequência entre os sons, apesar da noção de frequência não estar ainda completamente compreendida, e de tal modo definir o que é consonante ou dissonante, de tal forma que ainda é considerada atual a forma como os consegue descrever. Para além disso foi também o primeiro a compreender que a amplitude de uma onda não afeta o tempo da oscilação, fenómeno que se visualiza acontecer nas ondas sonoras inclusivamente. Mersenne foi, contudo, quem conseguiu demarcar que a frequência e o som estavam diretamente interligados.

Saveur conseguiu finalmente calcular a frequência de um som, através da produção de duas notas simultâneas num órgão de tubos, e notando a dissonância e as vibrações por segundo que o conjunto causava. Isto levou a que também fosse possível a descoberta da existência de sons harmónicos, novamente, com base no conceito da corda e da perceção que por vezes as cordas formavam *loops* levou a que compreendessem que seria uma maior frequência, obtida a partir da frequência original da corda, sendo estas consideradas os harmónicos (Rayleigh, 1945). Isto permitiu a Rameau, em conjunto com o conceito de Zarlino da divisão das cordas, compreender também que os harmónicos eram criados com base nos intervalos de terceira, quarta, quinta e oitava, isto para os harmónicos naturais de um som (Henrique, 2002). Após a perceção dos sons harmónicos foram descobertos também os sons de combinação, ou sons resultantes, criados da junção de dois sons, ao contrário dos harmónicos que são resultantes de apenas um tom base, no entanto ambos fazem parte de um sistema semelhante.

Durante algum tempo, uma vez que a descoberta dos pontos fundamentais da acústica era ainda muito recente, não houve grandes avanços a não ser novos métodos de compreensão e utilização em situações específicas.

A questão da produção do som, estava neste ponto já bastante desenvolvida e estudada, no entanto as dúvidas em relação à sua propagação continuavam a ser bastantes. Sendo duas das grandes questões que ainda se tentavam compreender, a sua velocidade e a possibilidade de propagação no vácuo. Grande parte dos problemas existentes associados às falhas nas tentativas destes cálculos estavam relacionadas com a irregularidade e falta de controlo dos quais os métodos utilizados eram afetados. Ambas estas propriedades foram alvo de testes e tentativas de compreensão ao longo de séculos. Começando por usarem armas e comparar a diferença de tempo entre o flash do disparo e o som, com Gassendi, em 1635. Só se percebeu que a velocidade do som alterava com a temperatura em 1740, em experiências feitas por Branconi. A academia de paris em 1738 obteve uma velocidade de 332 m/s quando considerada a temperatura de 0°C, as experiências continuaram a ser feitas cada vez com mais rigor até se obter o resultado que é utilizado hoje, para

condições standard, denso estas 0°C e 1atm de pressão atmosférica, esta descoberta foi documentada em 1937 (Rayleigh, 1945).

Só com Isaac Newton se obteve uma hipótese para a velocidade bastante perto da velocidade real, tendo esse valor sido obtido de modo puramente matemático e com base nas leis do espectro da luz e feito um paralelismo a partir daqui, apesar do método utilizado ter como base uma serie de regras restritivas, que não permitiam generalizar o cálculo, o resultado foi o mesmo que Lagrange, o maior opositor a tais cálculos, obteve quando tentando resolver o mesmo problema, mas de uma forma mais adequada. Em relação à propagação de som no vácuo, só com Robert Boyle e a experiência do balão de vidro foi possível compreender esse fenómeno, uma vez que a criação de vácuo era praticamente impossível de executar e, portanto, os resultados obtidos até então eram considerados como insuficientes para tirar uma conclusão (Henrique, 2002).

Durante a maior parte da história da acústica o único instrumento que era possível de ser utilizado para receção do som era o ouvido humano, ainda que, por vezes, com a ajuda de peças que permitiam a ampliação do som, tanto no momento da produção como no momento da receção. Muitos estudos foram feitos sobre o ouvido humano, em termos anatómicos e biológicos, para melhor compreender de que forma o ouvido afeta o que os humanos percebem do som, no entanto nada muito conclusivo foi possível de descrever. No século XIX, contudo, começam a surgir tentativas de receber o som e a tentativa de o transformar em algo visível, ao invés de apenas algo que fosse possível de sentir. Isto levou a que mais tarde fosse possível, a criação de formas de guardar e gravar os sons, como o que acontece com o fonógrafo (Rayleigh, 1945).

1.2 - Propriedades

Há vários conceitos que ao longo da história foram sendo introduzidos e cada vez mais bem definidos, e, portanto, a explicitação de tais conceitos é necessária para uma compreensão completa do que é a acústica, e como tal, a definição dos parâmetros que afetam o som, quer seja este musical, ou simplesmente ruído.

A diferenciação entre o som musical e o som considerado como ruído, é feita preferencialmente pelo seu tipo de estruturação. Temos de tal modo, o som musical como um som extremamente estruturado, o qual nos permite identificar todas as suas partes e compreender perfeitamente, e temos por outro lado, o ruído, com pouca estruturação, de difícil definição e por conseguinte também de controlar, composto por elementos diversificados. É por esta mesma razão que a acústica tem um foco muito maior no som musical, ao invés do ruído.

Os sons que chegam ao ouvido do ser humano são percebidos através de vibrações, que viajam no espaço até atingirem o tímpano, no interior do ouvido. Estas vibrações são provocadas pelo objeto que está na origem do som. Os movimentos que estão na origem do som, são demarcados principalmente pelo

facto de se desenvolverem sempre na mesma trajetória, e também pela sua repetição, tendo, portanto, o nome de movimentos periódicos. Ao observar o comportamento de uma corda de uma guitarra quando esta é tocada, é possível visualizar que o som é produzido pela sua constante vibração que viaja de um lado para o outro da sua posição original. Considerando o ponto onde a corda viaja o mais longe da sua posição original conseguimos compreender várias características do movimento. Inicialmente é possível demarcar o seu ponto de repouso, ou seja, o ponto inicial, para onde a corda irá eventualmente retornar, onde nenhuma força lhe é imposta. À distância máxima que tal ponto atinge da sua posição inicial dá-se o nome de amplitude: esta propriedade permite determinar a intensidade do som, ou seja, o quão forte o som é, sendo a intensidade uma medida apresentada em decibéis(dB), associados ao nível de pressão sonora que é causada no ar (Henrique, 2002).

É, portanto, possível deduzir que o som é produzido por um movimento oscilatório, isto é, uma partícula que viaja no espaço de tal modo que o movimento se desenvolve em relação a um ponto fixo, viajando tanto para um lado desse ponto como para o lado contrário. No caso do som, para efeitos de facilidade de compreensão, é considerado que este efeito ocorre numa só linha. Isto pode ser representado num gráfico em relação ao tempo por forma a ser possível melhor compreender a sua posição, tendo desta forma a possibilidade de visualizar a distância a que um ponto se encontra em relação ao seu ponto de equilíbrio em qualquer momento do movimento (Roederer, 1974).

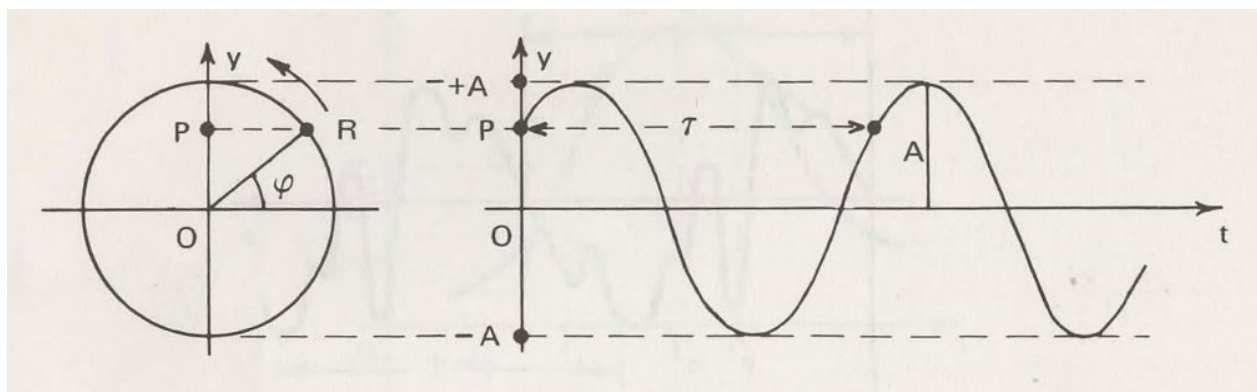


Figura 1 Representação de gráfico que demonstra o comportamento de um ponto em torno de um círculo ao longo do tempo. “-A” e “+A” re-presentam os limites de amplitude, demarcado também por “A”. T re-presenta um ciclo inteiro, ou seja, a periodicidade e frequência do movimento.

Tal gráfico permite-nos melhor visualizar a propriedade que nos dá a altitude do som, ou o quão grave ou agudo é, associada à periodicidade e frequência do movimento. O período e a frequência de um movimento estão intrinsecamente ligados, sendo que o período denomina o tempo que é necessário para o movimento completar uma repetição, e a frequência a quantidade de vezes que o movimento é repetido durante um segundo.

Uma vez que o período é referente ao tempo, a sua representação é feita através das unidades de tempo utilizadas universalmente, no caso do som, normalmente, os milissegundos (ms) ou segundos (s), no entanto, a frequência representa o número de repetições num segundo, e, por conseguinte, a unidade que a

representa é diferente, para isto foi criado o Hertz (Hz). A opção de usar esta unidade como unidade de medida para a frequência, permite a simplificação dos números decimais que seriam necessários para representar ondas com um elevado número de rotações por segundo, como é o caso do som, que para o ouvido humano varia entre 20 Hz e 20 000 Hz.

O movimento oscilatório mais simples que existe é o movimento harmónico simples, ou seja, o movimento em que o ponto em estudo viaja de forma constante, sendo, portanto, fácil de representar e de compreender. Este movimento representa a posição de um ponto na sua viagem circular em torno do seu centro de rotação, acabando por gerar a representação de funções trigonométricas seno e cosseno. Com a compreensão deste fator, é possível perceber o conceito de fase.

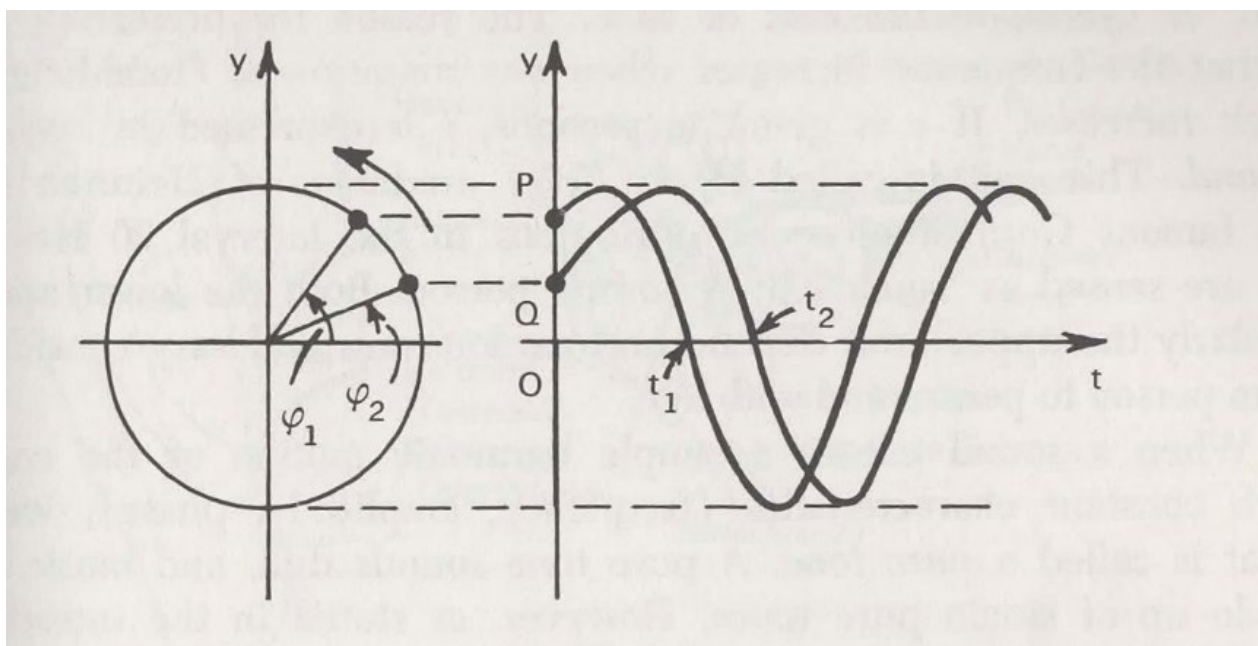


Figura 2 Representação de gráfico que demonstra o comportamento de um ponto em torno de um círculo ao longo do tempo, com inícios em diferentes pontos (P e Q), demonstrando a diferença entre fases.

Tal propriedade demonstra a diferença temporal entre dois movimentos idênticos começados a tempos diferentes, uma vez que a fase está associada à posição que o ponto toma em relação à posição inicial em qualquer momento do movimento e representa o ângulo aparente no momento.

São estas três propriedades, frequência, amplitude e fase, que definem os sons e nos permitem categorizá-los e compreendê-los.

Apesar destas propriedades representarem o som no momento da sua produção não é possível a partir somente destas compreender o seu comportamento ao longo do tempo quando este viaja no espaço, para tal é preciso compreender o comportamento das ondas sonoras, causadas pela vibração inicial.

Uma vez que o som é transmitido através de ondas é necessário também compreender melhor as propriedades que as definem.

Considerando o espaço como um campo onde as partículas estão conectadas entre si, dá-se-lhe o nome de meio elástico, quando aplicada uma força numa destas partículas esta força influenciará o movimento das

partículas adjacentes, criando assim uma onda. No caso do som, como as vibrações originais são periódicas, o mesmo acontecerá com as ondas causadas por tais vibrações (Roederer, 1974).

As ondas podem ser caracterizadas inicialmente por uma série de dualidades que melhor permite compreender com que tipo de onda se está a trabalhar. Parte destas dualidades estão associadas à sua direção, forma e velocidade de propagação, sendo que em relação à direção podem ser transversais ou longitudinais, à forma distinguem-se entre esféricas ou planas e, à sua velocidade como propagativas ou não propagativas.

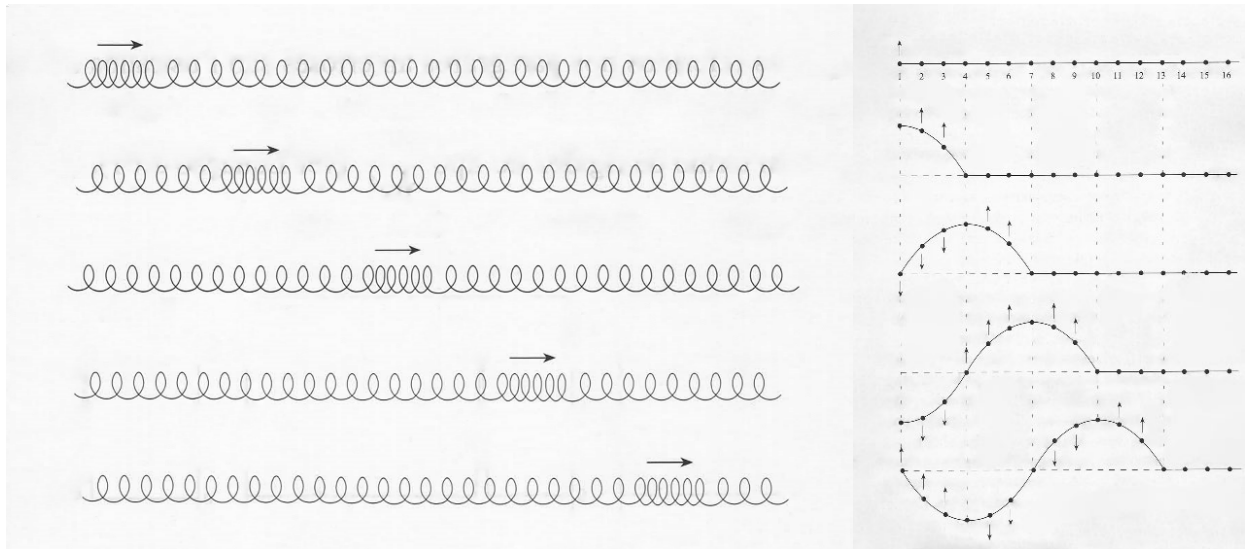


Figura 3 (Esquerda) Representação de 5 momentos diferentes no decorrer de um movimento longitudinal.
(Direita) Representação de 5 momentos diferentes no decorrer de um movimento transversal.

Uma onda transversal acontece quando o sentido da perturbação causada no meio não segue a direção da propagação, como o que acontece quando se pega numa corda pousada no chão, o movimento e perturbação é perpendicular à direção de propagação, sendo esta ao longo da corda, o segundo caso as ondas seguem a direção do movimento, por exemplo quando se procede ao esticar ou comprimir de uma mola, as ondas sonoras são também um exemplo de ondas longitudinais, sendo que o movimento do ar causado pela vibração do objeto que o cria se propaga através de compressões e rarefações causadas no ar, uma vez que o movimento vibratório do objeto ao passar para um dos lados do seu eixo cria zonas com tais características.

Tal como o nome indica em relação à forma, as ondas esféricas são propagadas através de esferas e para as planas o mesmo princípio se apresenta, no caso das ondas sonoras, sendo estas feitas a partir de um ponto, o que acontece na grande maioria dos casos, as ondas são inicialmente esféricas, no entanto, consoante viajam e se distanciam da fonte inicial, tendem a tornar-se planas, pelo que quando o comprimento de onda é substancialmente ultrapassado pela distancia já viajada pela onda, as ondas sonoras praticamente comportam-se como ondas planas.

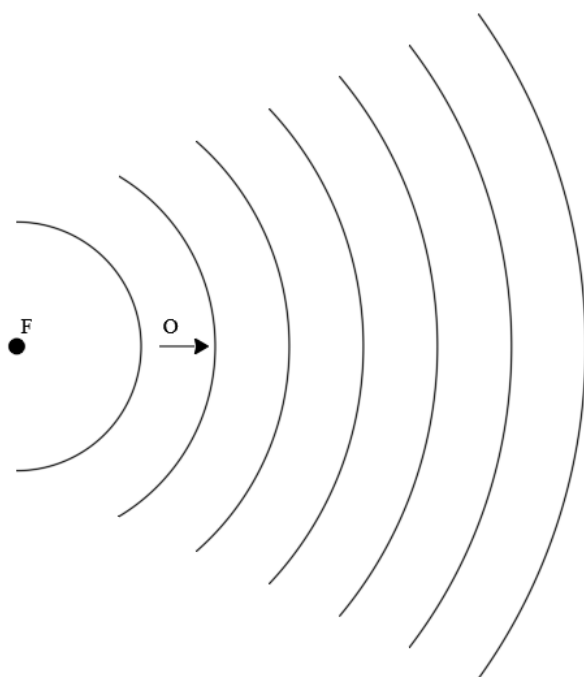


Figura 4 Representação em planta de uma onda circular que ao longo do tempo devido à propagação toma uma configuração mais semelhante, até ao ponto de se comportar como uma onda plana, devido à redução do ângulo.

Como é natural, diferentes ondas podem propagar-se a diferentes velocidades, no entanto, nem todos os tipos de ondas se propagam da mesma forma, sendo que temos ondas, como é o caso das sonoras, em que todas as frequências se propagam à mesma velocidade, e outros casos onde isso não é possível observar. As ondas sonoras são um exemplo do primeiro tipo, uma vez que quando ouvimos algo, todas as frequências chegam no momento certo dentro da sequência em que foram produzidos, caso isso não acontecesse ouviríamos as notas mais agudas mais cedo que as graves devido a uma diferença na velocidade de propagação (Henrique, 2002).

Da mesma forma que os movimentos oscilatórios definidos anteriormente tem uma frequência associada, também as ondas respondem da mesma forma e com frequência igual à do movimento originário. Isto permite-nos definir o comprimento de onda, tal como é possível demarcar o período de um movimento. A definição do comprimento de onda facilita a compreensão do comportamento que as ondas irão tomar quando embatem em elementos integrantes do espaço onde se propagam, uma vez, que proporciona uma dimensão real do elemento, capaz de proporcionar uma comparação direta com o objeto físico de interação.

1.3 - Comportamento

Há 4 comportamentos base que definem o desenvolvimento de uma onda ao longo do espaço, sendo estes a absorção, reflexão, refração e difração. É com base nestas interações que é possível compreender, o espaço, sendo que na interação real, os elementos são to variados que há várias destas interações a acontecer em cada ponto e a cada momento.

1.3.1 - Absorção e reflexão

A absorção e reflexão estão diretamente relacionadas, uma vez que normalmente um corpo nunca é 100% refletor ou 100% absorvente, desta forma, quando uma onda se encontra com um corpo, a propriedade definida como coeficiente de absorção, permite-nos compreender que parte da onda será absorvida pelo material e por conseguinte, a parte restante que será refletida. O coeficiente de absorção é uma propriedade inerente a cada material, pelo que a absorção causada é independente da forma, somente é relevante que para a existência de absorção ou reflexão, a superfície onde a onda embate, seja maior que o comprimento de onda da onda em estudo. Esta propriedade determina a percentagem do som absorvida pelo material.

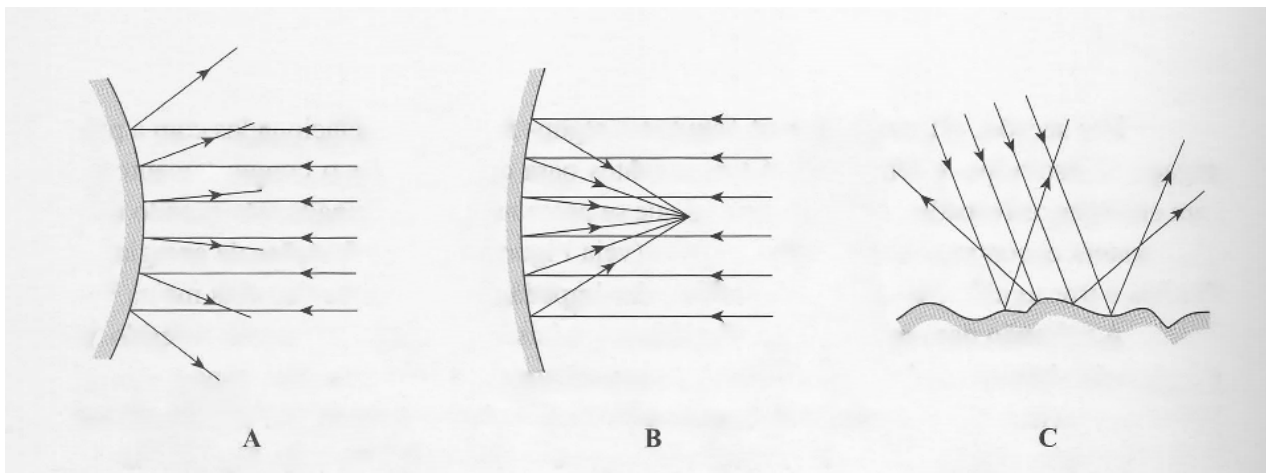


Figura 5 Representação de 3 diferentes configurações de reflexão. A- Reflexão num plano convexo, refletindo a onda para o exterior. B- Reflexão num plano concavo, refletindo para o interior. C- Reflexão num plano irregular criando uma dispersão e reflexão aleatória.

No entanto, o comportamento da onda no caso da reflexão é já influenciado pela forma e geometria do objeto de embate. O comportamento neste caso, é semelhante ao definido para o comportamento de reflexão da luz, em que a reflexão se dá com o mesmo ângulo de incidência, de tal forma que quando a fonte emite a onda diretamente perpendicular, apenas ocorre uma mudança de sentido.

Quando o comprimento de onda começa a ser próximo do da superfície atingida, apesar do fenómeno ocorrido ainda ser de reflexão, introduz-se a denominação de difusão, uma vez que as ondas que aí embatem tomam por vezes diferentes configurações de reflexão, ou seja, ocorre uma reflexão menos uniforme, causando a difusão do som, isto normalmente acontece em superfícies pouco uniformes.

1.3.2 - Difração

Por outro lado, a difração acontece quando a onda é de maior comprimento de onda do que a superfície em questão. Nestes casos, o que acontece é apenas uma mudança de direção, sem que a onda mude de sentido de propagação, sendo que o objeto é contornado. Este fenómeno vem normalmente acompanhado por uma alteração da intensidade do som, uma vez que o obstáculo obriga a uma alteração do movimento e causa pontos onde a onda chega com maior dificuldade, este fenómeno denomina-se de sombra acústica.

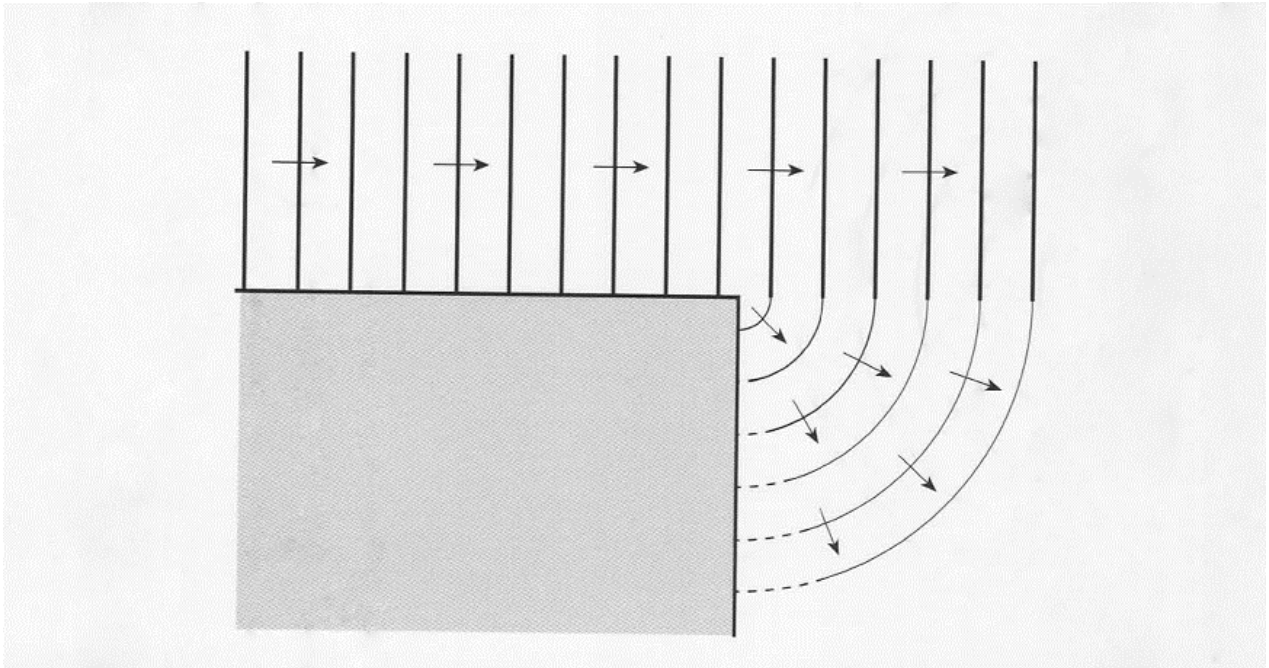


Figura 6 Representação em planta da difração ocorrida quando um plano deixa de existir ao longo da propagação de uma onda.

A refração é mais uma das propriedades que está mais relacionada com o material que interage com o som do que a sua forma, contudo, o fenómeno está somente associado ao que acontece quando há uma alteração da velocidade de propagação ao longo do espaço, o que pode acontecer tanto quando se dá uma alteração do material de propagação, como quando simplesmente existe uma alteração de velocidade dentro do mesmo meio. No caso do ar, a temperatura é um dos fatores que causa alteração de velocidade, é possível notar que a temperatura do ar não é sempre a mesma em altura, e, portanto, há uma diferente velocidade de propagação ao longo do meio, uma vez que o som se propaga mais rápido em ar quente do que em ar frio. De forma semelhante, o vento é um dos casos que influencia a velocidade de propagação do som, sendo que, como é fácil de prever, se o som for emitido a favor do vento, este permite que tanto o ar como as ondas de compressão causadas pela fonte sonora se propaguem muito mais rápido do que as que emitem som em sentido contrário ao do vento (Henrique, 2002).

É a partir deste conjunto inicial de interações do som com o espaço que se pode compreender o seu comportamento dentro de um espaço, e de certa forma permite antever o comportamento e interações possíveis de um espaço não construído.

O ar é o meio mais abundante onde o som se propaga, e o qual nós mais interagimos, e, por conseguinte, é necessário ter em conta que também tem um coeficiente de absorção associado, propriedade esta que como visto anteriormente causa a diminuição da intensidade do som ao longo do seu percurso no meio.

Dentro de um espaço fechado, é natural que as superfícies que o delimitam apresentem características não só associadas aos materiais que as revestem, mas também relacionadas com a sua forma e geometria. O conjunto das interações entre as superfícies delimitantes vai demonstrar o comportamento total do espaço como um todo, sendo que o som não embate somente numa das superfícies, mas interage com todas elas múltiplas vezes, viajando de um ponto para o outro. Esta grande diversidade de interações possíveis é o que torna o processo de compreensão da resposta sonora de um espaço um processo bastante complexo.

1.4 - Análise Acústica

Para além da necessidade de compreensão do comportamento geral do som no seu percurso através do espaço, é necessário também perceber quais os parâmetros que melhor definem o espaço, e não somente a forma como o som interage com este.

No desenvolver desta temática existem, segundo alguns autores, diferentes parâmetros e métodos de medição para a compreensão de um espaço, quer seja este fechado ou aberto. A divergência entre as diferentes formas de analisar, varia principalmente entre os que consideram a experiência humana como fonte principal e os que consideram os dados físicos, e medições concretas.

Tendo em conta uma abordagem objetiva de medições efetuadas sobre um espaço, através da análise das interações e dos comportamentos das ondas na sua propagação, é possível melhor compreender as vantagens e desvantagens de tal espaço.

Por forma a tentar simplificar a compreensão e pensar no espaço como um todo, e não como um conjunto de diversas interações, são criadas medições gerais que melhor nos permitem definir o espaço. Uma das características que mais ajuda na compreensão acústica é o tempo de reverberação, isto é, o tempo que um som, após o momento em que deixa de ser emitido, demora a reduzir de intensidade em 60db, atingido através das variadas interações do som com o espaço. esta medição é normalmente extrapolada, a partir da medição tanto da diferença de 20dB, assim como de 30dB, uma vez que o decaimento é proporcional. Devido às inúmeras reflexões que acontecem dentro de um espaço fechado é compreensível que este tempo seja muito mais elevado do que num espaço aberto, sendo que a céu aberto, o som reduz em 6db a sua intensidade cada vez que a distância à fonte sonora dobra. A absorção total do espaço, composta pela relação da área e o coeficiente de absorção de cada superfície, influencia bastante a duração deste tempo de reverberação, sendo uma das características principais que nos permite determinar, tanto a absorção como a reflexão, e por conseguinte grande parte das interações que ocorrem dentro de um espaço fechado. De forma semelhante ao

tempo de reverberação, calcula-se o tempo que demora a decair os primeiros 10dB, o que nos fornece com a informação sobre o tempo inicial de decaimento.¹

Tendo em conta que o som, devido às variadas reflexões que efetua no espaço, atinge pontos no espaço, tanto como som direto, assim como som reverberante, é possível efetuar a medição, do intervalo de tempo em que estas diferentes formas de propagação atingem o recetor auditivo, tendo em conta principalmente a primeira reflexão. Esta medição tem o nome de tempo inicial de atraso, e normalmente é efetuada perto do centro da sala, sendo que medições entre os 15ms e os 30ms são as que se encontram presentes nas melhores salas destinadas à música.

Como já foi referido, as superfícies que permitem a reflexão do som e, portanto, a criação de campos reverberantes, tem um coeficiente de absorção associado que leva a que a intensidade do som proveniente da fonte - o som direto - e a intensidade do som refletido sejam diferentes. Assim, procede-se à medição da intensidade entre os dois sons e, posteriormente, estabelecendo a relação entre elas, o que nos permite determinar a intensidade da sala, ou seja, a quantidade geral de volume existente na sala (Henrique, 2002).

Por outro lado, para além das características apresentadas que são possíveis de ser determinadas de forma objetiva, há também uma série de características relacionadas com a compreensão do ouvinte, muito mais subjetivas, que de certa forma permitem também compreender de certa forma a qualidade acústica de um espaço. Pelo que é também válido, segundo a corrente que se autointitula de psico-acústica (Roederer, 1974), chegar a conclusões, sobre um espaço, através da análise de variados ouvintes e do seu relato das experiências sobre uma base de temáticas semelhantes. A utilização destas diferentes experiências, e tendo em conta a forma, material e todos os componentes físicos dos espaços sujeitos a testes, permite criar uma estimativa, da qual é possível ter uma ideia sobre acústica espacial.

A escolha deste método como forma de análise surge maioritariamente devido à existência de diferenças na perceção humana de pessoa para pessoa, e também, pois as análises científicas diferem também ligeiramente da experiência humana. É necessário ter em conta que os humanos possuem duas fontes receptoras, os seus dois ouvidos, como também existe um processo mental executado durante o processamento de informação, daí a existência permanente de uma ligeira variação entre os dados científicos e as experiências dos ouvintes. Deste modo, é preciso ter em consideração que sendo características definidas subjetivamente, o fator humano entra em jogo, e leva a que possa haver diferentes formas de perceção. Para além da variação entre ouvintes é normal que haja também uma ligeira diferença entre as medições exatas possíveis de fazer, uma vez que o ouvido humano não funciona de forma semelhante aos instrumentos utilizados para medição, quer sejam analógicos ou digitais.

É através de alguns termos e vocábulos, que normalmente surgem no círculo de músicos e críticos, que nos é permitido estabelecer esta relação entre as sensações e as características - termos como a clareza, temperatura, equilíbrio, etc., são características que se referem diretamente ao som, mas que nos permitem fazer uma relação direta com as características da sala (Rayleigh, 1945).

¹ O termo Tempo Inicial de Decaimento, Early Decay Time em inglês, será mencionado pela sigla EDT, associado ao termo inglês.

No caso da clareza, deparamo-nos com a capacidade da sala de manter a inteligibilidade do som, tal como ele é produzido, ou seja, o grau de percepção e definição dos sons ouvidos. Se uma sala apresenta um tempo de reverberação demasiado elevado, e com muitas superfícies que promovem a reflexão, o som irá tornar-se convoluto e de difícil compreensão; no entanto, se o contrário acontece, tornar-se-á possível escutar e reparar todas as diferentes partes do som. Por vezes, esta qualidade está também associada mesmo à sala, sendo que a sala pode ser considerada mais seca, quanto maior for a clareza do som ouvido. Este parâmetro pode ser calculado, a partir da compreensão e relação da intensidade do som nos momentos iniciais, com o som reverberado. Normalmente é calculada nos primeiros 50 ou 80ms, estando associada as siglas C50 e C80 respetivamente. Para além deste parâmetro, o termo Definição é calculado praticamente da mesma forma, sendo convertido em percentagem, representando a quantidade do som que se sente nos primeiros momentos. Da mesma forma que a clareza, a definição é normalmente calculada para os primeiros 50 ou 80ms, recebendo as siglas D50 e D80, respetivamente.

Em relação às diferenças entre som direto e som reverberante é possível obter dois tipos de sensações, um associado à sua intensidade e outro associado à dimensão da sala em si. Numa sala de grandes dimensões, devido às grandes distâncias que o som é obrigado a percorrer, pode haver uma absorção sonora demasiado grande, o que provoca a falta de intensidade do som reverberante, criando uma sensação de intensidade geral muito menor, uma vez que o conjunto apresenta, de certa forma, uma intensidade total reduzida. De forma semelhante, devido às variadas reflexões necessárias para que o som atinja o ouvinte, o som direto e a primeira reflexão podem apresentar um grande intervalo de tempo entre si, levando a que se sinta uma sala menos íntima.

A direção e forma como o som reverberante é refletido e viaja no espaço permite compreender a sensação de envolvimento, demarcada pela possibilidade de ouvir o som de igual modo e com semelhante intensidade de todas as direções. Este fenómeno ocorre em partes da sala e não no espaço total. Uma outra qualidade associada ao mesmo fenómeno é a direccionalidade, que por vezes causa a percepção de que o som é proveniente de uma fonte diferente da real.

Outras propriedades, não tão inerentes das qualidades principais da sala, podem estar associadas à gama de frequências nas quais a absorção ou reflexão é mais forte, ou a forma como os diferentes timbres chegam ao ouvido, podendo causar disparidades. A sala pode ser considerada quente ou fria, no sentido em que uma sala quente demonstra uma maior relevância dos sons graves (entre as frequências de 75 a 350 Hz) e, pelo contrário, quando os sons agudos (acima dos 1400 Hz) são os mais relevantes, temos então uma sala mais fria.

Capítulo II - Modelação 3D e Parametrização

2.1 - Evolução dos modelos tridimensionais

A tridimensionalidade é uma característica de qualquer prática associada à arquitetura, sendo que a arquitetura é proveniente, principalmente, da necessidade da criação de espaços que o ser humano possa habitar e utilizar. Desde o início dos tempos que a necessidade da procura de locais seguros onde haja a possibilidade de descansar levou o Homem a começar a experimentar com a criação de abrigos.

Com o passar do tempo o interesse por conceitos como a beleza, permanência e funcionalidade foi crescendo e tornando-se parte integrante da vida do ser humano e, por conseguinte, da arquitetura que foi acompanhando o mesmo crescimento, tal como apontado por Vitruvius com os 3 princípios para a arquitetura, *venustas, utilitas e firmitas*, respetivamente.

Uma vez que a arquitetura está inteiramente ligada à tridimensionalidade, por vezes existe a dificuldade em imaginar e compreender por completo algo que ainda não existe, principalmente em relação ao seu comportamento no espaço e na sua envolvente. De forma a facilitar esse processo de visualização e imaginação utiliza-se, cada vez mais, a criação de modelos tridimensionais, quer sejam estes plásticos ou virtuais. A estes modelos damos o nome de maquete, no entanto, nem sempre foi esse o caso, ou pelo menos, a definição da palavra “maquete” não foi constante ao longo dos tempos, incluindo mesmo no presente conseguimos alterar tal definição, dependendo do meio e modo em que está a ser utilizada.

A definição de maquete apareceu bastante tarde, pelo menos na forma como é utilizada agora, tendo uma enorme variedade de interpretações, podendo referir-se tanto aos objetos tridimensionais que representam de forma fiel algo com o objetivo de ser construído ou até mesmo já construído, ou, por outro lado, referir-se a tentativas de descoberta de formas ou de imagens pretendidas, tendo um nível de fidelidade bastante mais reduzido que a intenção anteriormente referida (Blanco, 2002).

No entanto, inicialmente o termo mais comumente utilizado era o de modelo, começando a ser utilizado em 1392, no momento da construção da Duomo de Milão, por forma a criar a distinção entre as plantas e desenhos dos modelos tridimensionais, de toda a forma era mencionado o material para não deixar qualquer ponto de dúvida (Blanco, 2002). Ainda durante o Renascimento, o termo “desenho” era utilizado como referência tanto a desenhos e esboços, como também a modelos. É possível classificar os desenhos como modelos, se tivermos em conta que estes continuam a ser uma representação de um projeto (Blanco, 2002).

Para além das diferenças em definição e em termos, existem também uma variedade de diferentes tipos de modelos, dependendo da sua utilidade final. Marta Úbeda Blanco apresenta, na obra citada, 9 diferentes tipos de modelos, nomeadamente: ilustrativos, didáticos, experimentais, industriais, simbólicos, vivos, estáticos, dinâmicos, anatómicos. Na arquitetura os tipos mais relevantes são os ilustrativos, experimentais, estéticos e de algum modo os simbólicos. Os modelos ilustrativos estão associados com a finalidade de mostrar um objeto na sua forma total, por conseguinte, são a opção escolhida para fazer a apresentação de

algo a um terceiro, principalmente no fim do processo. Por outro lado, os experimentais têm exatamente o objetivo de serem alterados e modificados por forma a se conseguir obter o resultado desejado, e ajudar no progresso criativo. Já os modelos simbólicos estão associados a objetos que tiveram uma finalidade maioritariamente ritualística, e, portanto, com um significado inerente (Blanco, 2002).

Este último tipo de modelos é de certa forma importante para a arquitetura pelas formas que retratam. Durante os processos de investigação de vestígios de sociedades e comunidades passadas, há uma grande quantidade de oferendas, encontradas em conjunto com alguns dos corpos descobertos, que têm alguma semelhança a elementos arquitetônicos vindos da antiguidade, tais como os egípcios ou os ameríndios (Pillsbury et al., 2015). Tal como no início o Homem procurava abrigos durante a vida, estes elementos proporcionariam, de acordo com as crenças de tais povoações, um abrigo para as almas após a morte, o que leva a uma grande presença de elementos arquitetônicos. Devido aos elementos e temas arquitetônicos representados por tais oferendas, é possível, em conjunto com escrituras e descrições encontradas, compreender melhor o tipo de arquitetura que cada povoação praticava e construía. Elementos como portas, coberturas, janelas ou colunas, são os que mais frequentemente nos permitem associar estes pequenos objetos, encontrados em campas, a pequenos modelos arquitetônicos.

Alguns dos objetos encontrados apresentam uma imagem um pouco diferente, assemelhando-se a recipientes criando, por vezes, objetos algo bizarros, mas que nos proporcionam também uma dimensão arquitetónica. Apesar de não se saber ao certo o propósito exato destes vasos, crê-se que alguns tivessem uma utilidade semelhante às oferendas fúnebres previamente mencionadas, ou seja, com o intuito de fornecer um espaço que pudesse ser utilizado num plano pós-vida, ou por outro lado, também com um intuito simbólico, utilizados em hábitos ritualísticos, mantendo a intenção de proporcionar um espaço para o etéreo.

É, portanto, possível notar que as formas iniciais de modelos arquitetónicos a que se tem acesso são maioritariamente de intuito religioso, sendo que representam elementos fáceis de identificar, com variados níveis de fidelidade proporcional.

Contudo, para além destes objetos com finalidade bastante perceptível e demarcada, existem também outros elementos em que a sua utilização é mais difícil de compreender. Em alguns casos deste género, pode-se observar o captar de um momento ou atividade do dia-a-dia das povoações, de tal modo que eram representados não só os espaços, como também as pessoas e as atividades que executavam, assemelhando-se mais a esculturas do que a itens utilizados correntemente, fornecendo assim, ainda mais, uma sensação de tridimensionalidade bastante importante.



Figura 7 Envase com bico modelado com aspeto de casa. Cultura Cupisnique, Peru, 1200–800 a.c. Museo Larco, Lima

Para além dos modelos que representam os momentos do dia a dia é também possível encontrar objetos que nos permitem ter uma melhor noção sobre acontecimentos mais específicos e por vezes ritualísticos. Alguns destes modelos, apesar de se reconhecer que não têm qualquer intenção de ser utilizados para ajudar no desenvolvimento de um objeto arquitetónico, permitem uma compreensão sobre o espaço, uma vez que não apresentam qualquer cobertura, revelando o interior e a divisão dos espaços representados assemelhando-se por vezes a uma representação em planta.

Com o passar do tempo a ideia da casa para a alma manteve-se, no entanto passou a ser demonstrada de uma forma diferente. Ao invés de se representar somente um pequeno abrigo que seria deixado junto ao corpo, fazem-se, agora, pequenos edifícios que permitem alojar não só o corpo etéreo, mas também, o corpo físico, sendo que permitem que qualquer pessoa possa entrar e visitar, assim como guardar os sepulcros. Este ato levou a que fosse possível criar uma pequena cidade em miniatura na qual tanto os vivos poderiam visitar como os mortos habitar, como é o caso do Cemitério da Recoleta, em Buenos Aires, Argentina. Este espaço foi projetado de forma a se assemelhar o mais possível a uma cidade real, tendo ruas, praças e jardins, e permitindo que se visite e se esteja realmente rodeado por pequenos edifícios ao longo do percurso que se faz pelas diferentes ruas (Blanco, 2002).

Figura 8 Modelo de casa. Representando algumas das atividades do dia a dia. Nayarit, México, 100 a.c.–d.c. 200. The Metropolitan Museum of Art, New York



Em relação a modelos estritamente arquitetônicos, sejam estes experimentais ou ilustrativos, a sua relevância como representação do espaço não foi sempre a mesma. A representação arquitetônica tem maioritariamente o objetivo de demonstrar o real numa escala mais compreensível para o humano, por forma a compreender todo o seu espectro, ao invés da sua compreensão por partes, como acontece quando se efetua um percurso ao longo de um edifício ou obra. Deste modo permite, também, que se tenha uma noção do que seja o objeto, caso este ainda não esteja construído, independentemente da fidelidade ou pormenor que lhe é inculcada. No caso de o objetivo ser a máxima fidelidade e rigor com o objeto final, a maquete torna-se assim a representação física que permite tal efeito.

É especialmente importante no caso da tentativa de apresentar um projeto a uma entidade não conhecedora e pertencente ao meio arquitetónico, pelo qual não teria habilitações suficientes para compreender desenhos, tais como plantas e cortes na sua totalidade. Era esta a utilização principal de maquetes até muito recentemente, por volta dos meados do século XIX, onde começa a haver uma transição e junção de ambas as intenções experimentais e ilustrativas dos modelos.

Mesmo durante o século XIX, época em que os modelos perderam grande parte da sua valorização devido a alguns fatores tais como, o preço da realização de tais objetos, a evolução dos desenhos bidimensionais, que agora permitiam representações perspetivas e coloridas com uma grande sofisticação e rigor, e também a separação entre a parte artística e a artesanal na arquitetura, levando a que o arquiteto não se dedicasse tanto a criar modelos; tornava-se, portanto, mais fácil de compreender tais desenhos uma vez que não se limitavam simplesmente a plantas e cortes ou perspetivas com falhas bastante grandes. Apesar do declínio de interesse na construção de maquetes durante o século XIX, Sir John Soane continuou a utilizar

maquetes como modelos de expressão e de representação arquitetónica, ao ponto de acumular um dos maiores acervos de maquetes (a sua casa e toda a coleção constituem hoje um museu).

Nesta época cresce simultaneamente o interesse pela arquitetura clássica, levando à intenção de criar formas de representar e compreender tais objetos, sendo criadas maquetes de representação de objetos de interesse. Este já era o caso do que acontecia na Europa, principalmente na École des Beaux-Arts em Paris; no entanto ocorreu um crescimento da utilização de maquetes ilustrativas quando se forma o Instituto Tecnológico de Massachusetts, sendo aberta uma escola de arquitetura nos Estados Unidos da América. Uma vez que não havia grande facilidade em fazer visitas à Europa, onde se encontram os grandes exemplos clássicos nos quais a escola se baseava na altura, houve a necessidade de mostrar tais edifícios de diferente forma, levando, portanto, à criação de tais maquetes ou, até mesmo, ao transporte de elementos autênticos.

Mais tarde, no entanto, os modelos voltam a ganhar relevância para o desenvolvimento do projeto em si e começam então a surgir mais exemplos de modelos experimentais, sendo, Antoni Gaudí um dos grandes propulsores da utilização de modelos deste modo. Aparecendo com um método completamente novo de projetar essencialmente baseado na criação de maquetes e da sua adaptação até obter o resultado final e desejado, demonstrando assim, que as maquetes podem fazer também parte integrante do processo de projeto completo, e não somente uma forma de apresentar o objeto final. Este método de projetar vem da tentativa de se aproximar das formas da natureza e a sua adaptação, deixando que a estabilidade e distribuição de cargas seja feita de forma natural, através da gravidade.

Para obter tal resultado recorre a maquetes feitas de fios e pesos, que sendo criadas usando a análise da gravidade em relação as cargas que necessita de suportar, permite que quando se procede à sua inversão as cargas sejam distribuídas de forma semelhante. Este método facilita a compreensão dos objetos criados por Gaudí uma vez que são de uma grande complexidade, e a maquete ajuda na tentativa de representação de tão complexos objetos, tanto pela sua tridimensionalidade como a capacidade de demonstrar o maior número de elementos possíveis, e, por conseguinte, a maior quantidade de informação. É também possível através deste método calcular, com um elevado grau de fidelidade, o comportamento da estrutura, que pela sua complexidade seria muito difícil na época de concretizar através de qualquer outro método.

Derivado da forma de construção das maquetes, os edifícios da autoria de Gaudí ganham por vezes uma forma e uma estrutura que se assemelha a árvores e outros elementos naturais, pela sua capacidade de suporte da própria estrutura, tal como encontrada na natureza (Blanco, 2002).

A utilização de maquetes e modelos como meio de desenvolvimento projetual tem vindo a aumentar desde então, com uma grande variedade de métodos e formas de criação, variações capazes de ser notadas muitas vezes, de acordo com o movimento arquitetónico com o qual o arquiteto mais se identifica, principalmente os associados aos grandes movimentos vanguardistas existentes ao longo do século XX.



Figura 9 Antoni Gaudí ao lado de maquete de esforços realizada pelo mesmo.

2.2 - Desenvolvimento das maquetes virtuais

O desenvolvimento de nova tecnologia, principalmente virtual, permitiram que se utilizasse máquinas com capacidade de fazer cálculos e efetuar tarefas que para os humanos muito tempo levariam para ser realizadas. O que hoje conhecemos como a calculadora foi uma dessas máquinas iniciais que permitiu, consequentemente, o desenvolvimento de outras mais sofisticadas ao longo do tempo. As primeiras calculadoras digitais começam a surgir no final do século XIX, e objetos capazes de efetuar tarefas mais complexas, aos quais chamamos computadores, surgem durante a primeira metade do século XX (Schodek et al., 2005). A grande diferença entre o computador e a calculadora é a liberdade que o computador permite nas tarefas que realiza, podendo estas ser alteradas de acordo com as necessidades, ao contrário da calculadora.

Estas máquinas que tão grande liberdade permitem não foram, no entanto, sempre fáceis de utilizar, nos primeiros modelos, não só era o seu tamanho muito grande (Fig.11), como também era necessário que fossem programadas para realizar uma série de tarefas específicas, pelo que se viam obrigados a reprogramar os processos da máquina por forma a satisfazer qualquer nova alteração que fosse de encontro ao pretendido.

A evolução do computador permitiu que se fossem criando iterações com menores tamanhos e, ao mesmo tempo, maior capacidade de processamento, tornando-se mais facilmente disponível para qualquer pessoa. De tal modo, este tipo de tecnologias começa a ser aproveitado por vários campos, principalmente com alguma base científica, como é o caso da ciência aeroespacial ou a arquitetura, com a necessidade de cálculos e de precisão.



Figura 10 Computador de primeira geração IBM 650

Para a arquitetura, o desenvolvimento do desenho virtual, desenvolveu-se em 3 diferentes fases (Kalay, 2004), uma inicial em que se pretendia criar uma relação mais próxima com o homem, sendo que o desenho era feito a partir de uma espécie de canetas, diretamente no ecrã, com um programa chamado *Sketchpad* criado por Ivan Sutherland, desenvolvido para o seu doutoramento. Este programa utilizava algoritmos matemáticos para aperfeiçoar o desenho humano e permitir a alteração do desenho digitalmente.

O desenho com ajuda do computador seguiu inicialmente duas vertentes diferentes, uma mais geométrica e de tentativa de resolver os problemas de representação que o desenho manual apresentava, principalmente adotada pela indústria aeroespacial, e uma outra na arquitetura, com o desenvolvimento de programas para reconhecer os desenhos como elementos específicos, tais como portas, paredes, janelas, etc. desta forma podia-se considerar como não só uma ferramenta de desenho como também de categorização e organização.



Figura 11 Computador moderno
IBM PC

No entanto, isto requeria um grande poder computacional, o que levava a instrumentos muito grandes e, por conseguinte, caros, de tal forma que era somente utilizado por um grupo muito restrito de investigadores. Com o tempo e o aparecimento de computadores de menores dimensões que começam a ser adquiridos também por escritórios e arquitetos, as necessidades alteram ligeiramente, vendo-se uma intenção maior de utilizar o computador como ferramenta de desenho.



Figura 12 Ivan Sutherland a usar o programa sketchpad em 1963.

Este grande avanço tecnológico permite que o computador seja utilizado para criar representações digitais de basicamente qualquer objeto que se pretenda, tanto através de desenhos e imagens bidimensionais, como também construir modelos virtuais, que permitem ver um objeto através de diferentes pontos de vista a qualquer momento, do mesmo modo que uma maquete o permite. Este tipo de programas vai também, ao longo do tempo, sendo afinado e permitindo que os objetos representados, principalmente os modelos tridimensionais, apresentem cada vez maior grau de fidelidade e de rigor, tornando-se não só uma ferramenta de representação, mas também de simulação e de medição.

Tanto é que, por vezes, dois escritórios em particular, Frank Gerhy e Zaha Hadid Architects, sentiram a necessidade de recorrer a programas criados e utilizados maioritariamente pela indústria aeroespacial, uma vez que proporcionavam uma maior precisão e melhor capacidade de transformar o que se visualizava no ecrã do computador para o mundo real, permitindo, assim a criação de objetos em que a representação digital fosse o mais próximo possível da real. A escultura do Peixe construída para a vila olímpica em Barcelona no início da década de 90, pelo escritório do arquiteto Frank O. Gehry, é um dos exemplos em que foi necessário recorrer a tais ferramentas e trabalhar em conjunto com programadores por forma a obter um programa que permitisse calcular e especificar todos os pontos necessário para proceder à sua fabricação e montagem (Schodek et al., 2005).

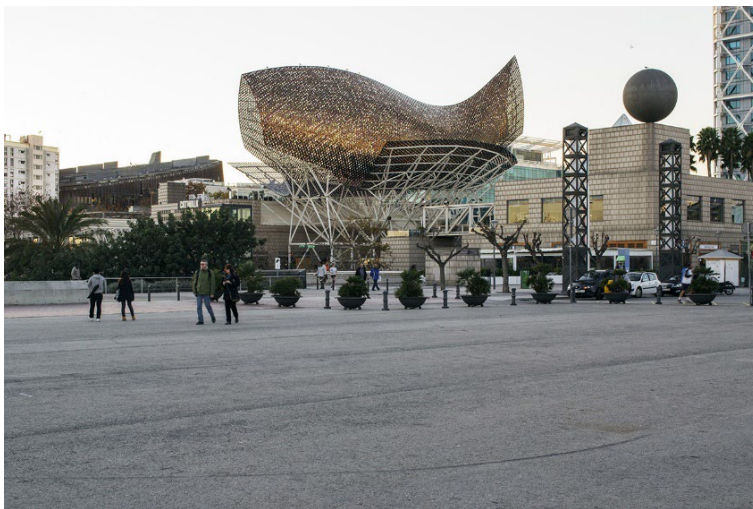


Figura 13 Pez Olímpico de Frank O. Gehry

A existência de tais ferramentas leva a que outras semelhantes sejam procuradas principalmente por arquitetos que procuravam representar e criar algo que era, até então, bastante difícil, como é o caso de superfícies curvadas, principalmente baseados em curvas livres, com o nome de *spline*, que, ao contrário das catenárias presentes na arquitetura de Gaudí ou das cúpulas góticas, muitas vezes não tinham função estrutural. Temos assim a tentativa de criar edifícios que demonstram não só uma maior complexidade estrutural, mas também complexidade formal, uma vez que as curvas não são de tão fácil representação analógica.

Uma vez que a utilização de representações tridimensionais digitais eram muito mais predominantes entre os arquitetos e escritórios que já tinham inicialmente a intenção de desenvolver e criar edifícios e objetos com base em curvas, sempre houve algum estigma em relação à sua utilização para qualquer outro

tipo de arquitetura, sendo muito lentamente introduzido. Devido a essa aversão à utilização do computador e dos seus programas, estes eram inicialmente, utilizados maioritariamente, como ferramenta de representação, e não utilizados com todo o seu potencial, como a possibilidade de ajudar a visualização ou a rapidez de produção de novos elementos, e, por conseguinte, promover o desenvolvimento do projeto, quer por meio virtual, quer digital (Carpo, 2017). Só quase no final do século XX começa a aumentar o número de arquitetos a tirar partido das capacidades do computador integrado no processo projetual, isto acontece não só pela redução de preço, e consequentemente, aumento da disponibilidade, mas também pela percepção que o computador permite efetuar tanto linhas e superfícies curvas, como linhas e planos retos com a mesma rapidez e facilidade.

É também nesta época que se começa a reconhecer melhor as capacidades do computador, entrando-se assim, na terceira geração (Kalay, 2004) do desenho virtual, na qual, apesar de todos os avanços, principalmente em termos gráficos, ainda nos encontramos em fases de desenvolvimento da integração na arquitetura. Sendo que, volta a aparecer a utilização do computador como ferramenta de categorização, agora muito mais fácil de utilizar, devido à muito melhor capacidade de representação gráfica atingida. Isto permite que o computador possa reconhecer os diferentes elementos presentes nos modelos e, por conseguinte, possibilita a criação de programas que realizem análises mais facilmente. Este processo recebeu o nome de BIM (Building Information Modeling), que interliga diretamente os elementos utilizados nos modelos a objetos reais. Associado a este processo de análise, vem também, normalmente, um processo de alteração do projeto, seja este diretamente realizado pelo próprio programa de computador, ou pelas pessoas, após um aviso fornecido pelo programa.

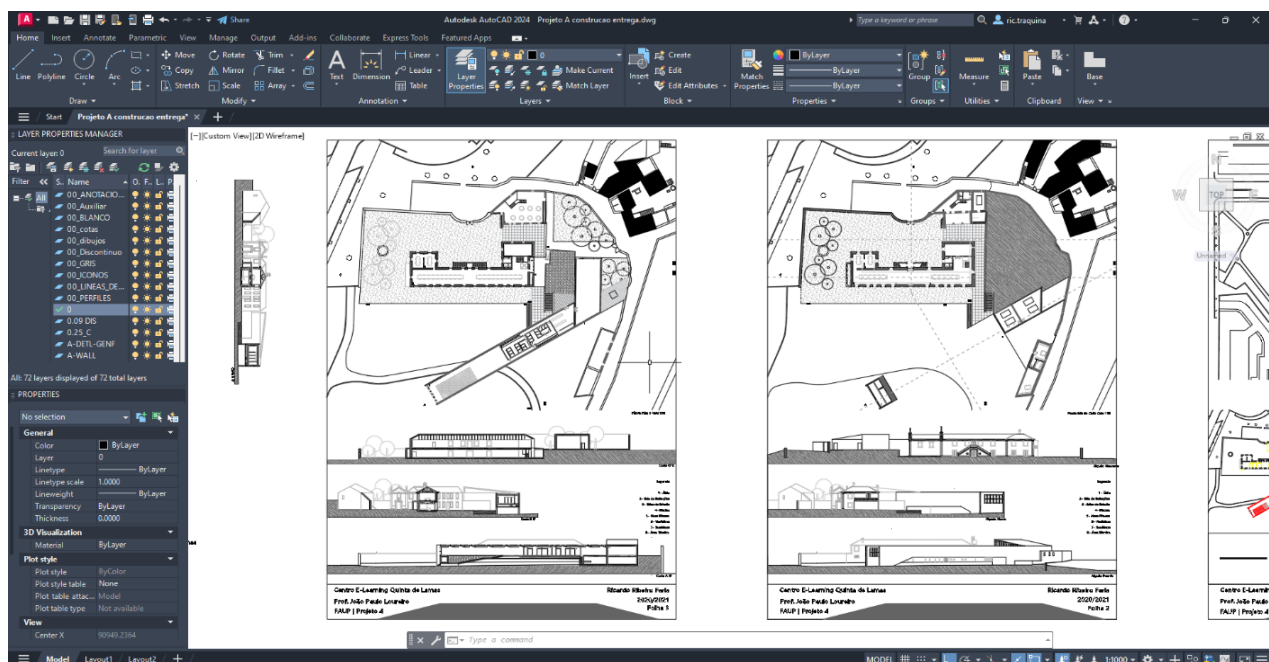


Figura 14 Desenho virtual em 2D realizado em programas de representação atuais

Este tipo de processos começa a ganhar prevalência, e para que possa ocorrer dessa forma, é necessário que sejam fornecidas regras ao programa, para que este saiba o que analisar e de que forma responder.

Ao surgir esta nova forma de utilização do computador, com programas que permitem fornecer análises, surge também a necessidade de alterar rapidamente o objeto por forma a responder a grande número de hipóteses de acordo com as regras pré-estabelecidas, sente-se a necessidade de fazer o mesmo com o desenho em si, isto é, criar uma quantidade de regras que limitam e descrevem de que forma o projeto se pode desenvolver. A este processo dá-se o nome de parametrização, permitindo que a forma possa ser definida com uma intenção e continuamente trabalhada sobre, tendo presente uma variedade de opções das quais se pode escolher.

A parametrização é, portanto, uma ferramenta muitas vezes utilizada de forma integrada com um sistema de análise, sendo que as formas originárias vão se desenvolvendo de acordo com os parâmetros definidos, assim como tentando responder da forma mais eficaz às análises que vão sendo efetuadas automaticamente. Este tipo de processo pode ser efetuado em relação a vários tipos diferentes de análises, estruturais, solares, térmicas, ou até mesmo acústicas, objeto de estudo deste trabalho.

Capítulo III - Design acústico em Espaços de Espetáculo

3.1 - Evolução dos Espaços de Espetáculo

Os espaços de espetáculo já fazem parte da arquitetura da cidade desde a antiguidade grega e romana, sendo bastante marcado pelos diferentes tipos que estes espaços vão adquirindo, evidente no estudo de tais edificações e práticas, principalmente nas sociedades ocidentais. Os espaços predominantes foram durante grande parte do tempo dedicados ao teatro, que muitas vezes inclui também a música, e, portanto, já englobam um pouco os dois mundos.

Como referido tem-se acesso a exemplos de espaços usados para a realização de representações, tanto faladas, como cantadas, integrantes de cerimónias religiosas dedicadas a Dionísio, na povoação grega, realizadas desde o séc.VI a.c. Deste modo surgem os primeiros edifícios dedicados somente à realização de performances, incluindo por vezes coros e atores ao mesmo tempo. nestas edificações o palco era circular, com a plateia a envolver ligeiramente mais do que 180° do palco, e apresentavam normalmente um fundo com 3 portas que funcionava como entrada dos atores, assim como divisória e cenário. Eram normalmente integrados na paisagem, sendo que eram construídos aproveitando o declive e inclinação das encostas naturais para fazer o desenvolvimento da plateia em escada (Breton, 1989).

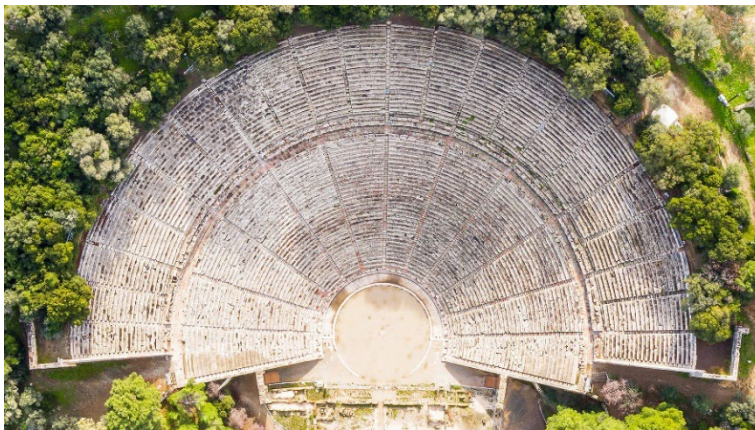


Figura 15 Vista aérea do teatro grego de Epidauro



Figura 16 Vista do Teatro Romano de Mérida

Uma versão diretamente consequente desta, em que o a plateia se desenvolve somente a 180°, sem ultrapassar estes limites, surgiu com a povoação romana. Apesar da plateia se desenvolver de forma muito semelhante, em escada e 180° em torno do palco, a forma como se implanta a edificação é feita de forma diferente, sendo esta não só implantada sobre solo plano, como implantada no meio da cidade, tornando-se desta forma parte integrante do tecido urbano. A parede de fundo ganha também uma importância e relevo diferente, mantendo a tradição das 3 entradas, e, ao mesmo tempo, decorando-a com uma série de colunas e arcos, demonstrando assim também uma maior função arquitetónica.

Durante alguns séculos posteriores ao declínio do império romano, as representações e o teatro deixaram de ter um local específico onde se realizar, passando a desenrolar-se maioritariamente em igrejas, assim como praças, utilizando palcos montados e criados somente para algumas atuações, voltando a ser desmontados quando estas terminavam, apesar de serem temporários não deixavam de ser grandiosos.

Um pouco derivado da situação anterior, vê-se o aparecimento dos teatros elisabetanos, em Inglaterra. Uma iteração inicial onde se procedia à colocação de palcos temporários no centro de edifícios que apresentavam um pátio ou claustro, e apresentavam galerias em torno, o que permitia que a plateia se alocasse ao longo de tais galerias em torno de todo o palco. Com a vontade de voltar a ter espaços dedicados à realização do teatro, aparecem, então, novas edificações que seguem a lógica mencionada da realização de um pátio onde o palco se encontra, com o desenvolvimento de 3 galerias sobrepostas em volta. Apesar de voltarem a ser espaços especializados, continuam a não ser espaços permanentes.



Figura 17 Vista de lado do palco do Teatro Globo de Shakespeare, Londres

A primeira edificação permanente após os romanos, foi projetada por Palladio, estando já inserido numa época em que a arquitetura tentava recuperar os valores clássicos, este teatro segue o mesmo sentido, baseando-se nas escrituras de Vitruvius. Fazendo algumas alterações, como o caso da plateia se desenvolver numa meia elipse, ao invés de um semicírculo, e no facto do palco não se estender para a plateia. Mantém, no entanto, o característico fundo com 3 aberturas, que mais tarde Scamozzi iria desenvolver criando ruas com perspectiva acentuada a partir das aberturas existentes.

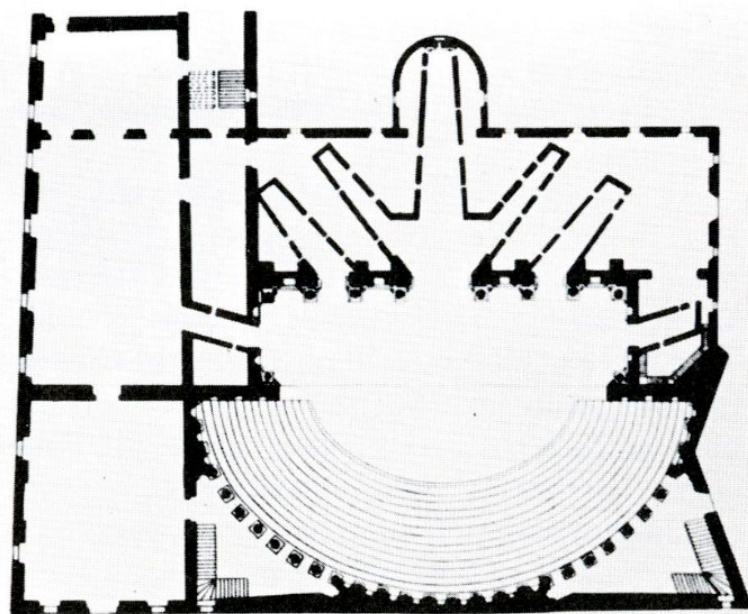


Figura 18 Planta do teatro olímpico, após intervenção de Scamozzi



Figura 19 Vista para o palco do teatro olímpico de Palladio e Scamozzi

É até esta época que a música e o teatro se desenrolavam em localizações muito semelhantes, no entanto, o surgimento destes novos espaços fixos dedicados ao teatro, leva a alguma divergência para a posterioridade. A música continuou a ser desempenhada em igrejas e catedrais, e, ao mesmo tempo, em espaços de escala muito menor, e para uma audiência reduzida, como em pequenos salões e salas, para algumas festas ou famílias (Boulet et al., 1990). A música era, portanto, reproduzida em qualquer espaço que permitisse a coexistência dos músicos e do público ao mesmo tempo, o que foi ocorrendo até ao século XIX.

Como desenvolvimento posterior da ideia de Palladio começam a aparecer salas de teatro em que a plateia se desenvolve em U, é nesta iteração das salas de teatro que se transforma o método de utilizar cenário, começando a utilizar-se planos móveis e não tridimensionais, ao contrário dos construídos anteriormente que faziam parte do edificado. Isto é permitido maioritariamente pelos grandes avanços no conhecimento do desenho em perspectiva, sendo, agora, possível representar desenho mais convincentes de espaços tridimensionais, que seriam também usados para cenário nos teatros. É também introduzida a ideia da criação de um palco que se estende e ganha profundidade, o que facilita a utilização e movimentação da nova forma de cenário, assim como também viria a permitir a introdução de maquinaria posteriormente.

A partir deste modelo surgem algumas variantes que variam só ligeiramente, italiana, francesa e inglesa. A italiana tira partido da altura, recorrendo à sobreposição de galerias e, ao mesmo tempo, tira partido do rés do chão também utilizado para lugares; a francesa, muito semelhante à italiana, mas por vezes prolonga as galerias de plateia para o lado do palco, não se limitando ao seu desenvolvimento exterior à área de palco; e por fim a inglesa que não recorre tanto a galerias, mas cria algumas varandas sobrepostas ao desenvolvimento normal da plateia no em escada do rés do chão, para além disso também aproveita o espaço e o palco avança, de novo, ligeiramente para a plateia. Estes modelos foram-se desenvolvendo, tanto em escala, como também em configuração da plateia, derivando sempre da ideia em U e do desenvolvimento em leque (Breton, 1989).

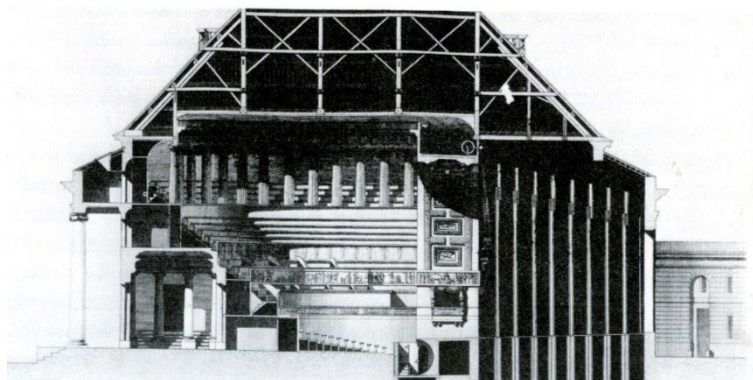


Figura 20 Corte com perspectiva do teatro de Besançon

Com o aparecimento do teatro de Besançon, construído em 1778, ocorre uma inversão da hierarquia de distribuição, dando agora mais importância aos lugares do rés do chão, e, por conseguinte, mais próximos do palco. Também com este teatro se dá a transformação dos diferentes balcões em bancadas, tal como o desenvolvimento encontrado nos teatros clássicos, perdendo de certa forma essa interpretação e tornando-se uma continuação do restante do espaço. Também no final do século XVII começam a surgir algumas salas dedicadas especialmente à música, mesmo que em escala menor do que as de teatro, normalmente pertencentes a escolas ou associações (Boulet et al., 1990).

É, no entanto, só com a ópera de Bayreuth, encomendada por Wagner em 1876 a Bruckwald, que a ideia do teatro clássico volta a aparecer em todo o seu esplendor, perdendo a forma de caixa, volta a aproximar o público do palco, e tenta, com a utilização de um palco que se desenvolve com o mesmo desenho da plateia integrar melhor ambos os elementos em conjunto. sendo que este novo edifício quebrava com as regras do teatro italiano e as suas variantes volta a introduzir uma nova forma de pensar e projetar os teatros.

Uma vez que a ópera é um estilo de representação que conjuga fortemente o teatro e a música, é possível compreender que era comum a existência de música e de orquestras a tocar em conjunto com as representações, apesar de esta não ser o foco. Por outro lado, a música como performance completa continuava a ser apresentada até então em espaços bastante polivalentes, como as grandes salas de bailes e festas.

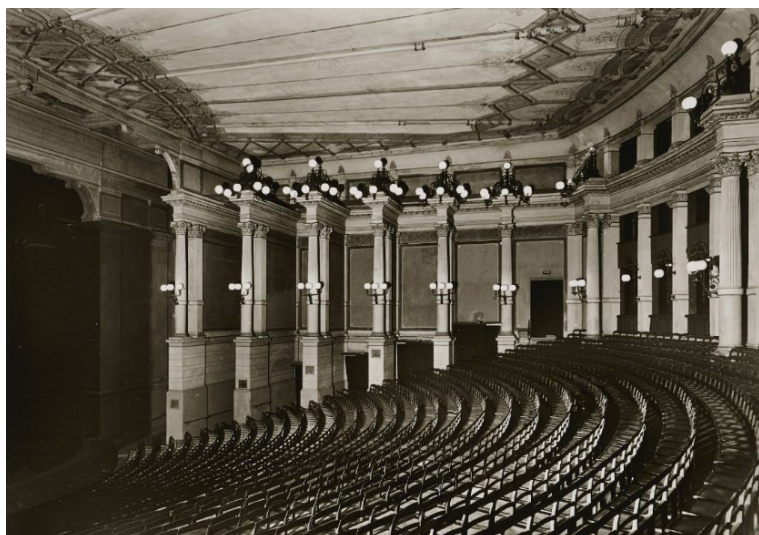


Figura 21 Vista da ópera de Bayreuth

É não só com esta mudança na forma de projetar os teatros, mas também pela alteração da sociedade e das peças teatrais em si, que nos apresentamos perante uma nova série de problemas e de variedades, sendo que os diferentes tipos de representações necessitavam de diferentes tipologias de edificações e de salas. Encontramo-nos então no final do séc. XIX, época em que se encontram uma grande variedade de tipologias, mantendo-se o italiano e o elisabetano, contando com todas as suas iterações, como duas das mais utilizadas até hoje. Ao mesmo tempo, dá-se uma alteração no desenvolvimento da música, semelhante ao que acontecia com o teatro.

É também nesta época que o estilo italiano sofre uma nova atualização, dando origem ao que se viria a referir como tipologia “caixa de sapatos”, sendo adaptado para o crescimento da audiência e aumento do interesse, levando a que salas como as utilizadas para bailes e festas fossem um exemplar ideal pela sua capacidade acústica, fenómeno que e tinha descoberto através dessas atividades. Sendo estas salas de muito maior volume e área, as paredes laterais afastam-se, e cria-se um grande espaço de plateia na zona térrea, diminuindo o impacto que os balcões tinham sobre o espaço, tanto de um ponto de vista acústico, como arquitetónico (Mauvan, 2011). Através de continuada evolução desta tipologia nota-se o aumento da inclinação da plateia do piso térreo e progressiva redução dos balcões, chegando ao que agora se denota como “caixa de sapatos”, como é o exemplo da Sala Suggia da Casa da Música.

Nota-se na música, no entanto, uma maior evolução, uma vez que começamos finalmente a encontrar edificações com o intuito específico de receber performances musicais como ponto focal. Uma vez que a música é uma arte performativa, tal como o teatro, algumas das tipologias utilizadas na construção destas grandes salas novas são provenientes das tipologias dos teatros, como é o caso da sala em semicírculo ou derivadas do teatro italiano, no entanto, aparece um novo tipo de sala até então pouco explorado, podendo ter o teatro elisabetano como um primórdio, a sala central, sendo a Filarmónica de Berlim, construída em 1963, considerada a primeira sala deste tipo (Boulet et al., 1990). Nesta última tipologia o palco é completamente circundado de plateia, não tendo uma direção pré-estabelecida na ordem da sala.

Figura 22 Vista para o palco do auditório da Filarmónica de Berlim



Como foi notado anteriormente, nos dias de hoje há uma grande variedade de tipologias em uso, não só porque as necessidades se alteraram, e existe uma grande demanda de espaços diferentes, como também existe um catálogo de tipos que se foram desenvolvendo ao longo dos tempos, podendo ser maioritariamente definidos pelo grau ou quantidade de palco que é circundada pela plateia (Ham, 1972).

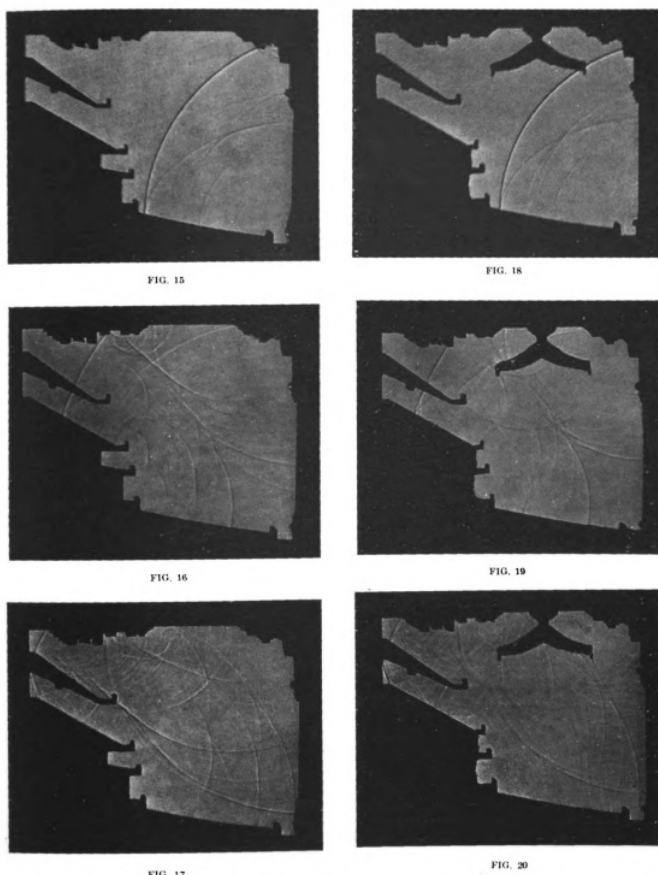
Tendo em conta as tipologias encontradas ao longo da história, é possível reparar na existência de salas com o palco completamente rodeado por plateia, até salas em que o palco não é envolvido em lado nenhum, como é o caso dos teatros italianos. No entanto, como a variedade de construção surgiu maioritariamente no século XX, é só a partir deste ponto que vemos salas com variações mais significativas em relação aos modelos base estabelecidos pela história.

Obtendo assim uma série de tipologia mais utilizadas, tais como, por ordem de área rodeada, a sala central, com o palco totalmente rodeado; a sala tipo teatro grego e romano, em que o palco se lança para a plateia, aproximando ambas as partes; o teatro italiano, em que o palco não é rodeado por plateia nenhuma e toda ela se desenvolve em frente, podendo a plateia ser desenvolvida em galerias ou em bancada; e por último, aparecem algumas salas em que o palco e a plateia se misturam um pouco, sendo que o palco, por vezes, rodeia a plateia.

3.2 - Integração de Análise Acústica no projeto das salas

Apesar de existirem espaços dedicados a espetáculos e música desde a antiguidade clássica, nem sempre a acústica esteve presente no pensamento ao longo do desenho e construção de tais espaços. Começando a ser estudado somente em anos mais recentes, nomeadamente a partir do século XIX.

Como visto no capítulo 1, a acústica é proveniente da forma e materiais utilizados na construção, torna-a de difícil alteração, o que eleva a necessidade de tomar cuidado e atenção quando se pretende projetar uma sala que tem como objetivo alojar performances. Para além de tudo isto, é preciso também ainda ter em atenção o propósito principal para que a sala será usada, uma vez que, tal como mencionado anteriormente, cada tipo de representação e de utilização do espaço apresenta diferentes requerimentos em termos acústicos.



TWO SERIES OF PHOTOGRAPHS OF THE SOUND AND ITS REFLECTIONS IN THE NEW THEATRE—15 TO 17 BEFORE, 18 TO 20 AFTER THE INSTALLATION OF THE CANOPY IN THE CEILING. THE EFFECT OF THE CANOPY IN PROTECTING THE BALCONY, FOYER CHAIRS, BOXES, AND THE ORCHESTRA CHAIRS BACK OF ROW L IS SHOWN BY COMPARING FIGURES 19 AND 20 WITH FIGURES 16 AND 17.

269

Figura 23 Experiências com fotografia de Ondas sonoras na secção de um modelo do New Theatre, New York

Inicialmente, uma vez que não existiam ferramentas que permitiam analisar o som de forma concreta, o ouvido era o principal instrumento pelo qual se analisava acústica, foi deste mesmo modo que Wallace Clement Sabine, começou a sua carreira e a criação da disciplina de arquitetura acústica. No entanto, desenvolveu uma técnica para analisar a acústica de um espaço ainda antes de este estar construído, o que não era normal para a altura. Este método consistia na emissão de uma onda de som lançada através de uma câmara de ar, na qual iria ser visível, pelo meio de fotografia, as diferenças de densidade do ar, e, por conseguinte, a forma como o som se propagaria ao longo de tal espaço. É a partir da ideia presente neste método que se desenvolvem novas formas de realizar o mesmo tipo de análise (Orlowski, 2021).

De forma semelhante, algumas análises eram produzidas em tanques de água. Aqui eram utilizadas seções e plantas colocadas na horizontal num tanque baixo e mergulhada uma peça no ponto da fonte sonora, criando ondas que correspondiam geralmente a uma aproximação do comportamento do som, e, portanto, podiam ser utilizadas como método de análise. Eram tiradas fotografias em sucessão, do mesmo modo que no método anterior por forma a obter a progressão das ondas ao longo do tempo. Era também possível observar o processo quando se olha por baixo do tanque, durante o processo (Rindel, 2002).

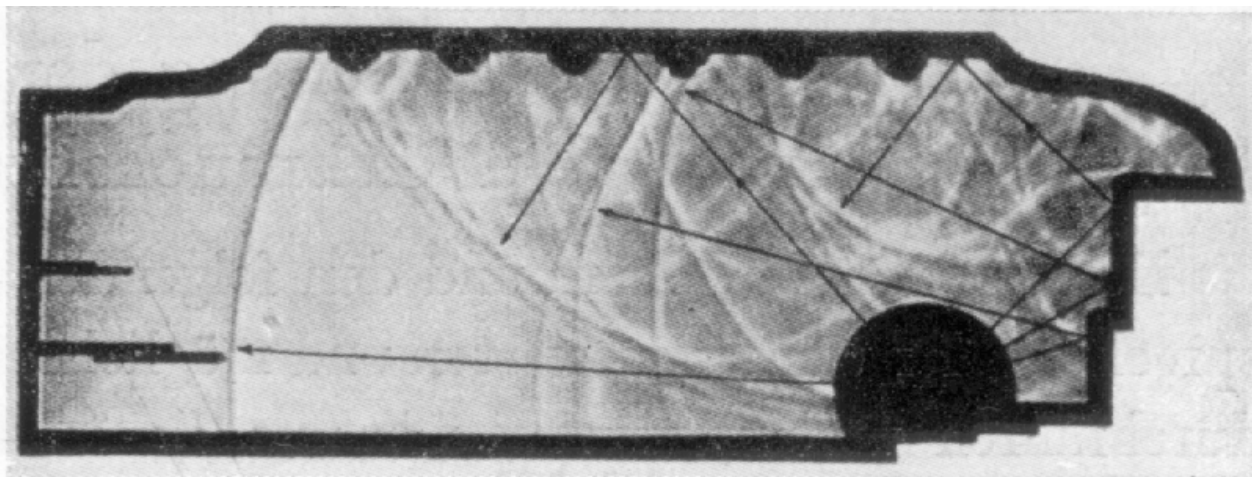


Figura 24 Imagem obtida de uma experimentação em tanque de ondas. Tirada por Schlieren do Gewandhaussaal em Leipzig

Ambos estes métodos eram prevalentes na análise de frequências no registo médio, ou seja, o registo da voz e de grande parte da música. Contudo, a frequências mais altas o som pode ser equiparado a funcionar como raios de luz, abrindo assim também a possibilidade de usar modelos tridimensionais, ao invés das secções e plantas utilizadas anteriormente. Para isso era utilizado um modelo com espelhos nos planos refletores e de uma superfície preta absorvente para os planos não refletores, o que, por conseguinte, permite ver o percurso da luz ao longo do espaço, equivalente ao percurso e reflexões que som tomaria.

É também possível utilizar um modelo de alumínio, sendo que é um material refletor, mas, ao mesmo tempo permite que ao fim de algumas reflexões já tenha absorvido quase toda a luz, sendo possível, então, criar um gradiente da intensidade da luz, utilizando uma lâmpada como equivalente à fonte de som, podendo este ser comparável com a intensidade que o som ainda manteria no espaço.

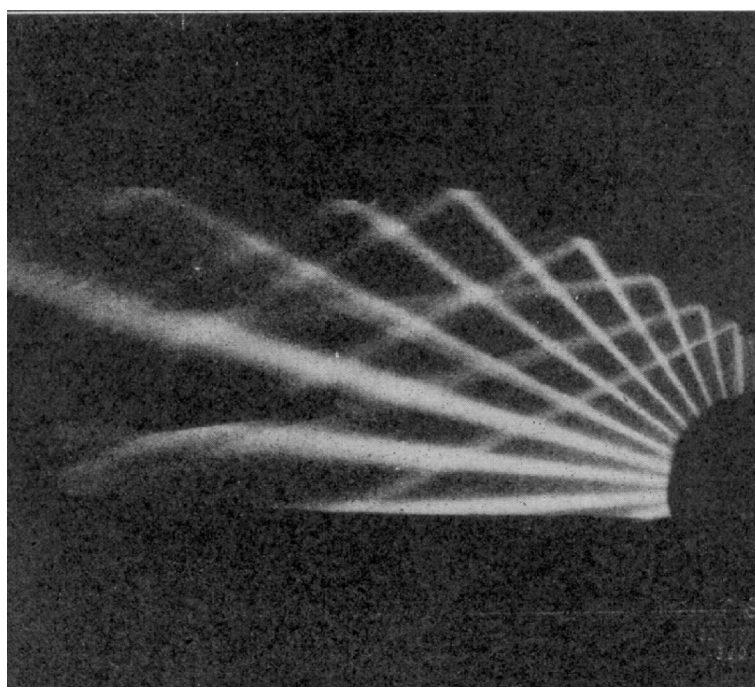


Figura 25 Imagem de experiência com raios de luz num modelo do Okuma Memorial Hall

Utilizando modelos tridimensionais a grande escala, nomeadamente 1:5, foi descoberta, por Friedrich Spandöck, a possibilidade de realizar experiências acústicas fiéis, quando a tecnologia o permitia, que se assemelhavam bastante ao comportamento real de uma sala. Com isto, começamos a deparar-nos com a utilização do som e as suas respetivas ferramentas de medição para a realização das experiências acústicas.

Apesar de ser utilizado o som, existiam algumas complicações, nomeadamente em termos de escala e na sua relação com as propriedades quer dos materiais, quer do ar. Quando se preforma uma análise a uma escala mais reduzida, existe a necessidade de também alterar proporcionalmente a frequência das ondas sonoras utilizadas, no entanto, as características de absorção tanto do ar como dos materiais mantém-se independentemente da escala, criando aqui uma discrepância entre o som e o modelo. Para tentar resolver estes problemas, tentou-se a redução da humidade do ar, reduzindo assim o coeficiente de absorção deste. Já quanto aos materiais, era simplesmente uma questão de efetuar testes para encontrar outro material que apresentasse um coeficiente de absorção para as novas frequências, semelhante ao que o material real teria para as frequências normais (Orlowski, 2021). O desenvolvimento das ferramentas, como os emissores e recetores de som, permitiu que a rapidez e eficácia com que se realizavam estes testes acústicos em modelos tridimensionais fosse aumentando.



Figura 26 Imagem do engenheiro acústico Yasuhisa Toyota, dentro do modelo da Elbphilarmonie.

No início do século XXI, como mencionado anteriormente, tanto a tecnologia de representação tridimensional, como a de análise acústica demonstraram um grande desenvolvimento, permitindo a utilização de ambas em conjunto, com a criação de programas que efetuam análises acústicas com base na geometria e as características acústicas relativas aos materiais utilizados. Este tipo de programas permitiam uma muito maior rapidez na análise acústica de espaços, fazendo-o com uma qualidade e precisão suficiente, o que permite incorporar tais dados durante o processo de projeto. Contudo, há uma questão que era difícil de ter

em conta, o caso da difração, uma vez que os cálculos eram feitos através de processos maioritariamente geométricos, as superfícies complexas utilizadas para criar o efeito de difração, por vezes necessário para evitar ecos, tornava-se mais complicada. Com o passar dos anos, foram sendo desenvolvidos testes que permitem adicionar uma série de características difrativas a superfícies, no entanto o problema persiste. Somente se consegue associar corretamente as características a uma superfície quando se realizam testes para tais superfícies e materiais, sendo, no entanto, possível aproximar e escolher dados relativos a algum destes testes para realizar cálculos relativos a uma outra superfície (Peters & Olesen, 2010).

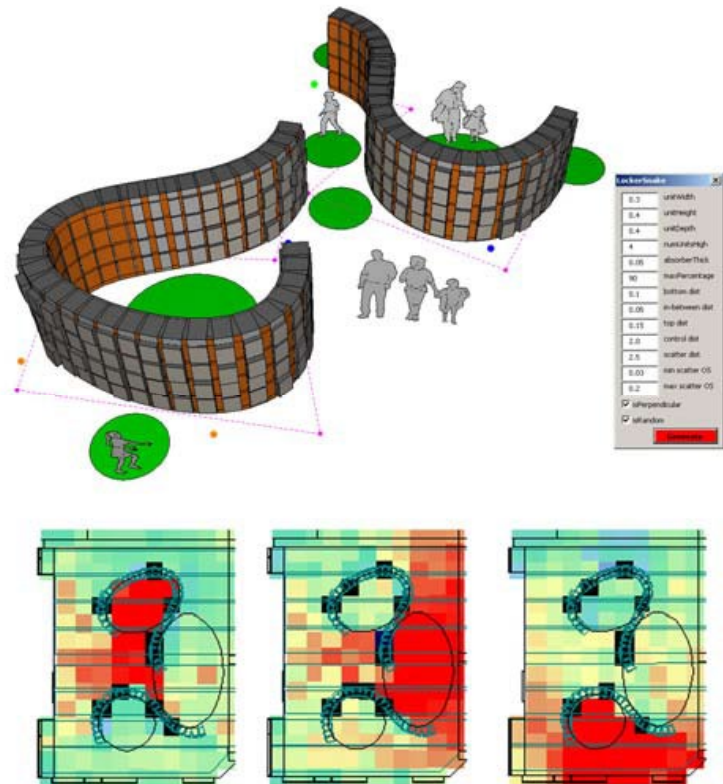


Figura 27 Parede difusora, desenhada através de parametrização.

Portanto, os modelos tridimensionais físicos, mantêm-se relevantes para o design acústico, uma vez que os programas de computador continuam, ainda, a apresentar algumas dificuldades em tratar a difusão do som, principalmente em elementos como os painéis, muito utilizados para revestimento, que apresentam uma grande função tanto absorvente como difusora. Devido a esta dificuldade, muitas vezes em projetos com maior necessidade de uma grande fidelidade acústica continuam a ser utilizadas ambas as técnicas, análise digital inicialmente, e mais tarde no processo a utilização de modelos físicos a grande escala para um melhor aperfeiçoamento.

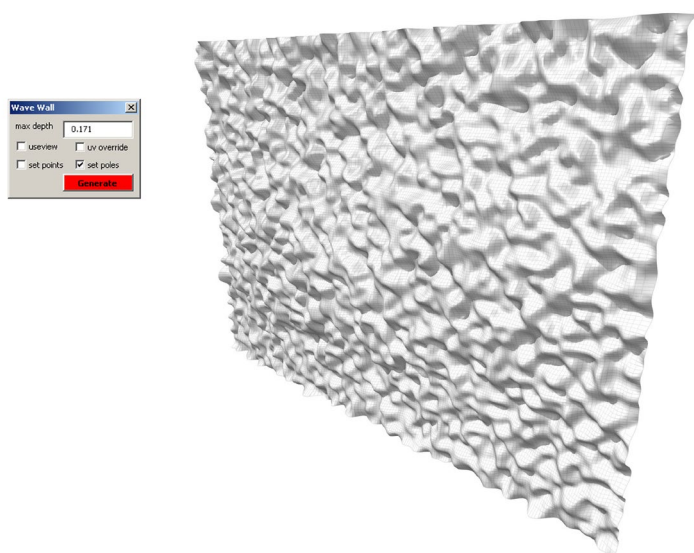


Figura 28 Análises da intensidade sonora de um som no espaço de cacifos da South Harbor School, projetada por JJW Architecture.

A Casa da Música, um grande marco na evolução da cultura musical em Portugal, sendo o primeiro edifício dedicado completamente a música, tendo em conta todos os diferentes géneros, sendo necessário, portanto, uma grande versatilidade na sua acústica. Para isso algumas técnicas foram utilizadas, por exemplo a separação da sala principal do resto do edifício criando o efeito de uma caixa dentro de uma caixa, e praticamente isolando a sala principal do restante. Para além disso, o formato de caixa de sapatos é escolhido, porque, segundo Rem Koolhaas, era a geometria das melhores salas de espetáculos, e, por conseguinte, a que deveria ser também utilizada para esta sala.

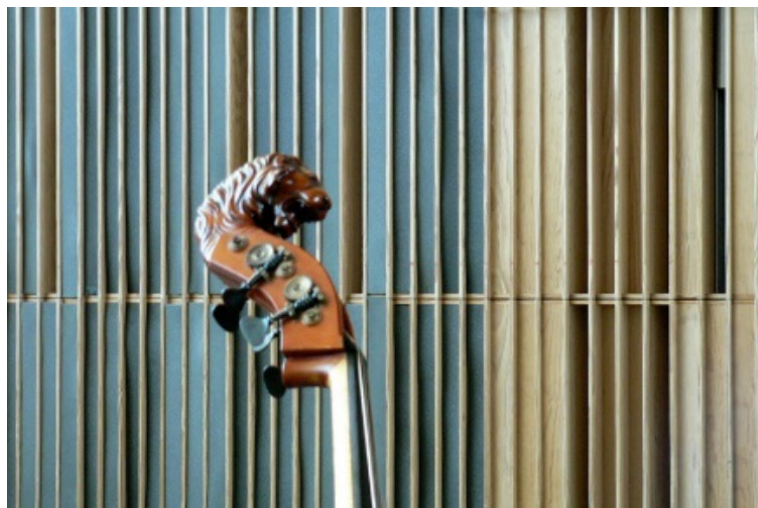


Figura 29(Esquerda) Difusores com o material absorvente incorporado

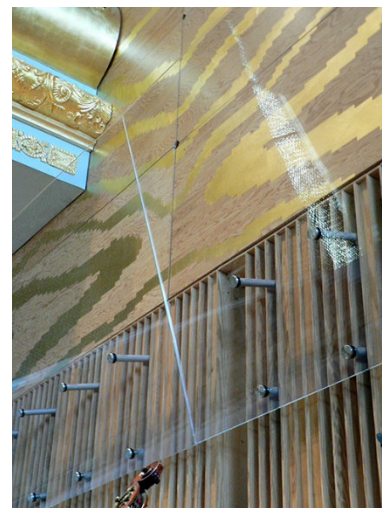
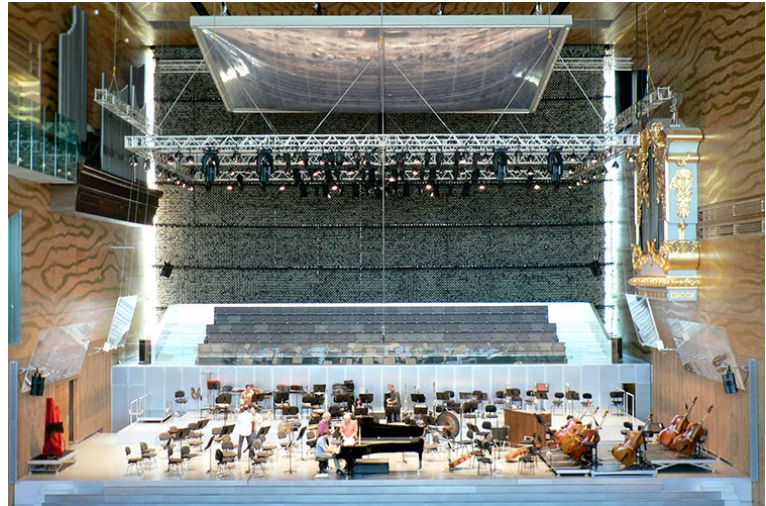


Figura 30 (Direita) Painéis refletores adicionados nas laterais do palco

Contudo, são feitas algumas alterações que iriam alterar imediatamente o comportamento de tais salas, como é o caso das duas grandes paredes de vidro, presente em cada fundo da sala. Para combater o grande grau refletivo, e por contrário, o reduzido coeficiente de absorção do material, estas paredes são desenhadas em onda, alterando a direção da reflexão das ondas, criando assim, uma parede ligeiramente mais

difusa, ao mesmo tempo, para resolver uma parte do problema de absorção são utilizadas cortinas, projetadas também para promover um grande grau de absorção. Estas alterações criam uma sala que para o espectador é bastante boa, no entanto, não suficientemente boa para os músicos no palco, pelo que foi necessária uma intervenção acústica, realizada pelo grupo Kahle Acoustics, que introduziu alguns elementos refletores e alguma esponja para absorção em volta do palco para reduzir a diferença entre o som direto e o som refletido.

Figura 31 Vista completa do palco após as intervenções acústicas, incluindo os painéis refletores, alteração da cortina e da posição da superfície refletora por cima



Ambos os métodos de projeto acústico foram aplicados no processo de projeto da Elbphilharmonie em Hamburgo, projetada por Jacques Herzog e Pierre de Meuron. Neste projeto foram então aplicadas tanto técnicas de análise digital, com modelos digitais, como de análise analógica, em maquetes de grande escala, onde era inclusive, possível entrar com a cabeça. Também neste edifício temos presente a separação entre o auditório principal e o resto do edifício, do mesmo modo que acontece na Casa da Música. Para além disso, foram estudados os painéis difusores a utilizar em grande detalhe, utilizando uma descrição paramétrica que ia sendo alterada conforme as novas análises e descobertas realizadas ao longo do tempo obtendo assim, uma interação direta entre a geometria da sala e o seu comportamento acústico.

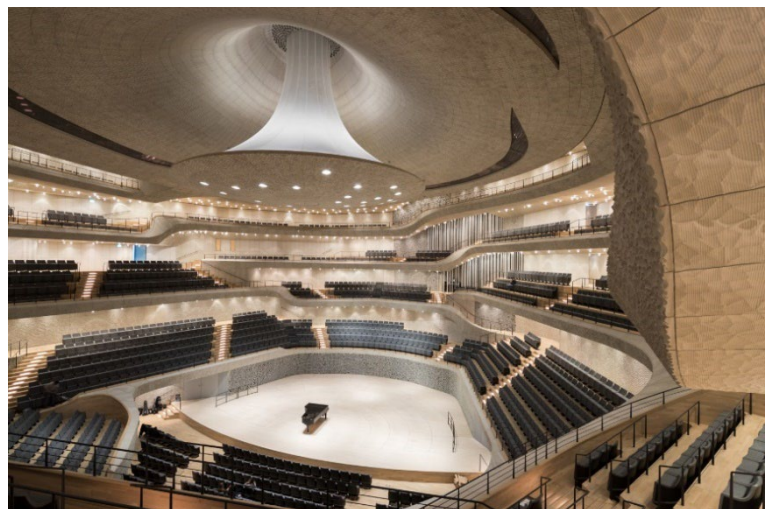


Figura 32 Vista do Auditório da Elbphilharmonie, Hamburgo

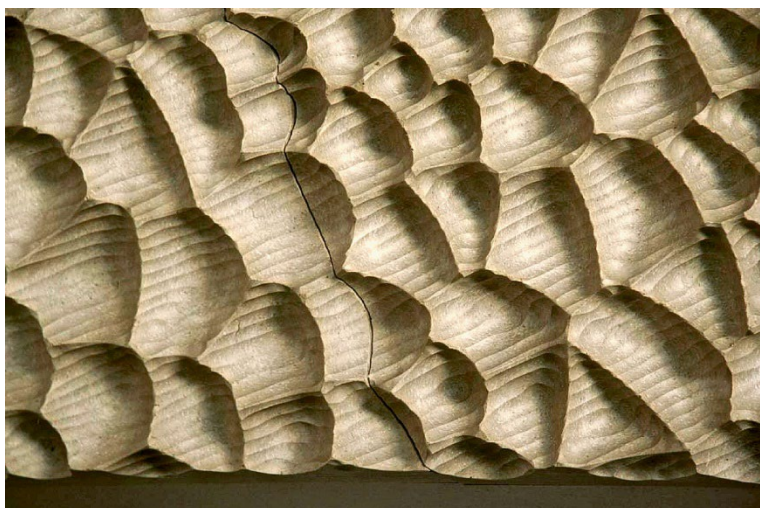


Figura 33 Painéis difusores criados parametricamente, especificamente para a Elbphilarmonie

Parte 2

Capítulo IV - Experimentação de Análise de Formas

Devido à grande variedade de tipologias que foram surgindo ao longo dos tempos, como notado anteriormente, as salas de espetáculos atuais demonstram também esse variado leque de possibilidades, no entanto, é possível compreender que tendo características formais diferentes, também as características acústicas o serão, e, ainda, também a sua utilização preferencial.

Como demonstrado nos capítulos anteriores, o comportamento acústico de uma sala está diretamente relacionado tanto com a forma da sala ou edifício, assim como com os materiais utilizados ao longo da mesma, e também mesmo de todos elementos adicionais que se encontrem dentro do espaço. De entre as características da sala que afetam o som, o tamanho é uma das principais. Sendo esta uma das características normalmente definidas desde o início do processo, influenciando maioritariamente a capacidade, ao mesmo tempo, em conjunto com a área e volumetria disponíveis, pode influenciar a tipologia a ser utilizada. De qualquer forma, geralmente quanto maior for a sala, mais difícil é de controlar a sua acústica, uma vez que o som tem uma velocidade de propagação não muito alta, e o ar um coeficiente de absorção considerável, levando a que o som perca bastante intensidade ao longo do seu percurso.

Tal como o tamanho, também a tipologia influencia de forma bastante relevante a acústica, principalmente quando se compara uma sala central com uma sala italiana, sendo que para representações teatrais, a italiana permite que a voz seja direcionada numa única direção, de forma equivalente para todos os ouvintes. Já na sala central isso não aconteceria, uma vez que o som tem muito menor intensidade quando escutado do sentido contrário à direção da fonte. Por outro lado, a sala central permite uma melhor homogeneidade para um maior número de ouvintes, quando comparada com uma de outro tipo com o mesmo número de lugares, para fins associados a uma atuação musical, visto a distância entre músico e ouvinte ser menor (Ham, 1972).

De tal modo, pretende-se utilizar uma série de auditórios que apresentem tais diferenças formais e analisá-los de um ponto de vista acústico, realizado através de modelos tridimensionais virtuais dos mesmos, realizados pelo autor, por forma a desenvolver uma comparação entre todos. Para este efeito serão, então, consideradas salas preferencialmente edificadas em Portugal, com um número equivalente de lugares e volume. Exemplos como a Casa da Música, representando a tipologia de caixa de sapatos, o Teatro S. João, demonstrando a tipologia do teatro italiano, e a Aula Magna, baseada no teatro clássico. As medições e análises dos parâmetros acústicos serão analisadas em três posições da plateia, uma próxima do palco, mais próxima de um dos extremos laterais, uma segunda numa posição central, e uma outra, posicionada no fundo

da sala, no lado contrário à posição inicial da frente da sala. Estas posições serão demonstradas visualmente para cada exemplo, por forma a permitir melhor compreensão.

Por forma a compreender a influência de certas características da sala no desempenho acústico da mesma serão realizadas uma série de experiências, sendo algumas gerais, e, como tal, efetuadas em cada uma das salas analisadas da mesma forma, assim como algumas específicas a cada um dos auditórios, de acordo com algumas das características formais, não só associadas a cada uma das tipologias, como também a características específicas de cada um dos espaços. Entre as experiências gerais, é principalmente marcante a alteração do revestimento das cadeiras, alternando entre a madeira e o têxtil, sendo estes os mais utilizados em grande parte das salas de espetáculo, com ênfase nos de têxtil.

As experiências realizadas sobre estes exemplos, para além de fornecerem uma noção geral sobre as diferentes tipologias e os seus comportamentos acústicos específicos, possibilitam uma compreensão de alguns dos fenómenos que possam ser estudados mais à frente quando se

Para cada análise realizada uma série de parâmetros serão tidos em conta, nomeadamente o tempo de reverberação (RT), o Tempo de Decaimento Inicial (EDT), a clareza (C80) e a definição (D50).

O tempo de reverberação de uma sala é uma das características que normalmente se tem mais em conta quando se efetua a análise acústica de um espaço, representando este o tempo que o som demora a dissipar do espaço. De acordo com o “India Standard – Code of practice for Acoustical Design of auditoriums and conference halls” (IS 2526-1963), documento ainda considerado como relevante para essa temática, apresenta uma tabela que permite compreender quais os tempos de reverberação a considerar como ideais para cada tipo de sala e utilização, de tal modo, será também utilizado na análise dos auditórios dos edifícios considerados.

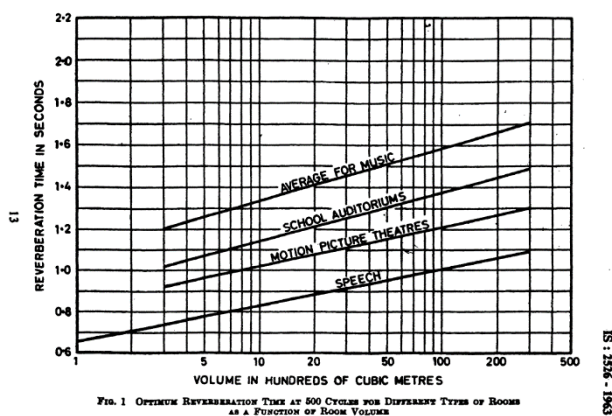


Figura 34 Gráfico de relação entre Volume da sala e tempo de reverberação para cada tipo de uso

Para além do estudo do tempo de reverberação será também efetuado o estudo de duas outras características mencionadas no primeiro capítulo, como é o caso da clareza e do tempo inicial de atraso, obtendo assim algumas características que permitem perceber o comportamento geral de uma sala.

O EDT, permite-nos compreender a velocidade com que o som reduz de intensidade, um pouco como o tempo de reverberação, no entanto, para um período do som mais inicial, sendo depois extrapolado da mesma forma para o resultado associado a 60dB. Este parâmetro demonstra o comportamento da sala nos

momentos iniciais do som, devendo ser tido em conta ao mesmo tempo que o tempo de reverberação, e podendo ser diretamente comparado, e analisado. Para uma ideal distribuição do som o tempo de reverberação e o tempo inicial de decaimento devem ser o mais próximo possíveis, garantindo assim que o som diminua de intensidade de forma linear, mantendo sempre características semelhantes e equilibradas.

No caso da clareza e definição, que demonstram a diferença do som entre os primeiros momentos de impacto, com os momentos posteriores, a melhor compreensão do som é tanto melhor quanto maior for a diferença entre o som inicial e o som reverberante, sendo importante que a maior percentagem de som esteja presente nos momentos iniciais. Maior clareza é especialmente importante para a fala, por forma a facilitar o entendimento e a dicção, quanto menor o grau de clareza menos indicado é um espaço unicamente utilizado para fala, podendo contrariamente ser melhor para música e som que tira vantagem de tal reverberação tardia. A clareza demonstra a diferença de intensidade em dB e a definição em percentagem. Normalmente para a fala são considerados os valores associados às medições feitas em 50ms e para a música o mais ideal são as associadas ao 80ms, uma vez que a fala é mais importante nos momentos iniciais, enquanto para a música somente é necessário manter alguma clareza.

Para cada um dos parâmetros mencionados as análises serão realizadas tendo em conta a frequência, dividida em oitavas, nomenclatura musical para o intervalo entre duas notas com o dobro ou metade da frequência uma da outra, e, ao mesmo tempo, também utilizada como definição de todas as frequências que se encontram ao longo desse intervalo, sendo esta última a definição em uso ao longo deste trabalho. A análise do espaço é realizada com base nestas diferentes bandas de frequências, visto que tanto os materiais como a forma do espaço têm diferentes reações perante as diferentes frequências, como mencionado em capítulos anteriores. Tanto a música como a fala desenvolvem-se maioritariamente entre as oitavas 3 e 6, estando essas sensivelmente no centro da distribuição das frequências analisadas. De tal modo, para este trabalho será tida em conta uma média dos valores obtidos, indo de encontro aos valores encontrados nas oitavas centrais, criando assim uma direção bastante direta com as utilizações e atividade executadas nas respetivas salas.

Os modelos são realizados no programa Rhinoceros², com integração de um programa adicional em conjunto, Grasshopper³. Este segundo programa permite a integração de variados sistemas incluindo os associados à parametrização, assim como os analíticos, como é o caso de térmicos, solares, e, ainda, o mais relevante para este trabalho, acústicos. A extensão de análise acústica utilizada neste trabalho, integrada no Grasshopper, tem o nome de Pachyderm⁴, sendo essa extensão que realiza todos os cálculos acústicos a serem efetuados. Com acesso a estes dois programas em conjunto é possível criar e desenvolver a maquete

² Software de modelação tridimensional, desenvolvido pela empresa *Robert McNeel & Associates*, utilizado por vários escritórios de arquitetura.

³ Software de programação visual integrado no programa Rhinoceros. O seu uso primário é a criação de elementos gerados por algoritmos, permitindo assim a introdução de elementos paramétricos.

⁴ Software de “open source” distribuído através do website <https://www.food4rhino.com>. O código base está também disponível, podendo ser acedido através de <https://github.com/PachydermAcoustic>. Para este trabalho foi utilizada a versão 2.0RC26.

digital, assim como recorrer aos sistemas analíticos aí disponíveis, podendo executar desse modo os cálculos necessários para a obtenção dos parâmetros associados ao comportamento acústico dos espaços.

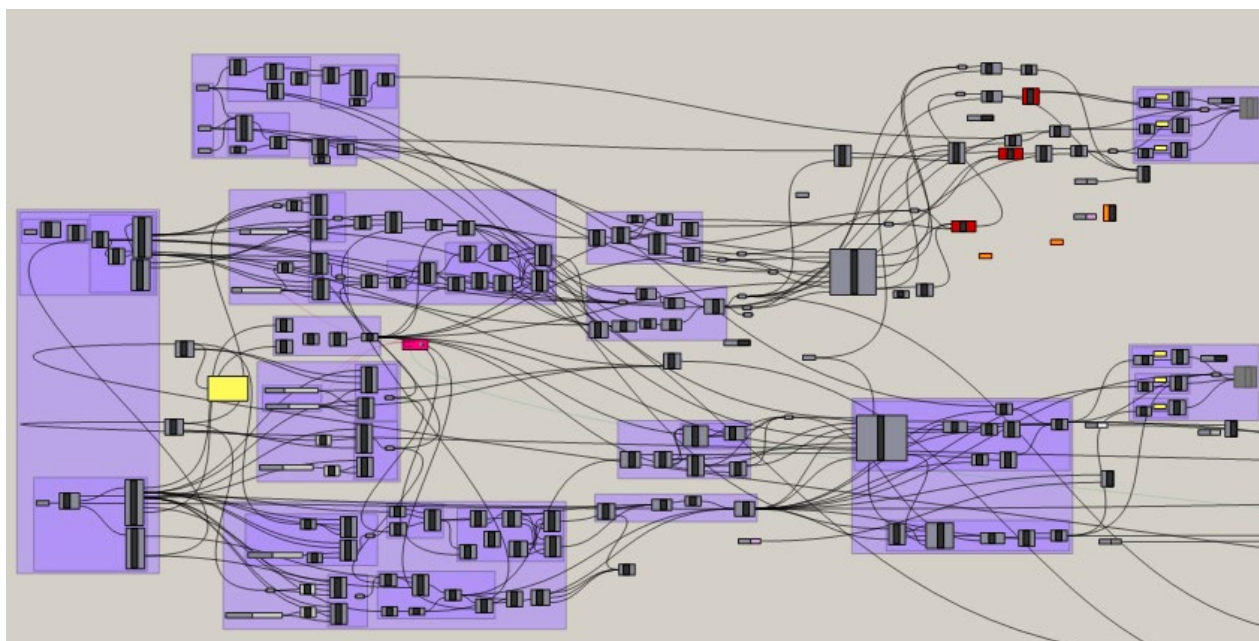


Figura 35 Sistema de Parametrização utilizado para a criação dos espaços em análise posterior desenvolvido no programa Grasshopper integrado na aplicação Rhinoceros.

4.1 - Aula Magna

A Aula Magna, auditório principal da Universidade de Lisboa, encontrado no edifício principal da reitoria desta universidade. Este edifício foi projetado ao longo de um período de tempo alargado, tendo participação de duas gerações diferentes de arquitetos no seu desenvolvimento. O projeto foi iniciado pelo arquiteto Porfírio Pardal Monteiro, em 1952 e sendo entregue uma primeira versão do projeto em 1956. No entanto, por motivos de doença e falecimento do arquiteto o projeto foi transferido para supervisão do seu sobrinho, António Pardal Monteiro, oficialmente em 1958. Apesar do projeto estar já entregue e pronto a ser executado o mesmo não aconteceu, por intervenção do reitor na altura, que precisamente perante a dimensão do auditório principal, a Aula Magna, pediu para se executar um aumento de dimensão do que até então era uma sala com apenas 800 lugares.

Apesar de também uma mudança de reitor durante esse processo, a intenção do novo reitor manteve-se alinhada com a do anterior, querendo também um auditório com maior capacidade que o inicial, assim como também uma série de novas salas destinadas ao próprio e seus assistentes. Perante estes pedidos o edifício tomara agora uma volumetria um pouco diferente, mantendo, contudo, os ideais iniciais⁵ e a fachada, elemento principal da praça onde se encontra edificado.

O projeto para o novo auditório, agora com um total de 1547 lugares e o maior a ser construído na época, foi coordenado pelo arquiteto, assim como pelo designer apontado pelo mesmo, Daciano Costa, e ainda, especificamente para o auditório o engenheiro especialista em acústica, Manuel Bivar. Todos os acabamentos e materiais foram então decididos pelos três em conjunto, de acordo com testes de tempo de reverberação, tendo o teto como um dos elementos principais que permitiria “uma orientação conveniente dos raios sonoros para as últimas filas do auditório” (Pardal Monteiro & Pardal Monteiro, 2013).



Figura 36 Vista do palco para a plateia da Aula Magna, no edifício principal da Reitoria da Universidade de Lisboa

⁵ Dentro dos ideais relevantes para o projeto, manter “uma ideia de espírito clássico” era um dos principais, o que ajuda a reforçar e a enquadrar o auditório em questão como um de tipologia clássica.

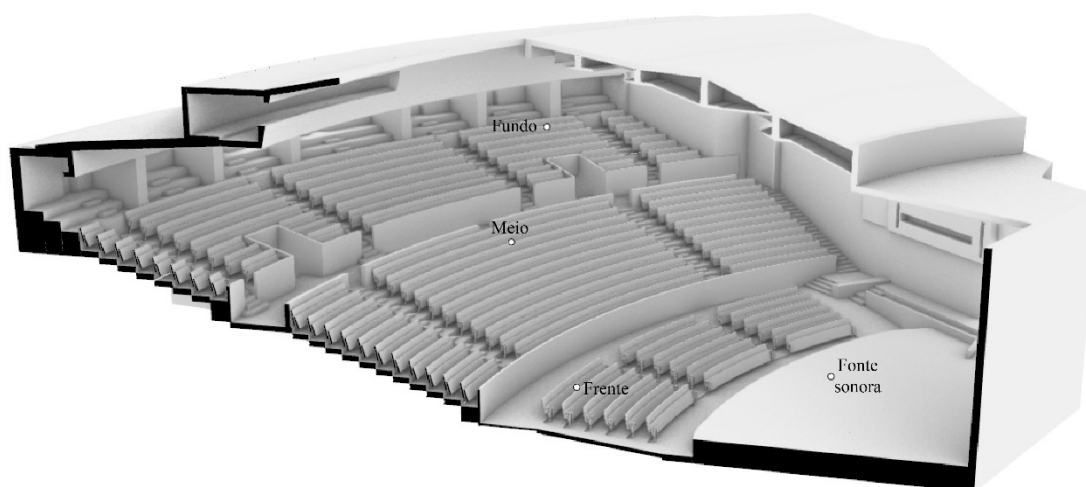


Figura 37 Vista do modelo tridimensional digital, realizado pelo autor, com a posição da fonte sonora e receptores utilizados para análises.

Resultados das análises realizadas para a Aula Magna

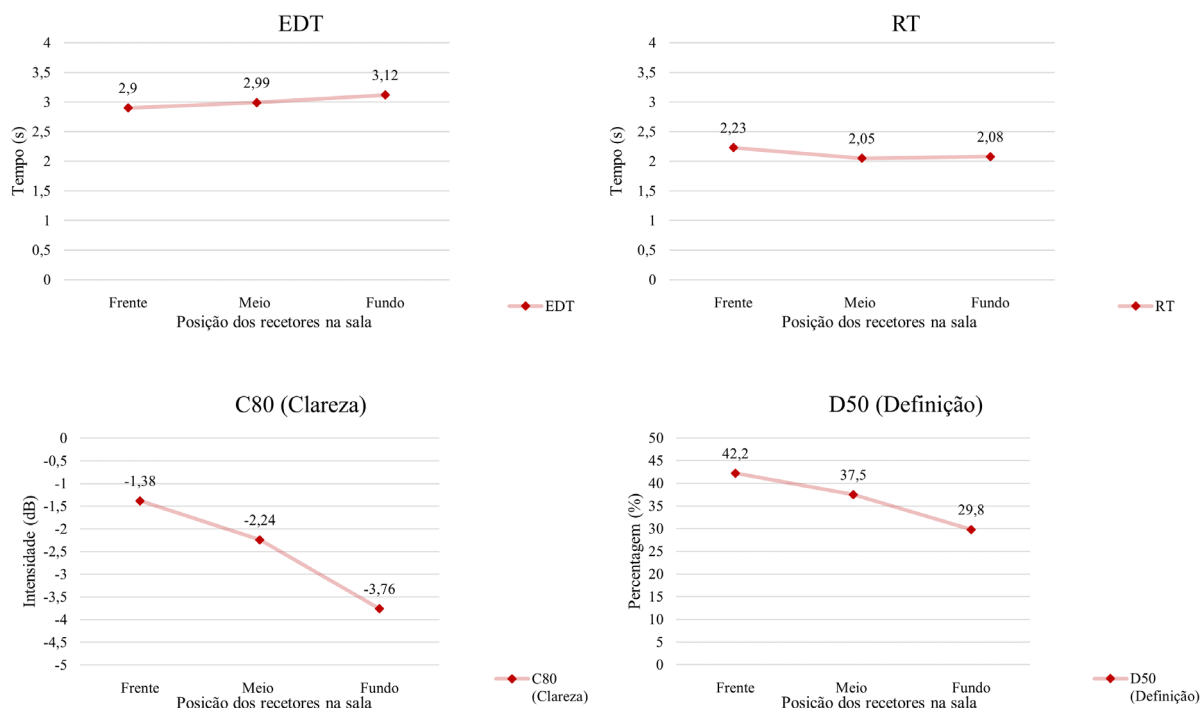


Gráfico 1

A Aula Magna está destinada a ser, maioritariamente, dedicada a conferências e aulas, sendo a fala o mais importante a ter em conta na análise do comportamento acústico do espaço. Portanto, pretende-se obter um RT e EDT baixos, assim como um alto nível de clareza e definição.

Para um auditório desta dimensão e com objetivo semelhante a este, o RT ideal seria o mais baixo possível, o que, tendo em conta ser uma sala, que pode ser considerada de grande dimensão, equivaleria a um RT perto de 1 segundo, e comportamento do EDT semelhante ou ainda menor. De acordo com os dados obtidos esse não é o caso, ao longo de toda a sala deparamo-nos com um RT de cerca de 1.8s e na frente da sala superior a 2s.

O alto RT é acompanhado de um ainda mais alto EDT, sendo este mais do dobro, levando à diminuição da clareza e definição, proveniente da demora na perda de intensidade do som. Este comportamento aumenta a intensidade do som em momentos mais tardios do som, sendo a base da deterioração da clareza e definição.

A clareza e definição apresentam valores um pouco baixos, mas ainda aceitáveis, notando-se uma geral diminuição em direção ao fundo da sala. A diminuição encontrada é bastante linear, comportamento que é o expectável para qualquer espaço, tendo em conta que o som é progressivamente absorvido, tanto pelo ar como pelos materiais, quanto mais longe da fonte sonora este viaja. Esta diminuição progressiva demonstra equilíbrio no espaço, qualidade que permite que os utilizadores tenham uma experiência semelhante ao longo de toda a sala.

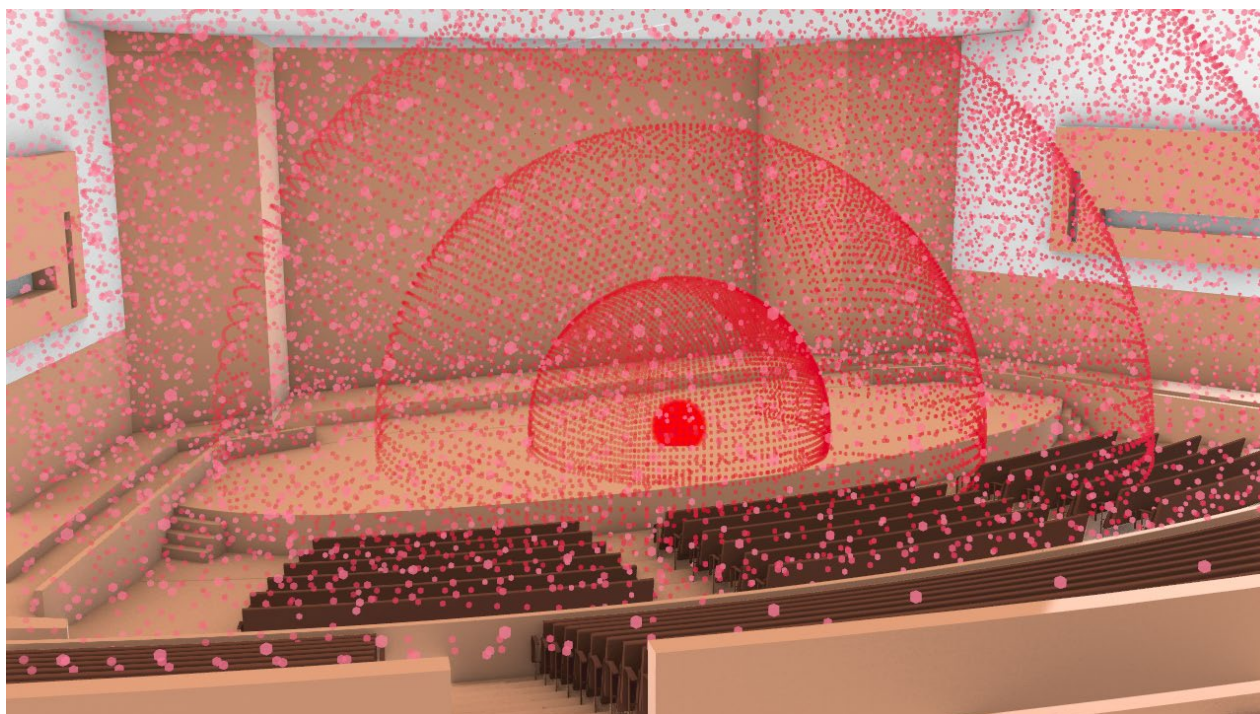


Figura 38 Vista do fundo da sala para o palco do modelo tridimensional do Teatro São João realizado pelo autor com simulação da propagação sonora, utilizada para realização das análises acústicas.

4.1.1 - Tipo de cadeiras

A primeira experiência a ser realizada para cada um dos espaços será uma alteração do tipo e material de cadeiras utilizadas. É possível notar que a maior parte das salas de espetáculos estão equipadas com cadeiras revestidas com têxtil. Apesar da escolha deste tipo de material estar maioritariamente associada ao conforto que tal material promove aos utilizadores do espaço, também é um dos grandes fatores que diretamente afetam o comportamento da sala, maioritariamente quando considerada sem qualquer pessoa no seu interior. Como a maior parte dos têxteis são mais absorventes que a madeira, a utilização do têxtil leva a que o som seja, naturalmente, absorvido mais rapidamente, levando a uma diminuição do EDT e RT. É, portanto, expectável que a alteração do têxtil para a madeira provoque uma redução geral da qualidade acústica, pela criação de um espaço com menor absorção sonora.

Resultados das análises realizadas para a Aula Magna com alteração do revestimento das cadeiras

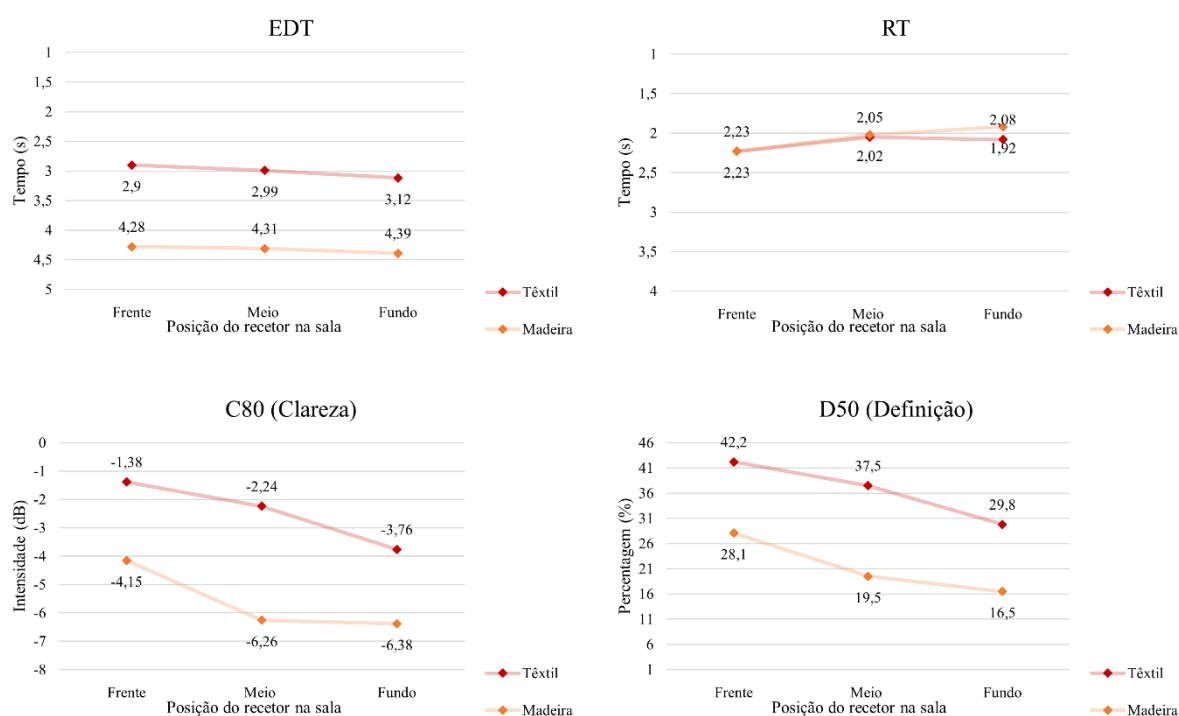


Gráfico 2

De acordo com os resultados obtidos, é possível notar que, tal como previsto, há uma geral diminuição na clareza e definição ao longo de todo espaço, proveniente do aumento do EDT, características que se interligam bastante, uma vez que ambas estão associadas ao comportamento do som nos momentos iniciais. Contrariamente ao expectado, a diferença do RT é pouca e praticamente insignificante demonstrando que a medição do RT, característica notoriamente considerada como a mais importante para a qualidade acústica

do espaço, não deve ser tida em conta isoladamente, podendo, tal como neste caso, não demonstrar o comportamento completo do som ao longo do tempo.

Neste caso, apesar do RT se manter praticamente igual, ocorreu uma alteração significativa em relação aos outros parâmetros analisados, tornando a sala pior quando se recorre à utilização de cadeiras de madeira, uma vez que tal como previsto, pelo menos nos momentos iniciais, o som se manteve mais forte e, não tendo sido absorvido tão rapidamente causou a deterioração da compreensão sonora.

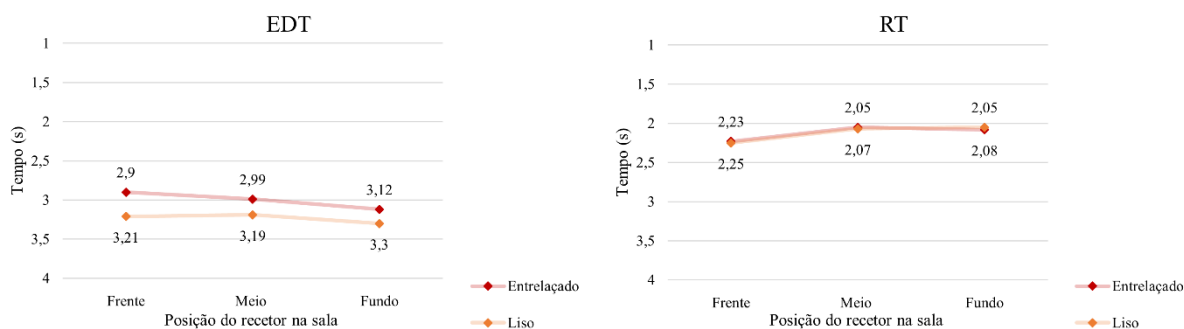
4.1.2 - Desenho do teto

Segundo os arquitetos o teto foi desenhado por forma a obter um melhor comportamento para o fundo da sala e promover a extensão do som até este ponto, fornecendo uma melhor experiência para os ouvintes que se encontrem nesta zona da sala.

Uma vez que o desenho do teto foi elaborado conjuntamente pelo engenheiro acústico e os arquitetos com o intuito de criar um espaço com a melhor acústica possível, parece oportuno, dada a facilidade de alteração de geometrias e de realização de análises proporcionada pelos programas utilizados, efetuar algumas experiências com geometrias diferentes. A simplificação do teto existente com uma geometria entrelaçada para o teto liso é a opção que mais chamativa para a realização de uma experiência desta natureza, permitindo comparar as diferenças entre o comportamento do que poderia ser uma geometria inicial antes da intervenção dos arquitetos e engenheiros.

Tendo em conta as análises efetuadas sobre a qualidade acústica da sala, apresenta uma diferença não muito grande, sendo que demonstra na zona central, um deterioramento muito significativo em relação ao resto do espaço, levando também à criação de um espaço desequilibrado, que de forma geral não se comporta de forma equivalente ao longo de todo o seu volume. Esta característica pode, por vezes, demonstrar-se pior para o utilizador do que um mau comportamento acústico geral da sala. A verificação de desequilíbrios como este, leva a que seja difícil prever o comportamento da sala em relação às performances realizadas, podendo levar a uma experiência menos agradável para os ouvintes.

Resultados das análises realizadas para a Aula Magna com alteração no desenho do teto



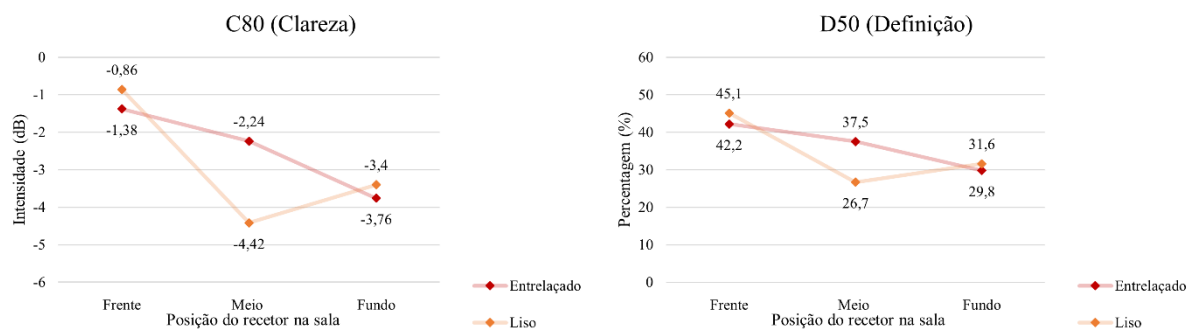


Gráfico 3

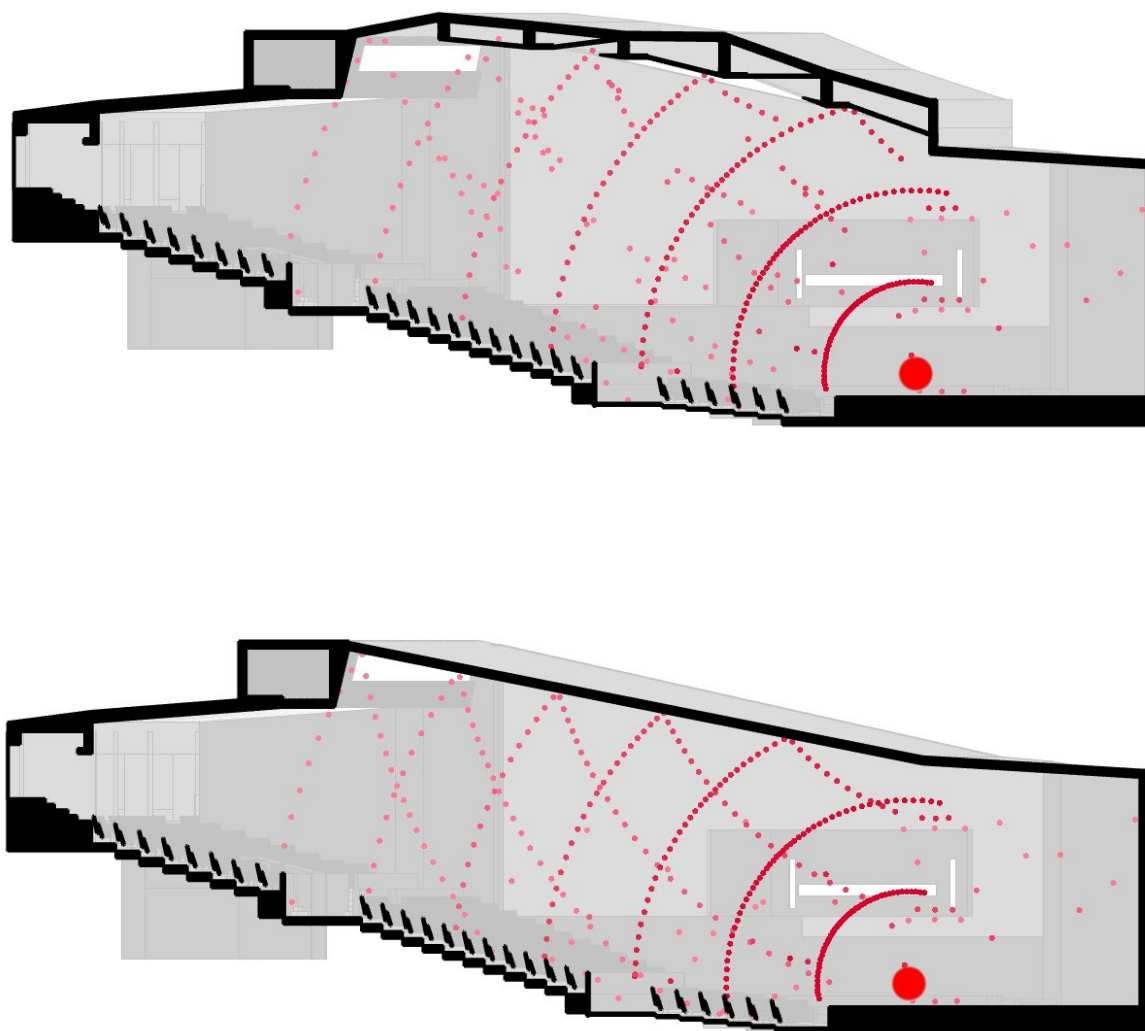


Figura 39 Vistas em Corte das simulações da propagação do som na Aula Magna, com alteração do desenho do teto.

A simulação da propagação do som permite perceber que existe algum nível de difração causada pelo teto desenhado pelos arquitetos do projeto, enquanto no teto liso da experiência, a onda sonora mantém a sua forma, este comportamento é, por vezes, causa de tais desequilíbrios encontrados na análise realizada sobre os espaços.

No entanto, no espaço restante da sala, o comportamento relacionado ao teto liso, demonstra uma ligeira melhoria geral, em relação às análises realizadas. Apesar de se notar um aumento do EDT, este acaba por não ter efeito na clareza e definição, que se mostram ainda melhores que o teto desenhado pelos arquitetos.

Tudo isto leva a crer que os estudos foram realizados somente sobre um corte longitudinal realizado passando na zona central, tal como eram realizadas as experiências de luz e água previamente, na época em que o estudo acústico começou a ser considerado como uma ferramenta para o desenvolvimento de projeto, de acordo com o descrito no capítulo anterior.

4.1.3 - Revestimento do pavimento

De acordo com as imagens encontradas é possível reparar na diferença do revestimento encontrado no palco, sendo este de madeira nas fotografias mais recentes, enquanto nas imagens mais antigas nos departamentos com um palco revestido a carpete, material utilizado também no revestimento do resto da sala até aos dias de hoje. Deste modo, é possível perceber que o pavimento é de madeira, com um revestimento de carpete por cima. Devido a esta observação, surgiu a tentativa de compreender a diferença entre ambos os revestimentos, procedendo assim à experimentação e análise da sala com os diferentes revestimentos. Tal como acontece no caso das cadeiras, o facto da carpete pertencer à família dos têxteis, demonstra um maior coeficiente de absorção do que a madeira, sendo, portanto, expectável que se encontre um comportamento semelhante, em que o EDT e RT são mais elevados, ao mesmo tempo que a clareza e definição piores, no caso da madeira. No entanto é compreensível que esta alteração não terá tanto impacto no comportamento e características acústicas gerais da sala, uma vez que grande parte da área de chão está coberta por cadeiras levando à obstrução do percurso que as ondas de som percorreriam para atingir o pavimento.

Resultados das análises realizadas para a Aula Magna com alteração no revestimento do pavimento

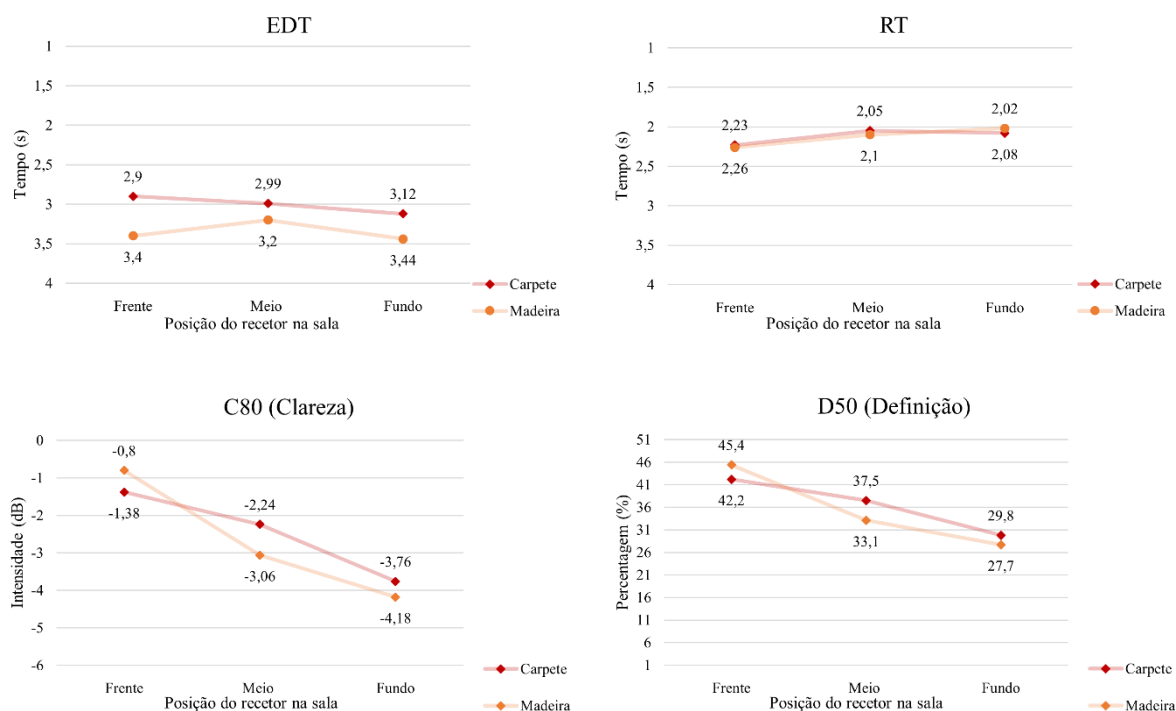


Gráfico 4

Segundo os dados obtidos após a realização das análises, é possível perceber, tal como previsto, a existência de alguma variação, e, ao mesmo tempo, de acordo com o esperado, uma variação pouco significativa, assim como também não idêntica ao longo de todo o volume. Apesar da variação encontrada ser pouca, nota-se a carpete como o melhor material em termos acústicos para uma manutenção da clareza e definição.

Esta experiência, demonstra, no entanto, um melhor comportamento na frente da sala em termos de clareza e definição, para a medida, enquanto para o fundo da sala piora. Uma vez que o pavimento de madeira é mais refletor e o teto está desenhado por forma a permitir o encaminhamento deste para a zona mais longínqua do palco, dá-se a reflexão do som para tais zonas, levando, ao mesmo tempo, o melhor comportamento na frente da sala assim como o deterioramento do restante do espaço, para onde o som foi encaminhado.

Mais uma vez o facto do RT apresentar valores praticamente iguais apesar de se notarem alterações claras em todos os restantes parâmetros em análise, continua a promover a ideia de que esse parâmetro não dever ser o único a ter em atenção quando se realizam testes e análises acústicas de um espaço.

4.2 - Sala Suggia

A Casa da Música foi um dos maiores ícones arquitetónicos construídos em Portugal, tanto é que proporcionou todo um desenvolvimento urbano em seu redor. Desta forma tornou-se num grande marco tanto cultural, social, assim como arquitetónico e até mesmo acústico de auditórios e espaços de espetáculo em Portugal. O escritório OMA considera a tipologia caixa de sapato, como a melhor para o efeito de salas de espetáculo, mencionando que é a utilizada nas melhores salas do mundo, portanto, não há dúvida que seria essa a tipologia a ser posta em prática aqui. Apesar de considerar esta sala conforme os modelos da tipologia, havia a intenção de introduzir alguns elementos originais na mesma, portanto, a sala surge da criação de um vazio de um lado ao outro do edifício, dando assim espaço para o aparecimento da sala, podendo ser fechada por duas grandes paredes de vidro em cada topo.

Tal como acontece em muitas das salas de espetáculos recentemente construídas, a sala funciona como um volume dentro do volume maior que é o edifício completo, ganhando assim uma caixa de ar habitável, que permite criar algum distanciamento, e, por conseguinte, uma camada de isolamento sonoro para com o exterior. Tem capacidade para 1238 ouvintes na plateia, palco para 110 músicos e espaço para um coro oposto à plateia com 148 lugares.

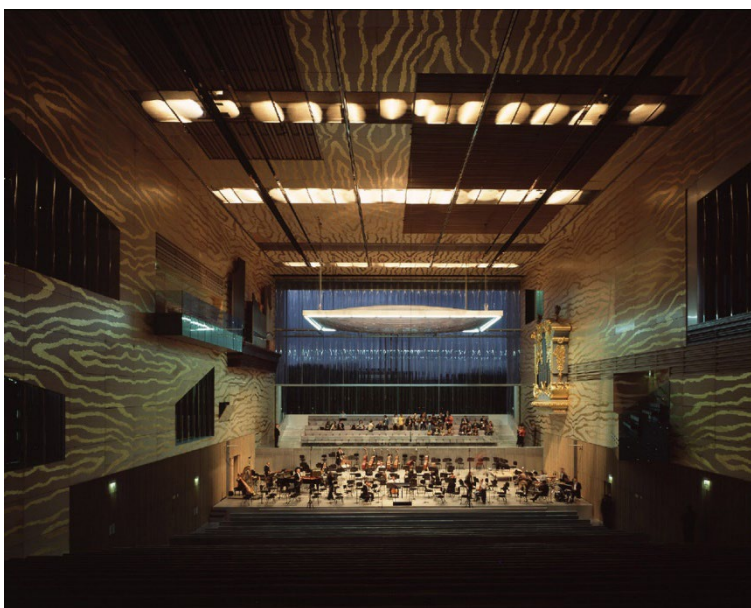


Figura 40 Vista para o palco da Sala Suggia na casa da música.

A Sala Suggia apresenta um RT muito consistente ao longo de todo o seu comprimento, mantendo-se estável em todos os pontos de análise, no entanto, as diferenças aparecem no EDT, sendo os da frente e fundo da sala os que apresentam melhor comportamento. Esta diferença encontrada no EDT leva a que se encontre, por conseguinte, também uma diferença em termos de clareza e definição em ambas essas posições, sendo ambas melhores do que o centro da sala.

A zona central torna-se assim a que apresenta pior qualidade acústica em toda a sala, fenómeno que pode estar associado à tipologia e forma da sala, com um fenómeno semelhante ao mencionado anteriormente, da falta de compreensão e qualidade que levou à intervenção necessária.

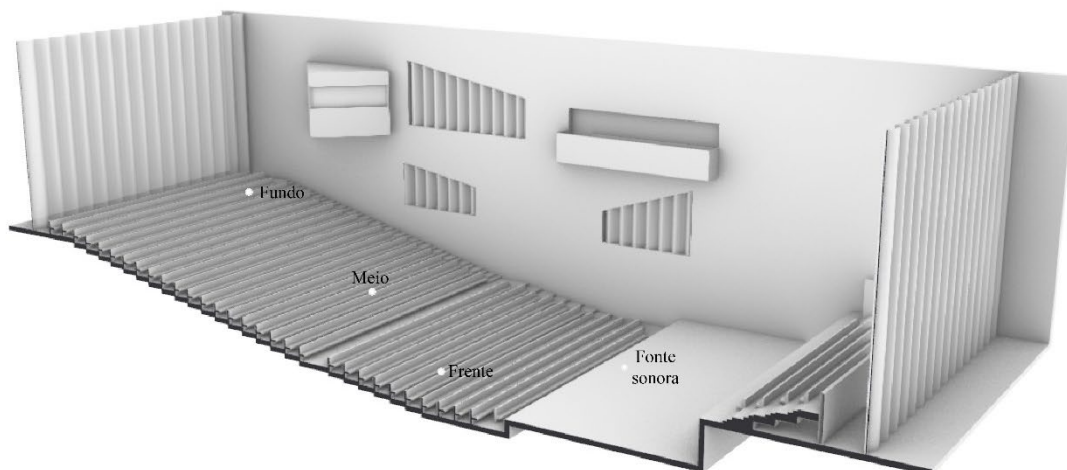


Figura 41 Vista do modelo tridimensional digital, realizado pelo autor, com a posição da fonte sonora e receptores utilizados para análises.

Resultados das análises realizadas na Sala Suggia

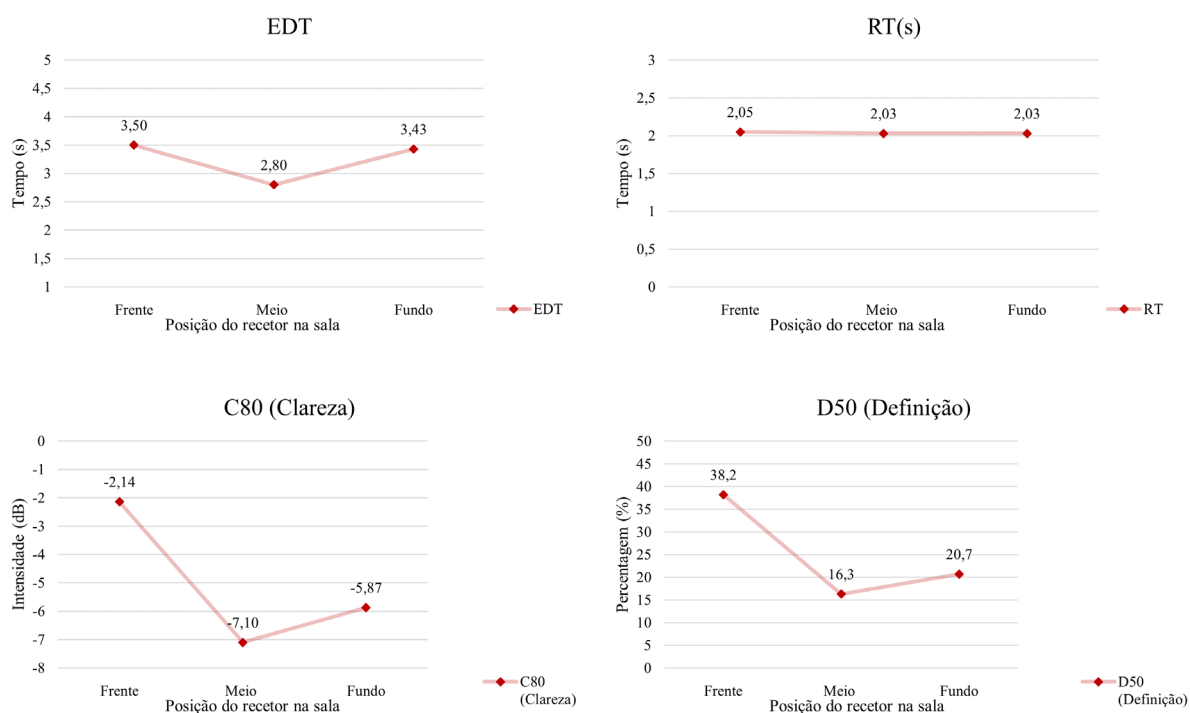


Gráfico 5



Figura 42 Vista para o palco no interior da Sala Suggia da casa da Música.

De acordo com simulações da propagação do som realizadas no espaço, tanto a zona do palco, como a zona central podem sofrer de alguns problemas, associados a potenciais ecos, possíveis de observar na simulação. Nestas zonas nota-se um espaço onde apesar de todas as características analisadas apresentarem um bom desempenho, vemos o acumular de partículas e ondas sonoras num mesmo local ao longo do tempo, demonstrando assim a existência de um espaço que conduz à existência muito predominante de ecos. Havendo a criação de ecos, apesar de não ser demonstrado nas análises efetuadas, a compreensão do som é reduzida, e o som torna-se bastante complexo ao fim de alguns momentos.

Este fenómeno ocorre, devido à geometria e forma da sala, o facto de ter o teto, o chão e as paredes perpendiculares e paralelas entre si cria um ponto onde as ondas se propagam com reflexões entre os extremos, especialmente na horizontal, visto que as paredes estão mais próximas entre si do que o chão e o teto, vendo-se a existência de ecos, efeito que promove diretamente o aumento do RT, assim como deterioração da clareza, possível de ser observado pela acumulação de partículas em forma de uma linha visível na zona do palco ao longo de todas as imagens. Através do reconhecimento deste fenómeno é possível compreender

a necessidade da introdução dos elementos difusores nas paredes do palco, assim como da superfície refletora existente por cima do mesmo. Apesar da existência destes elementos, a qualidade sonora no palco não foi de encontro com as necessidades apresentadas pelos seus utilizadores mais ativos, os músicos, como visto anteriormente. As intervenções realizadas pela empresa Khale Acoustics vieram então, introduzir mais elementos que promoviam a melhor absorção realizada pelos difusores laterais, assim como redirecionar as reflexões das ondas sonoras, evitando a criação dos ecos que muito prejudicavam a acústica geral do auditório.

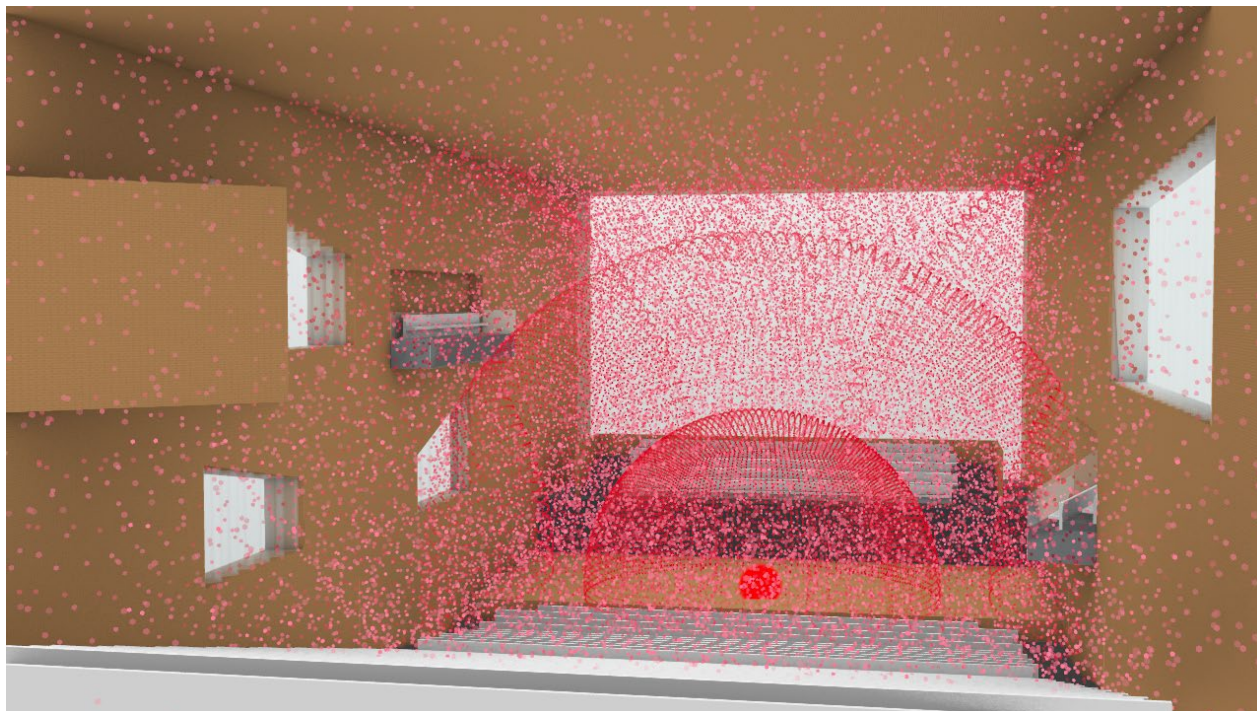


Figura 43 Vista do fundo da sala para o palco do modelo tridimensional da Sala Suggia realizado pelo autor com simulação da propagação sonora, utilizada para realização das análises acústicas.

4.2.1 - Tipo de cadeiras

Tal como o sucedido em relação à Aula Magna, também uma serie de experimentações serão postas em prova sobre a Sala Suggia, começando da mesma forma, com a alteração do tipo de cadeiras utilizadas. De acordo com o escritório OMA, o material de revestimento utilizado nas cadeiras encontradas na Sala Suggia foi desenvolvido na altura do projeto, por uma série de engenheiros, de forma a tentar criar uma superfície que, independentemente do lugar estar ocupado ou não, o comportamento acústico, seria praticamente semelhante. É, portanto, possível antecipar que este tipo de escolha tenha um grande impacto no comportamento da sala.

Resultados das análises da Sala Suggia com alteração no revestimento das cadeiras

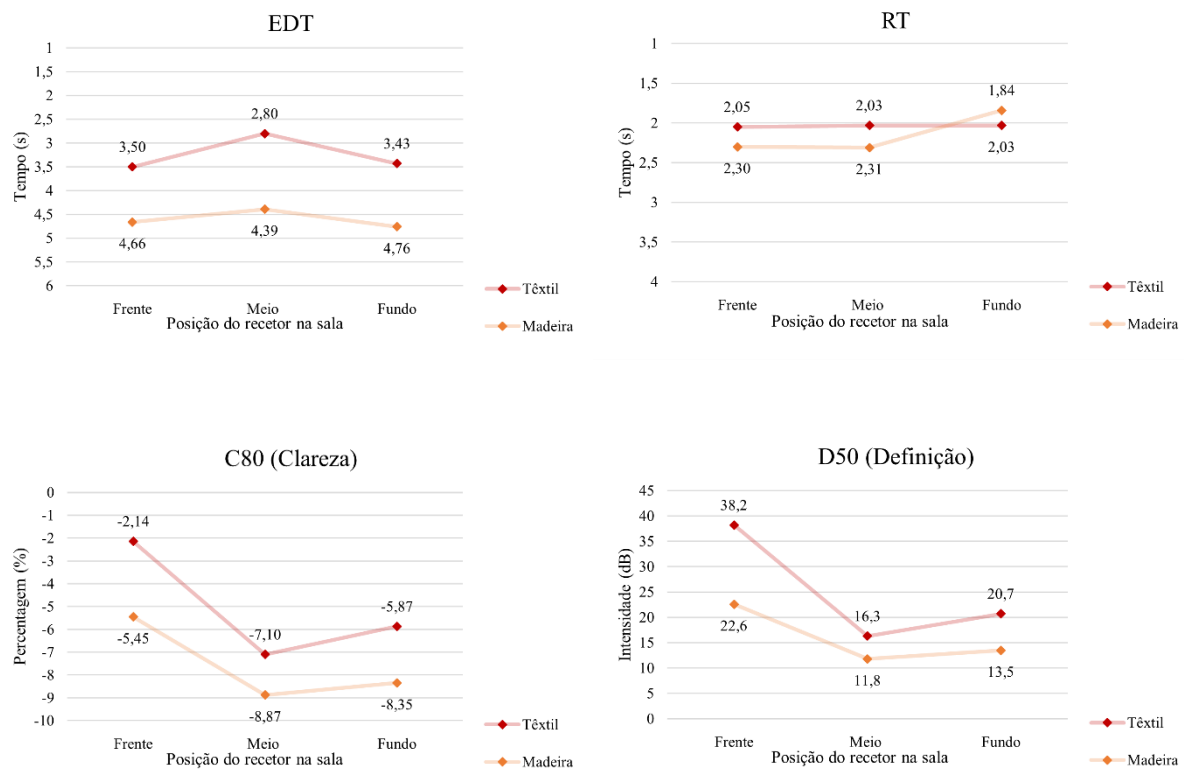


Gráfico 6

Após a realização da análise do espaço tendo em conta esta alteração do material de revestimento das cadeiras utilizadas ao longo da plateia desta sala, é possível reconhecer que aconteceu a alteração do comportamento acústico de acordo com o esperado, havendo um ligeiro aumento geral no EDT, assim como no RT, e demonstrando também um significativamente pior nível de clareza e definição.

Observa-se uma maior deterioração da capacidade de compreensão na frente da sala, e a menor alteração neste sentido no centro da sala, este fenómeno decorre principalmente da diferença inicial de comportamento entre a frente e o centro da sala em causa, levando à criação de um espaço mais equilibrado em que o som naturalmente se deteriora ao longo do aumento da distância para a fonte sonora. Apesar de demonstrar um espaço mais equilibrado não demonstra um espaço com melhor qualidade acústica, uma vez que, como demonstrado anteriormente ambos podem não estar relacionados.

Contudo, uma das mudanças que se sobressai é a diminuição do RT encontrado no fundo da sala, acontecimento que contraria o que acontece em relação a todos os outros parâmetros em qualquer parte da sala, incluindo até este mesmo ponto. Esta diminuição é possível estar interligada com a disposição e forma da sala, assim como produto natural da alteração do material das cadeiras. Sendo a madeira muito menos absorvente que o têxtil, acontece, inerentemente, um maior grau de reflexão causado por estes elementos, tendo em conta também, que a plateia se encontra num plano inclinado em que a cota vai aumentando com a distância para a fonte sonora, significa isto que, o som para chegar até o ponto no fundo da sala onde este

recetor está colocado necessita de ser diretamente propagado nesta direção, e que todo o som que se propague a uma cota mais baixa será refletido de volta para o palco, fenómeno que faz aumentar drasticamente o tempo que este demorará a ser refletido e voltar de novo a embater na plateia. Visto que, como demonstrado nos primeiros capítulos, o ar tem um coeficiente de absorção significativo, o som refletido que chega até ao fundo da sala será com muito menor intensidade e energia, levando, portanto, a que o RT seja menor.

4.2.2 - Paredes de Vidro

Alguns dos elementos mais marcantes na forma da Sala Suggia são as grandes paredes de vidro ondulado que se encontram em cada um dos topos da sala. Estes elementos são mencionados não só como uma forma de re-imaginar o desenho da tipologia da caixa de sapatos, mas também como um elemento que ganhou o seu desenho por necessidade acústica. Devido ao muito baixo coeficiente de absorção do vidro, os arquitetos sentem a necessidade de alterar a forma do vidro, em relação ao vidro plano que se encontra na maior parte dos edifícios, tomando assim um desenho ondulado, esta alteração formal leva a que o som seja difratado, ao invés de ser completamente refletido, reduzindo a possibilidade de se encontrarem comportamentos como o encontrado na zona do palco, onde existe a criação de ecos.

Resultados das análises da Sala Suggia com alteração no desenho das paredes de vidro

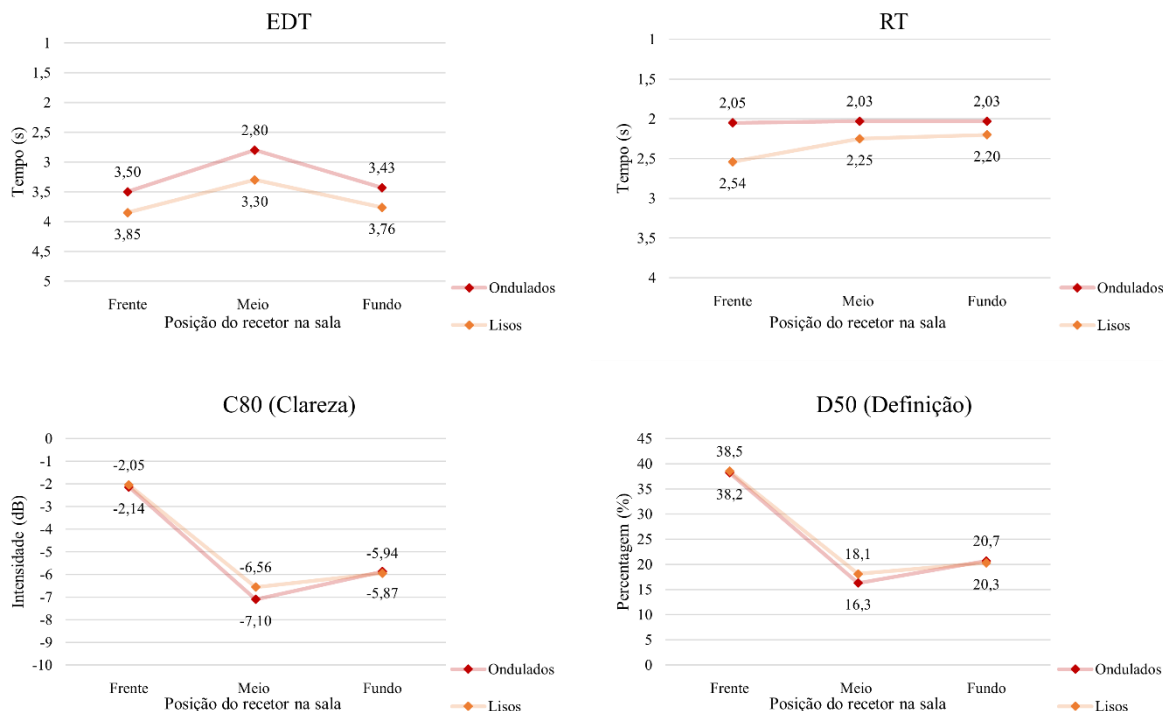


Gráfico 7

Neste caso a diferença das características acústicas, não é muito grande e de tal forma parece não ser muito relevante, demonstrando a capacidade de manter a compreensão do som quase intacta, sendo isso

observado nos valores da clareza e definição, contudo, nota-se um aumento do RT e EDT significativo, comparativamente ao espaço com vidros ondulados.

Este aumento do RT e EDT, levam o espaço para valores que começam a ser pouco ideais para qualquer tipo de espetáculo a ser conduzido em espaços com volumetria semelhante. Esta disparidade de qualidade acústica vai de acordo ao descrito pelo escritório OMA, em relação ao desenho dos vidros e as suas características acústicas inerentes, tais como o coeficiente de absorção, que é bastante baixo para este material, significando que o som é muito mais refletido do que absorvido. De tal modo, a mudança na geometria e forma da parede de vidro permite, apesar das dificuldades de trabalhar com o vidro como material de revestimento para uma sala de espetáculos, de acordo com o descrito anteriormente, criar um espaço que consegue contornar os problemas que o material causa, utilizando a geometria como uma forma de difratar, contrariando o comportamento puramente refletivo que um plano teria. A ocorrência da difração do som leva a que haja uma maior cobertura pelas ondas refletidas, assim como introduz uma variedade de direções em que o som isto acontece, promovendo uma melhor homogeneidade e por conseguinte qualidade e percepção sonora.

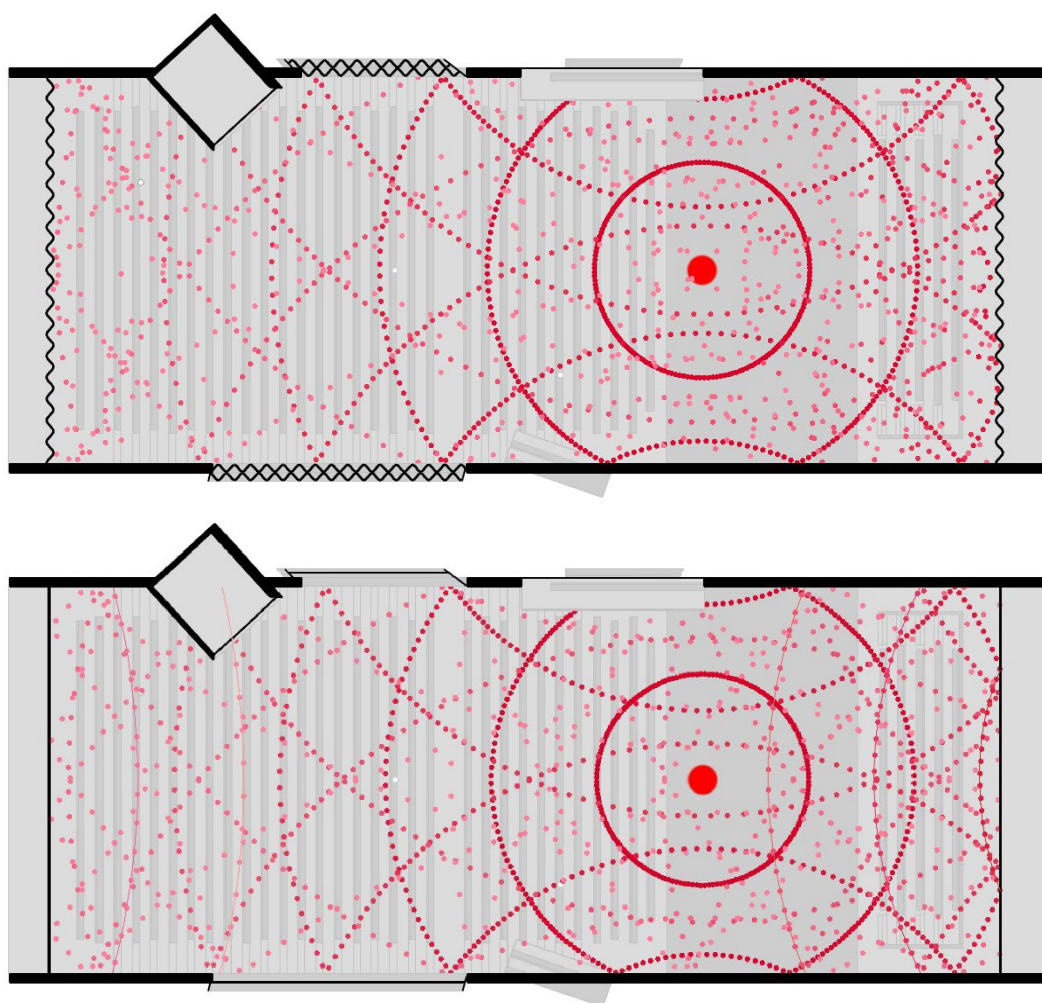


Figura 44 Vistas em planta das simulações da propagação do som na Sala Suggia, com alteração do desenho das paredes de vidro

Este fenómeno é particularmente possível de observar quando se realiza uma simulação do percurso das ondas sonoras, de certa forma semelhante aos métodos utilizados inicialmente no estudo da qualidade acústica de um espaço, sendo então efetuada esta simulação sobre um corte horizontal do espaço. No espaço com os vidros ondulados, o som é difratado e refletido em diversas direções simultaneamente, enquanto, no espaço com vidros lisos é possível ver a reflexão total, mantendo o desenvolvimento em onda que se nota até ao momento de impacto.

4.2.3 - Desenho do teto

Um dos elementos alterado quando foi efetuada a correção acústica para o palco foi a estrutura existente diretamente por cima do palco, suscitando a possibilidade da alteração no desenho do teto, uma vez que elementos adicionais tais como esse não estão a ser tidos em conta nas análises realizadas. Apesar desse elemento ser curvo, para esta experiência, o desenho do teto será mantido liso, de acordo com o teto existente, criando um teto que acompanha a inclinação da plateia, tal como acontece em alguns dos auditórios desta tipologia. Deste modo, o pé direito será mais idêntico ao longo do decorrer da plateia, o que por consequência diminui o pé direito na zona do palco drasticamente.

Resultados das análises da Sala Suggia com alteração do desenho do teto

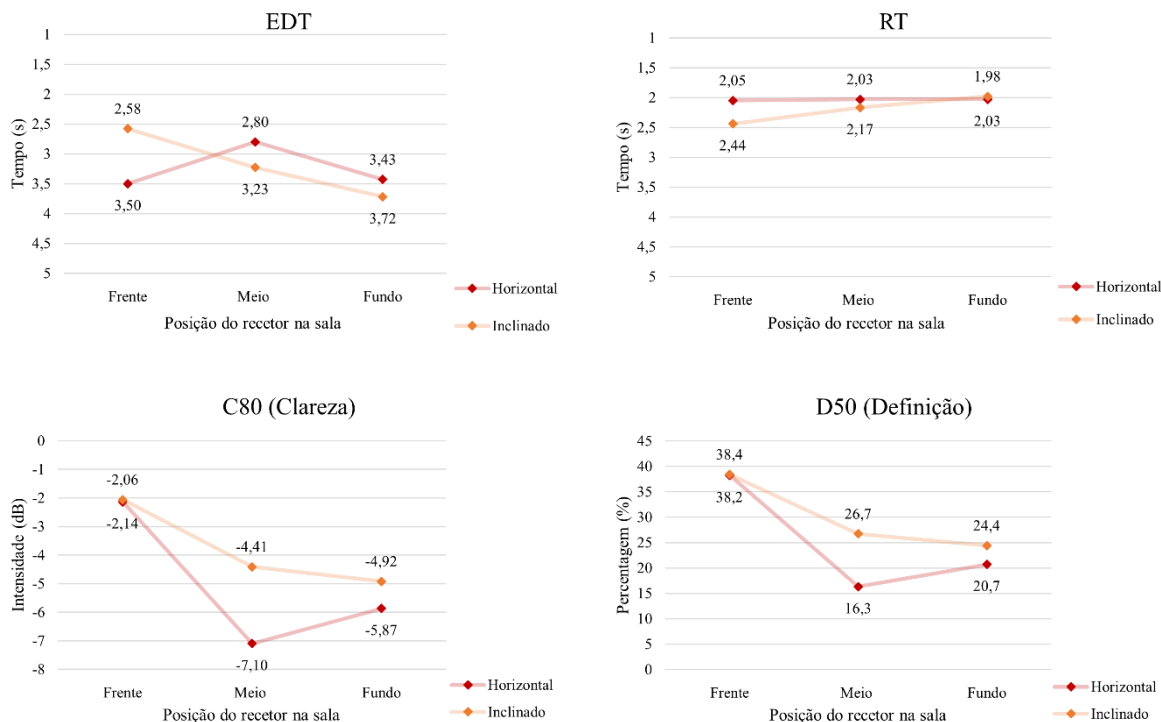


Gráfico 8

Tal como acontece na experiência anterior, os resultados não variam muito do ponto inicial. No entanto, vemos claramente uma maior diferença na zona central da sala em termos de inteligibilidade do som, de acordo com a definição e clareza, com aumento bastante significativo de 10%, criando um espaço mais equilibrado, com a deterioração natural da qualidade do som de acordo com a distância do recetor em relação ao palco.

Derivado do novo desenho do teto em que este acompanha, agora, o desenvolvimento da plateia, deparamo-nos com um espaço com um comportamento e forma semelhantes à sala analisada anteriormente, a Aula Magna da Universidade de Lisboa, onde encontramos também um teto inclinado no mesmo sentido, tendo uma cota menor na zona do palco, que vai aumentando de acordo com o aumento da cota da plateia. Do mesmo modo que o desenho do teto na Aula Magna pretendia encaminhar as ondas sonoras para as zonas mais longínquas do palco, o mesmo comportamento poderá ser observado neste espaço com o teto redesenhado. Apesar do objetivo ser de encaminhar o som para o fundo da sala, isto traz, consequentemente, também o direcionamento do som para o centro da sala, onde, tal como demonstrado pelas análises realizadas, se encontra o maior nível de diferença entre o espaço original e o alterado.

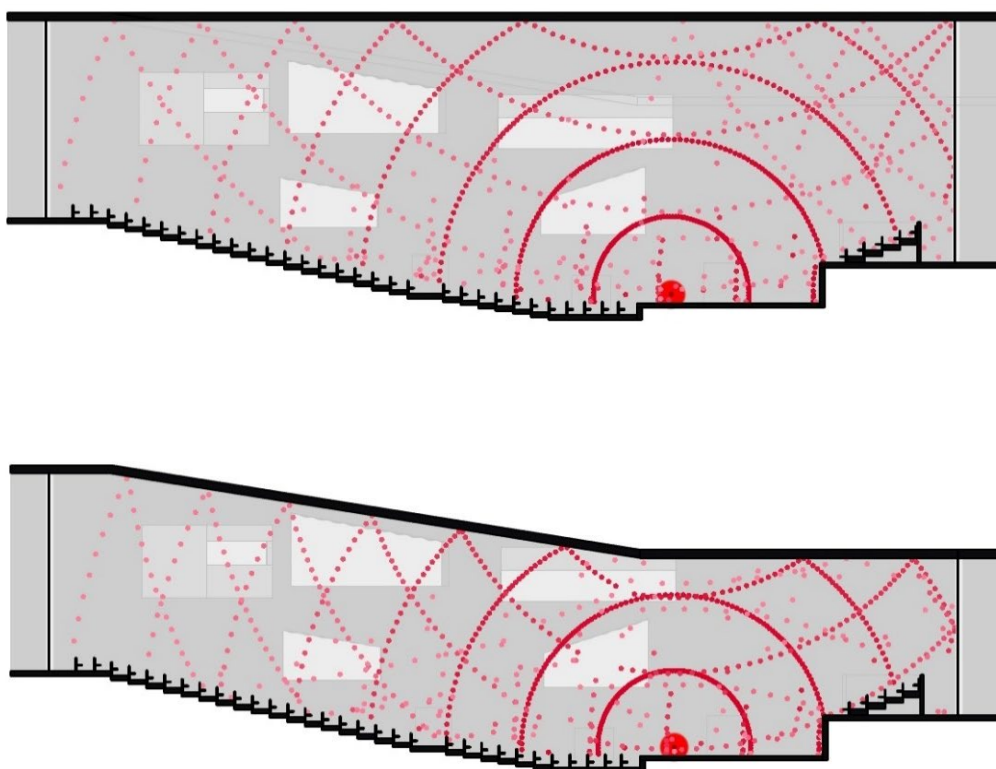


Figura 45 Vistas em Corte das simulações da propagação do som na Sala Suggia, com alteração do desenho e inclinação do teto.

A alteração da inclinação do teto impôs a alteração simultânea do pé direito ao longo de quase todo o espaço, afetando principalmente a zona do palco, esta alteração reduz significativamente o volume total do espaço, também um dos aspetos que altera o comportamento do som, uma vez que o som atinge e é refletido e absorvido pelas superfícies mais frequentemente, evitando que seja perdido tao rapidamente e se mantenha em zonas onde não é aproveitado, como por cima do palco e da plateia, onde não é possível a sua audição. Através da realização da simulação da propagação sonora no espaço, é possível notar que a primeira reflexão no teto ocorre mais cedo e, por conseguinte, esse som chega mais rapidamente à plateia. Também é compreensível que sendo o pé direito mais baixo ao longo de todo o espaço, o som se mantém mais próximo da plateia durante mais tempo.

4.3 - Teatro São João

O edifício atual do Teatro de S. João é proveniente de uma reconstrução realizada no terreno do antigo Teatro do Príncipe⁶, após este ter sido alvo de um incêndio que ocorreu em 1908. A reconstrução deste teatro foi submetida a concurso, surgindo o arquiteto Marques da Silva como vencedor do segundo concurso executado, uma vez as soluções apresentadas no primeiro estarem longe do pretendido e, consequentemente, nenhuma ter sido aceite. Este novo projeto foi aprovado pela camara já em 1910. Mantendo praticamente a implantação total do teatro antigo este novo teatro não viria a inovar muito na tipologia utilizada, sendo a inovação integrada através dos materiais e dos espaços de circulação. Desse modo a sala principal apresentava uma planta para a plateia em ferradura, forma mais prominente nos teatros italianos, iria buscar a altura das frisas também ao antigo teatro, estando alta o suficiente para que no antigo teatro os camarotes que se encontram a esse nível fossem considerados como 1ª ordem, e manteria a saliência das ordens e frisas semelhante em todas elas, por forma a permitir que a luz e a visão não fossem impedidas a qualquer dos momentos.

Este teatro é sujeito, ainda, a uma outra renovação no final do século XX, nomeadamente em 1995, após ter sido comprado pelo Estado em 1992, e, novamente, entre 2013 e 2014, por razões de falhas estruturais (Carneiro, 2002).



Figura 46 – Vista de um lugar nas frisas para o palco da Sala do Teatro de S. João

O teatro de S. João é, portanto, um ótimo exemplar da tipologia do teatro italiano, indo buscar grande parte dos seus elementos marcantes ao edifício que se encontrava no seu lugar, seguindo a tipologia italiana encontrada nele. A sala apresenta 3 níveis de ordens acima das frisas, assim como uma plateia no plano térreo, e ainda camarotes em torno da boca de cena seguindo os mesmos níveis dos diferentes balcões, oferecendo capacidade para 1280 espectadores.

⁶ O teatro antigo fora inaugurado em 1798 no aniversário do príncipe D. João, dando assim a designação inicial de Teatro do Príncipe.



Figura 47 Vista para os balcões existentes na Sala do Teatro de S. João

Tratando-se de um teatro, o objetivo principal é tanto o teatro em si, como a ópera, para isso o RT deveria ser menor do que 2 segundos, sendo tanto melhor para o teatro quanto menor esse tempo for, por forma a obter melhor inteligibilidade. No entanto, como é possível denotar após a realização das medições, a média geral está um pouco acima dos 2 segundos, demonstrando que o efeito desejado não ocorre. Para além de um alto RT, também o EDT é quase o dobro que o RT, que, tal como descrito sobre a casa da música prolonga a reverberação e a diminuição de intensidade para um momento mais tardio, prejudicando a compreensão. No volume total da sala, as bancadas centrais são as que apresentam pior comportamento acústico nesse sentido.

No entanto, é nesta zona central da sala que se encontra o melhor grau de clareza e definição, apresentando valores ainda melhores que os encontrados na Casa da Música, e também muito melhor que, tanto as bancadas superiores, como também a plateia do rés-do-chão, comportamento que parece contradizer o que seria possível ler somente a partir do RT e EDT.

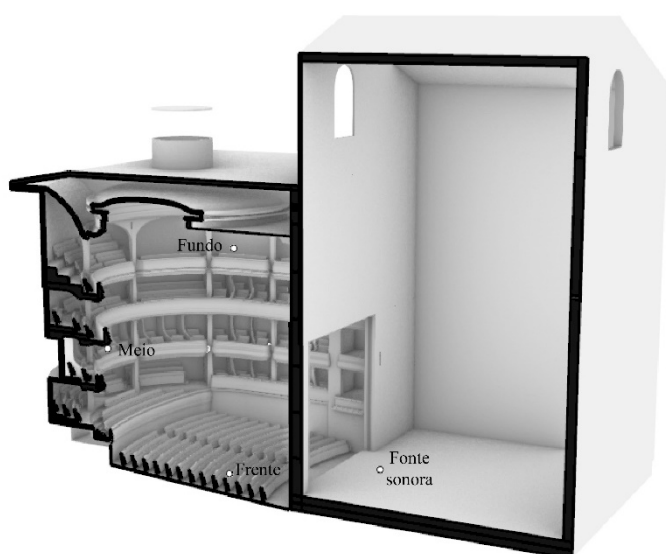


Figura 48 Vista do modelo tridimensional digital, realizado pelo autor, com a posição da fonte sonora e recetores utilizados para análises.

Resultados das análises do Teatro Sº João

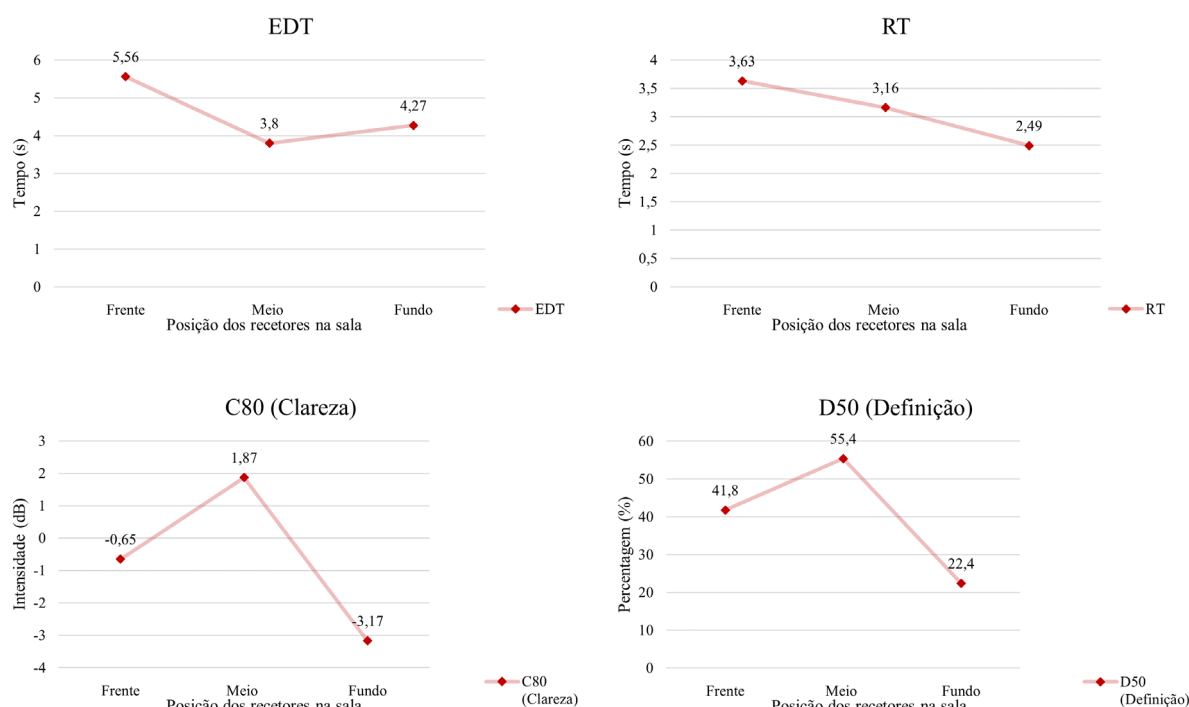


Gráfico 9

A sala em geral apresenta um elevado RT, sendo este superior a 2s em qualquer ponto da sala, quando para este tipo de sala, em que a fala e o canto são as principais utilizações, o tempo deveria estar mais perto de 1s a 1.5s.

Observa-se um melhor desempenho a nível geral na posição central da sala, ou seja, centrada com a fonte sonora na longitudinal, assim como numa das ordens centrais dos balcões. Os lugares mais perto do topo da sala são notoriamente os piores deste teatro, demonstrando tal como o resto um elevado RT, assim como pouca clareza e definição, demonstrando de qualquer forma melhor comportamento para a fala, denotado pela melhor qualidade de definição em 50ms, os mais importantes para esta ação.

A frente da sala, apesar de demonstrar o mais alto RT, apresenta também o melhor nível de definição em 50ms, assim como um aceitável nível de clareza em 80ms, de tal modo, mostrando um espaço com qualidades ainda adequadas para qualquer tipo de utilização.

O comportamento observado nesta sala está diretamente relacionado como a existência das bancadas. Nas bancadas centrais onde o som apresenta a melhor clareza, estamos perante a melhor posição para a receção do som direto, promovendo assim o melhor nível de clareza de todo o edifício, no entanto vemos um maior RT quando o som fica retido entre estas mesmas bancadas, sendo refletido para a parede que se encontra no fundo, fenómeno que acontece quando, pelo baixo pé direito, as ondas sonoras não tem forma de se refletir para o exterior novamente.

Nas bancadas superiores, o fenómeno é semelhante, mas não só estamos presentes um pé direito mais alto, permitindo a ligeira redução no RT, como também nos encontramos muito mais longe da fonte sonora, fazendo com que o som que aqui atinge tenha já muito menor intensidade.

Já quanto aos problemas encontrados na frente do edifício, estes podem estar associados à elevada altura do pé direito, promovendo uma elevada dissipação do som, e consequentemente, redução das reflexões sentidas na plateia, do mesmo modo, o som que vai sendo refletido e ficando retido nas bancadas acaba por não fornecer reflexões para o nível inferior, assim como ter alguma influência do som que existe na grande caixa do palco. No entanto, também devido ao grande pé direito, as reflexões atingem esta zona novamente num momento muito mais tardio, levando ao aumento que se nota no EDT e RT.

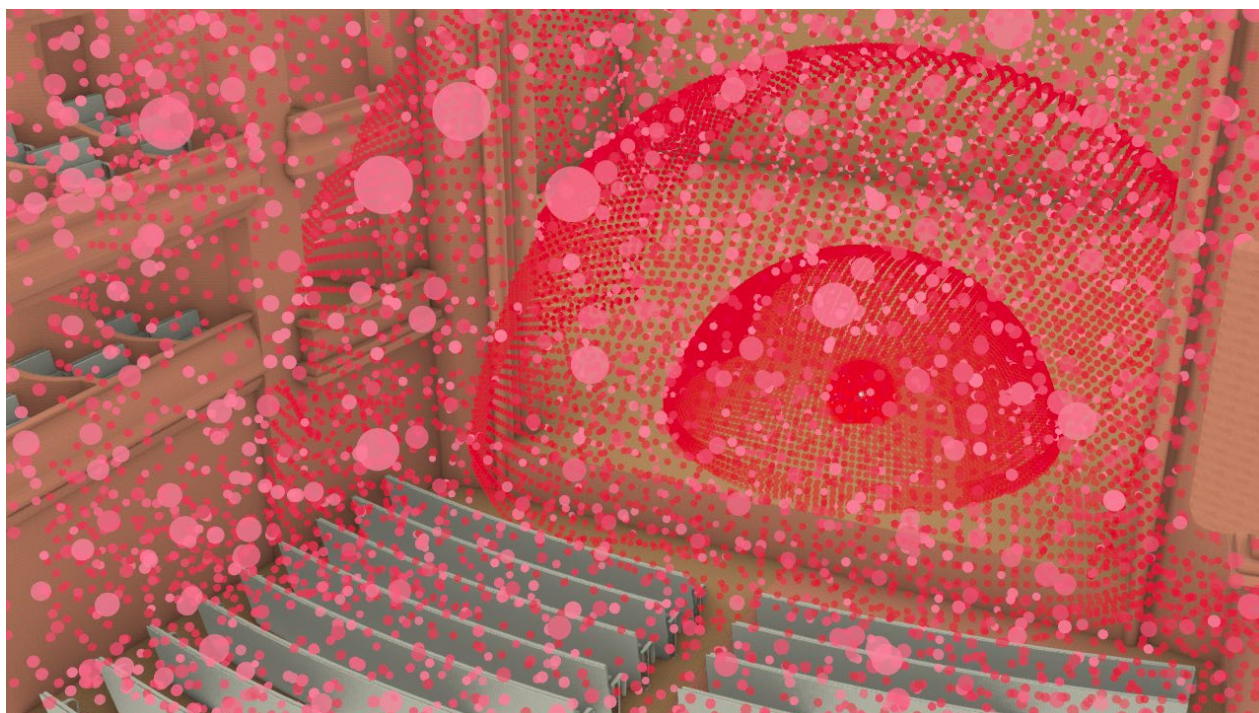


Figura 49 Vista do fundo da sala para o palco do modelo tridimensional do Teatro São João realizado pelo autor com simulação da propagação sonora, utilizada para realização das análises acústicas.

4.3.1 - Tipo de cadeiras

Tal como o efetuado nos modelos anteriores, também neste modelo será realizada a experiência da alteração das cadeiras existentes para cadeiras com revestimento somente em madeira. Neste caso, o impacto, apesar de se enquadrar com o encontrado nos espaços prévios, é compreensível que seja numa escala menor, uma vez que há, não só a existência abundante de paredes divisórias ao longo de grande parte dos balcões, assim como as guardas em madeira que obstruem o percurso do som até às cadeiras existentes nas varandas.

Resultados das análises do Teatro Sº João com alteração do revestimento das cadeiras

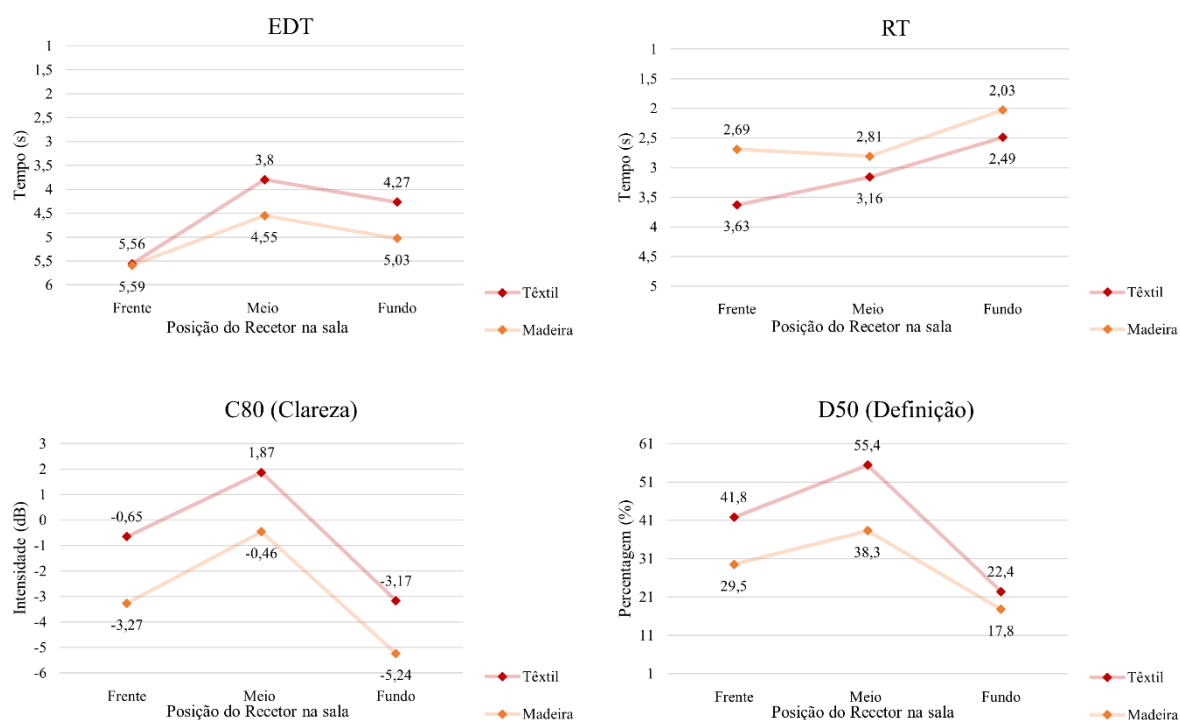


Gráfico 10

Este exemplo apresenta uma situação um pouco diferente do que se tem vindo a encontrar até agora. Encontramos o expectável aumento do EDT e as consequentes reduções de clareza e definição, no entanto, de uma forma um pouco inesperada vê-se um comportamento contrário no caso do RT, sendo que esta característica apresenta um valor mais reduzido.

Reduções no RT normalmente levam a uma melhoria da qualidade acústica, uma vez que o som perde intensidade mais rapidamente permitindo uma melhor compreensão, contudo, neste caso, isso não é o registado. Na frente da sala é onde esta redução apresenta uma maior diferença, assim como também é nesta zona que o EDT quase não sofre alteração, no entanto, o grau de redução na clareza e definição mantém-se praticamente equivalente ao longo de toda a sala. Este comportamento para além de inesperado é um pouco difícil de explicar, porém como a posição dos recetores não é linear, sendo que estão colocados nas ordens com cotas diferentes, e a sala apresenta uma disposição bastante diferente das que se tem vindo a analisar até então pode levar a que as alterações realizadas apresentem comportamentos diferentes do habitual.

4.3.2 - Ordens

Um dos elementos mais marcantes da tipologia italiana é a existência de múltiplas varandas que constituem as ordens, e, como mencionado anteriormente, isso é também dos elementos mais marcantes no comportamento acústico da sala. Por forma a demonstrar a existência desse fenómeno, será realizada a experiência da remoção dos balcões associados às ordens, deixando somente a plateia e frisas, dando à sala um pé direito total muito elevado, quase constante ao longo de toda a sua área.

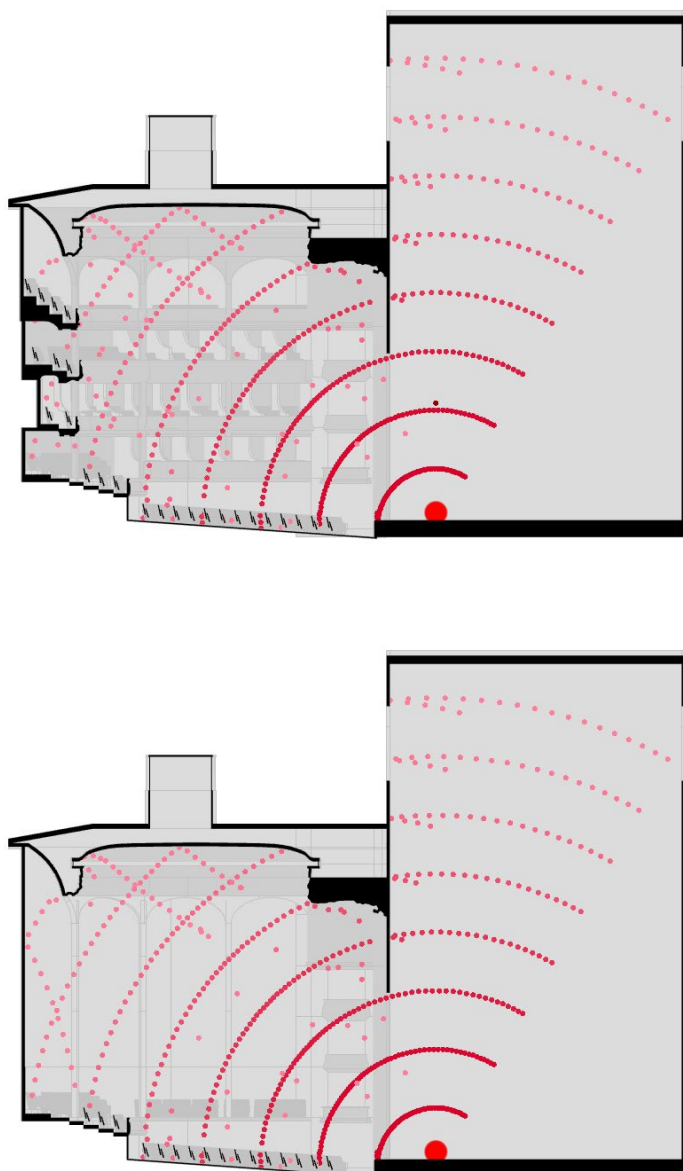


Figura 50 Vistas em corte das simulações da propagação do som no Teatro de S. João com e sem ordens.

Com a remoção das ordens existentes na sala, os pontos onde estão a ser considerados os recetores sonoros para a realização das análises deixam de estar associados a lugares, onde é impossível existir público durante qualquer tipo de espetáculo, no entanto, por forma a equalizar as experiências e como o objetivo é demonstrar as alterações acústicas causadas no volume completo, independentemente da sua forma de utilização, serão mantidas as posições dos recetores iniciais.

Tendo em conta que somente restam os lugares encontrados na plateia e nas frisas é possível notar que, para estes lugares houve um aumento da qualidade sonora. Sendo o EDT e RT de valores muito mais reduzidos, indo de acordo com o ideal para um espaço com volumetria como este, assim como um ligeiro aumento na clareza e definição, ainda que quase insignificante em termos práticos.

Por outro lado, os recetores restantes existentes no espaço, e mais uma vez, maioritariamente o central, demonstram uma muito pior qualidade sonora, demonstrando reduções consideráveis na clareza e definição, apesar do RT e tempo de decaimento inicial serem também ligeiramente menores.

Visto que as paredes envolventes à plateia se tornam planas nesta experiência, sem a existência dos balcões e, por conseguinte, dos elementos mais importantes na causa de difração, o som é simplesmente refletido diretamente, o que causa a deterioração da qualidade sonora no espaço acima da plateia, onde os recetores estão localizados.

Resultados das análises do Teatro Sº João com alteração nas ordens

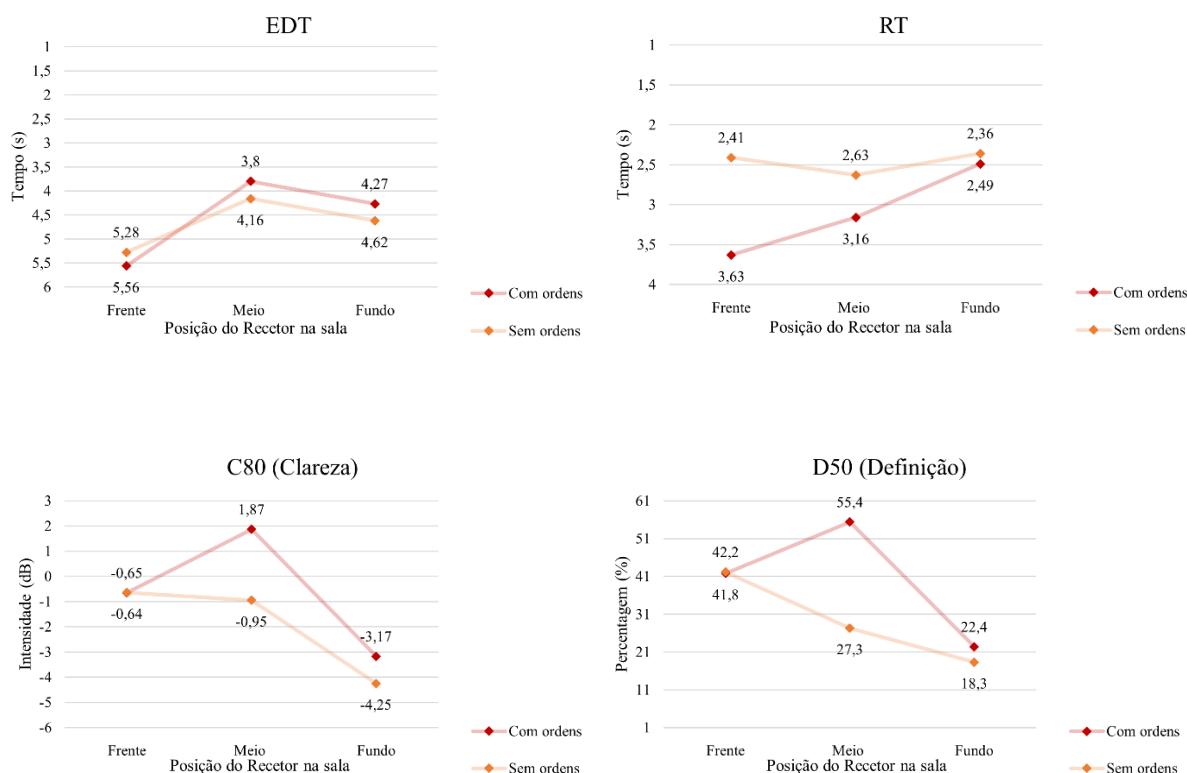


Gráfico 11

4.3.3 - Caixa de palco

A caixa de palco é também uma das características bastante marcantes da tipologia italiana, assim como das suas derivadas, sendo pouco usada em qualquer outra das tipologias de salas de espetáculo. Esta caixa, normalmente mais alta que o espaço oferecido aos ouvintes, tinha, inicialmente, um carácter funcional, tal como a introdução de maquinaria para alteração de cenas, no entanto é notável a quantidade de som que fica retido nesse espaço, tendo em conta também a boca de cena, existente em grande parte dos teatros desta tipologia, que limitam a propagação do som proveniente do fundo do palco para a plateia. Este espaço com uma volumetria muito elevada, em comparação com a volumetria do espaço para os ouvintes, contém também grande parte do som produzido, de tal modo, proceder-se-á à realização de uma experiência através da alteração do pé direito desta caixa, numa tentativa de reduzir o som acumulado e proceder ao seu encaminhamento para o exterior do palco.

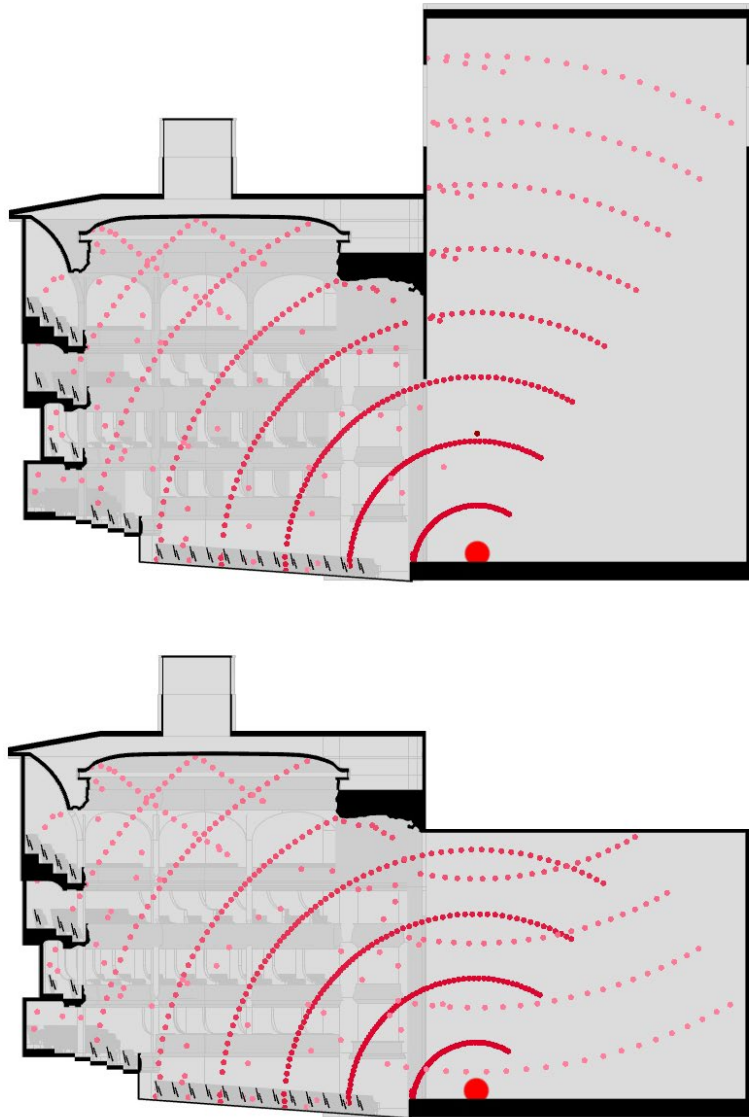


Figura 51 Vistas em corte das simulações da propagação do som no Teatro de S. João com alteração no pé direito da caixa de palco.

Em relação às análises realizadas e com base nos dados obtidos para esta nova alteração, nota-se uma grande diminuição no RT, assim como uma ligeira melhoria em alguns pontos em termos de EDT, no entanto essas melhorias não se transferem para o observado na clareza e definição. notando-se uma geral deterioração da qualidade nesses termos.

Ao ter em conta a simulação da propagação sonora realizada, é notável a diferença entre o som que se dispersa pela parte mais elevada da caixa e o mesmo som que acaba por ser direcionado para a plateia, derivado do maior número de reflexões e todo o pé direito estar limitado ao pé direito da abertura demarcada pela boca de cena. Esta diferença permite que o som seja absorvido mais rapidamente por todos os elementos existentes ao longo do volume da sala, como o caso das cadeiras, e os balcões com respectivas guardas, que promovem também um alto nível de reflexões. Por outro lado, o facto do som refletido atingir a plateia muito mais rapidamente leva a que a diferença entre o som direto e o som refletido seja menos sentida, e, por conseguinte, se note a ligeira diminuição de qualidade em termos de clareza e definição.

Resultados das análises do Teatro Sº João com alteração na caixa de palco

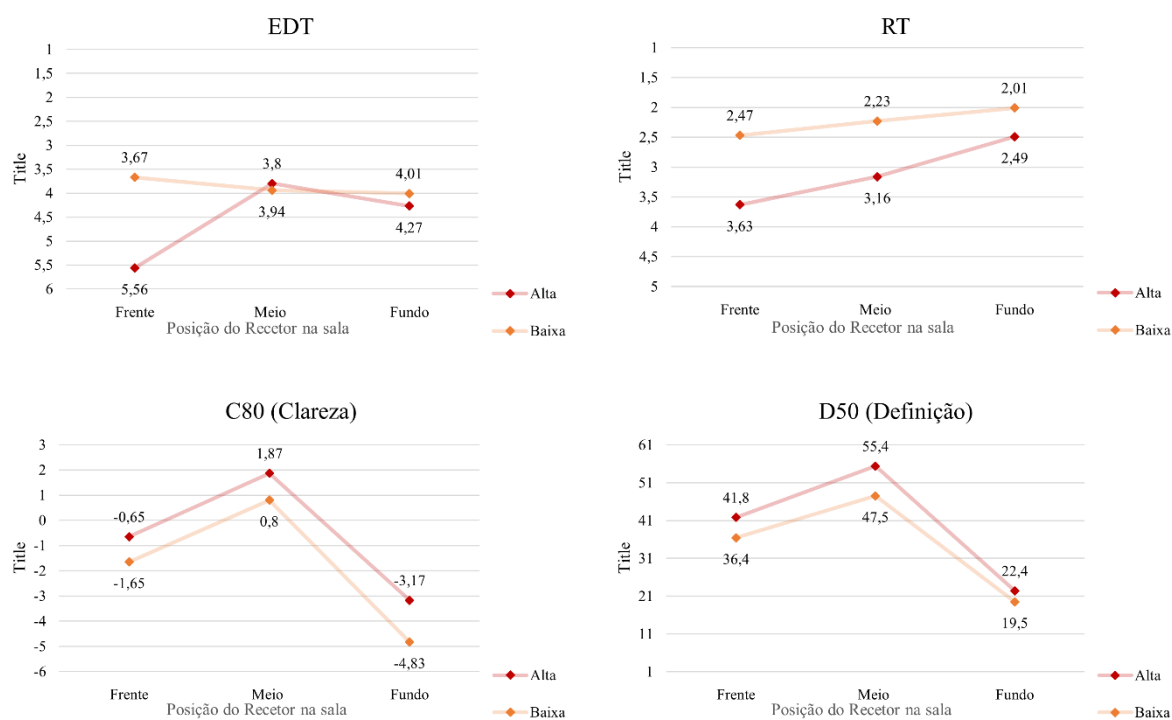


Gráfico 12

4.4 - Considerações sobre as salas de espetáculo analisadas

As três salas escolhidas para análise apresentam todas diferentes tipologias, demonstrando as mais comuns em Portugal, nomeadamente, a caixa de sapatos, italiano e clássico. Através das análises realizadas é possível ter alguma noção sobre o comportamento de cada um do espaço e, consequentemente, os seus pontos mais fortes, permitindo assim criar alguma relação entre cada uma das tipologias e o seu comportamento acústico.

Resultados das análises das salas de espetáculo

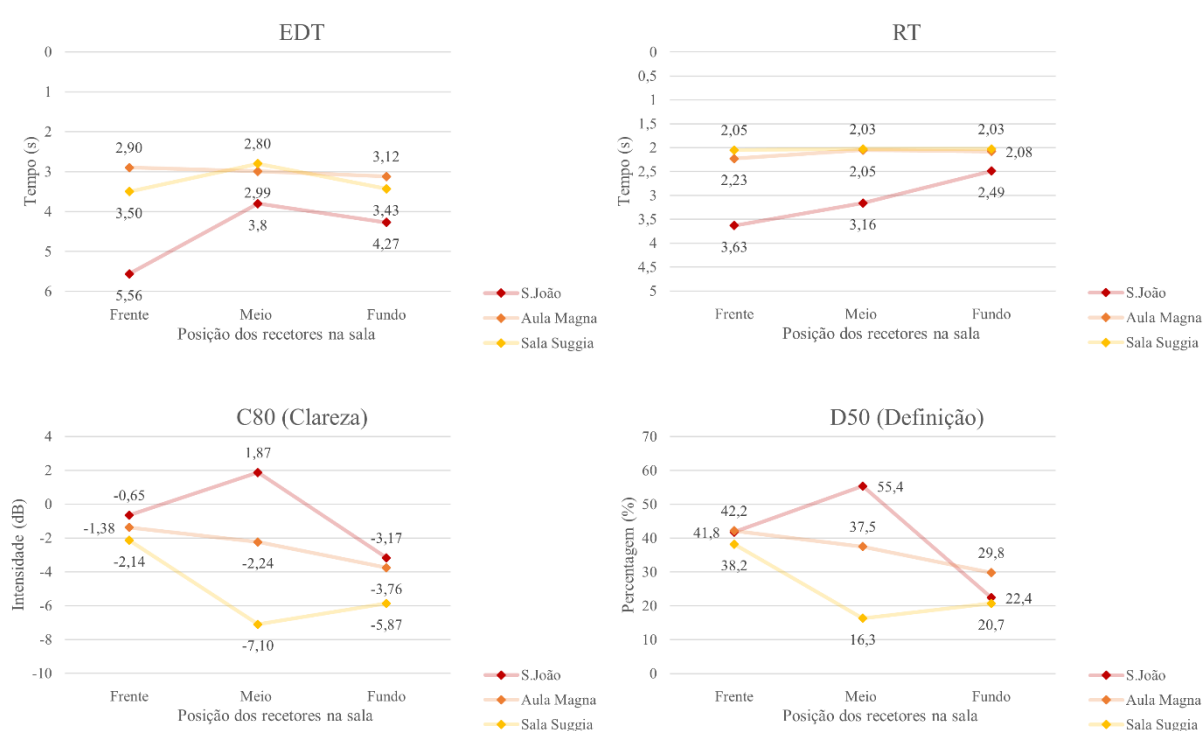


Gráfico 13

A Aula Magna é a sala que apresenta um comportamento mais linear ao longo de todo o seu comprimento, situação que não se observa em nenhuma das outras salas, onde a área central se sobressai, no Teatro de S. João pelo melhor comportamento, e na Sala Suggia, pela negativa.

Apesar de se notar um pior valor de EDT e RT no Teatro de S. João, os resultados obtidos em termos de clareza e definição apresentam-se melhores do que ambas as outras salas, fenómeno um pouco surpreendente, uma vez que, geralmente, o aumento dos tempos de decaimento inicial e reverberação vinham aco- plados de uma perda de qualidade na clareza e definição. No entanto, o facto de a posição central desta sala se encontrar situada numa das ordens centrais, onde o som atinge sem qualquer impedição e com um número

muito reduzido de reflexões nos momentos iniciais, pode levar a que a compreensão sonora seja melhor apesar do som se manter retido durante mais tempo.

A grande perda de qualidade notável no caso da Sala Suggia, notável somente na zona central da sala, pode estar diretamente associada, tal como no caso anterior, à tipologia utilizada. Neste caso, contrariamente ao que se mencionou sobre o Teatro de S. João, esta zona é atingida por um número muito elevado de reflexões. Estas reflexões atingem este recetor em momentos muito próximos, uma vez que se encontra sensivelmente à mesma distância de ambas as paredes, levando a que o som que é refletido nas paredes opostas atinga este recetor praticamente ao mesmo tempo.

Perante estes resultados leva a crer que cada uma das salas apresenta comportamentos ligeiramente diferentes associados à tipologia encontrada.

A Aula Magna, com a tipologia clássica, demonstra ser a mais equilibrada, mantendo uma linearidade de qualidade entre todos os pontos da sala, sem perder qualidade perante os outros exemplos.

A Sala Suggia, representando a tipologia de caixa de sapatos, apresenta alguns problemas no centro da sala, proveniente da perpendicularidade e paralelismo marcante desta tipologia, um pouco combatido com as paredes de vidro, alteração que, contudo, não se mostra suficiente. É necessário, no entanto, ter em conta que as intervenções acústicas realizadas na Sala Suggia não foram tidas em conta, pelo que os problemas encontrados podem ter sido resolvidos desse modo.

E por fim, o Teatro de S. João, com características muito marcantes da tipologia italiana, apresenta um EDT e RT muito elevado, mas que não tem grande efeito na clareza e qualidade geral da sala. Para além disso, demonstra um aumento muito elevado de qualidade nas zonas onde o som é bastante direto e com poucas reflexões, sendo estes as zonas centrais das ordens, uma das características bastante predominantes desta tipologia.

Grande parte das experiências realizadas revelaram a diferença entre o espaço no seu estado atual, com o trabalho realizado tanto pelos arquitetos como engenheiros acústicos, e o que poderia ser considerado uma versão menos desenvolvida e pensada, como é o caso do teto da Aula Magna, das paredes de vidro da Sala Suggia ou da caixa de palco do Teatro S. João. Em todos os casos se notam ligeiras perdas de qualidade na experiência realizada, o que permite estabelecer que muitas vezes os espaços sem qualquer tratamento ou pensamento em termos acústicos pode levar à criação de situações com pior qualidade.

Capítulo V - Experimentação com base no Anfiteatro Fernando Távora da FAUP

Sendo este trabalho desenvolvido na Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto (FAUP), e sendo o Anfiteatro da Faculdade de tipologia semelhante à Sala Suggia, tornou-se relevante realizar, de forma semelhante ao realizado anteriormente, uma série de análises sobre o espaço em causa.

Serão efetuados sobre o Anfiteatro Fernando Távora, os mesmos testes que foram efetuados para as salas apresentadas anteriormente. Para além disso, da mesma forma como foram efetuadas algumas experimentações sobre os restantes espaços, serão também realizadas experiências por forma a tentar melhorar as qualidades acústicas do Anfiteatro.

O edifício da FAUP foi desenhado pelo arquiteto Álvaro Siza, quando na altura a faculdade de arquitetura ainda se encontrava em funcionamento juntamente com a faculdade de belas-artes. Devido ao crescimento que a profissão e a escola estavam a sentir, foi necessário, portanto, a construção deste novo conjunto. Fazem parte do conjunto uma série de torres onde se encontram os espaços de aulas, e um segundo volume onde se desenvolvem todas as atividades administrativas, assim como os elementos de maior dimensão, como é o caso da biblioteca e auditórios.

As instalações da Faculdade de Arquitetura são um espaço que pode ser considerado património arquitetónico do arquiteto Álvaro Siza, sendo ainda intensamente utilizado por toda a comunidade, tirando partido de todas as suas potencialidades, incluindo a existência deste Anfiteatro com a sua possibilidade de ser utilizado como duas salas distintas ou como espaço com maior capacidade quando a atividade assim a demanda.

Fazendo parte de um conjunto patrimonial do arquiteto, torna-se importante ter em conta outros elementos que integram também tal património e, de tal forma, considerar o impacto que as experiências que se irão realizar tem tanto sobre tal espaço como sobre o património como um todo. Para isso é necessário olhar para elementos semelhantes integrantes do restante património, ou seja, fazer uma recolção de alguns dos espaços de espetáculos, ou auditórios presentes na obra de Álvaro Siza.



Figura 52 Vista das torres e pátios da Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto

Espaços de espetáculo ou auditórios são elementos bastante específicos, que normalmente estão integrados num equipamento maior, quando não se encontram num edifício especificamente destinado a tal. Dessa forma, muitas vezes não lhes é dada a importância e expressão que necessitam, sendo um elemento necessário para o bom funcionamento do equipamento, mas não um ponto focal do mesmo.

É, contudo, um elemento que tem uma volumetria considerável e, apesar de ser um elemento único, ocupa uma grande percentagem da volumetria do conjunto em que se insere, pelo que a consideração da sua forma e integração no conjunto são imperativas.

No caso da arquitetura de Álvaro Siza, vê-se, maioritariamente, exemplos em que o auditório não é o ponto focal do edifício, inserindo-se em equipamentos destinados a outras atividades, como é o caso de escolas, museus ou centros culturais.

5.1 - Outros Auditórios do Arquiteto Álvaro Siza

De acordo com outros auditórios realizados pelo mesmo arquiteto nota-se uma preferência pela tipologia utilizada também neste exemplo, fortemente marcada pelas paredes paralelas e a plateia inclinada, deixando as diferenças mais marcantes aparecer no desenho do teto. Muitos dos espaços de espetáculos desenhados pelo arquiteto apresentam os mesmos elementos formais, no entanto, notam-se algumas variações ligeiras que tornam cada um dos espaços autênticos e os enquadram na totalidade do edifício onde se integram.

5.1.1 - Museu de Arte Contemporânea Nadir Afonso

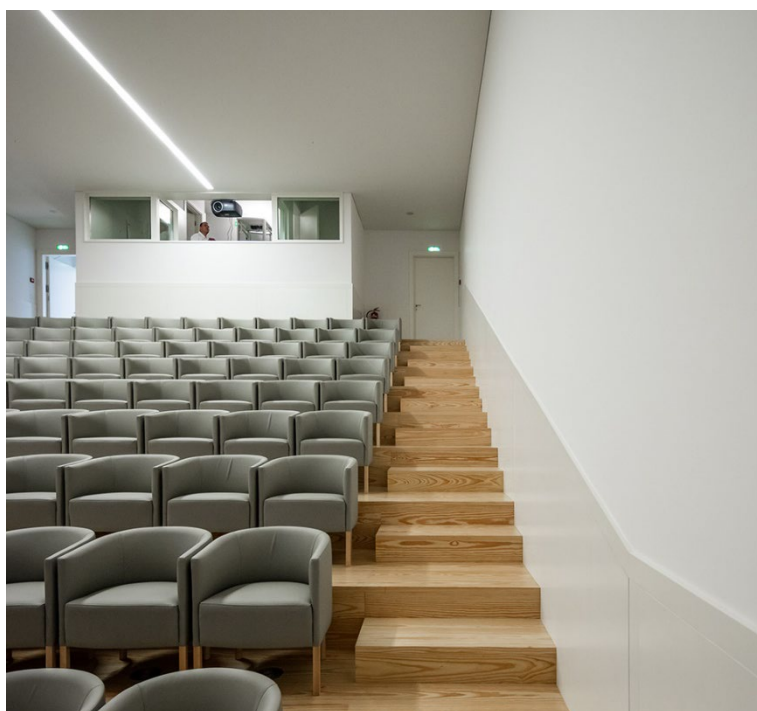


Figura 53 Vista da zona de palco para uma das entradas no auditório do Museu de Arte Contemporânea Nadir Afonso.

O auditório que se encontra no Museu de Arte Contemporânea Nadir Afonso, em Chaves, é muito semelhante ao AFT, mantendo a tipologia caixa de sapato, também sem se ver quaisquer alterações no paralelismo e perpendicularidade do espaço, excetuando a inclinação da plateia. Este espaço pode ser considerado o que apresenta mais sobriedade formal, uma vez que demonstra o paralelismo total entre todos os elementos do espaço(Leal, 2020), o mesmo acontece no Centro Galego. Para além disso, mantém também uma configuração muito semelhante da régie, assim como da existência de um lambril que percorre e acompanha a alteração de cota em volta de toda a sala. As grandes diferenças que se podem notar entre este espaço e o do AFT da FAUP é o ponto de entrada, a sua possibilidade de reconfiguração, com a parede elevatória, e as cadeiras e bancadas, sendo estas revestidas a têxtil, ao invés da madeira utilizada no AFT.

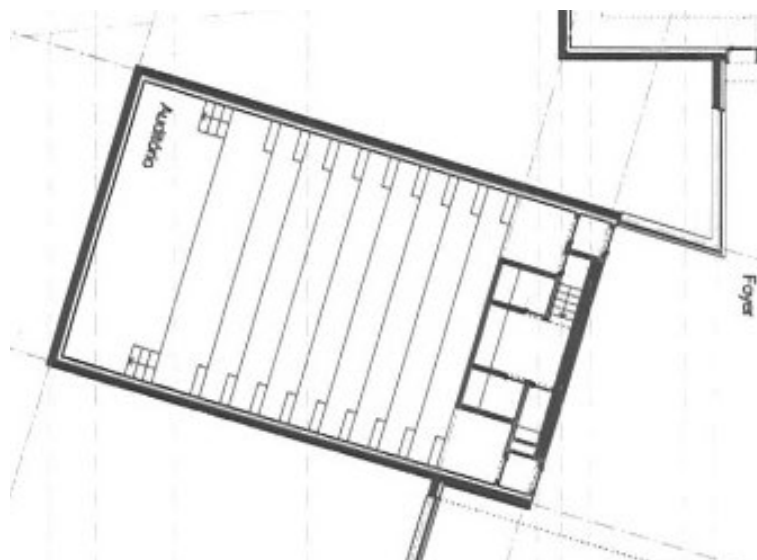


Figura 54 Planta do auditório do Museu de Arte Contemporânea Nadir Afonso

Imagem retirada de: Álvaro Siza. (2000).
El croquis, 95.

5.1.2 - Museu de Arte Contemporânea de Serralves

Figura 55 Vista para o palco do auditório do Museu de Arte Contemporânea de Serralves



Em casos como o Museu de Arte Contemporânea de Serralves, encontra-se novamente um espaço fortemente definido pela tipologia caixa de sapatos, no entanto, as paredes têm uma ligeira inclinação, sendo o lado do palco mais estreito que o fundo da sala, inclinação essa que a plateia acompanha. Na zona do palco há a criação de um remate com uma curva, transformando as paredes que até aqui se iam aproximando em paralelas. Tendo como base a curva, também se vê no teto um desvio em relação ao plano horizontal, em que existe uma abertura curva para o fundo da sala, estando o ponto que entra em contacto com a parede oposta ao palco a uma cota mais alta em comparação com o resto da sala, fazendo com que o teto de certa forma acompanhe o desenvolvimento da inclinação da plateia(Vidiella, 2009).

Figura 56 Planta do auditório do Museu de Arte Contemporânea de Serralves

Imagem retirada de: Álvaro Siza. (2000).
El croquis, 95.

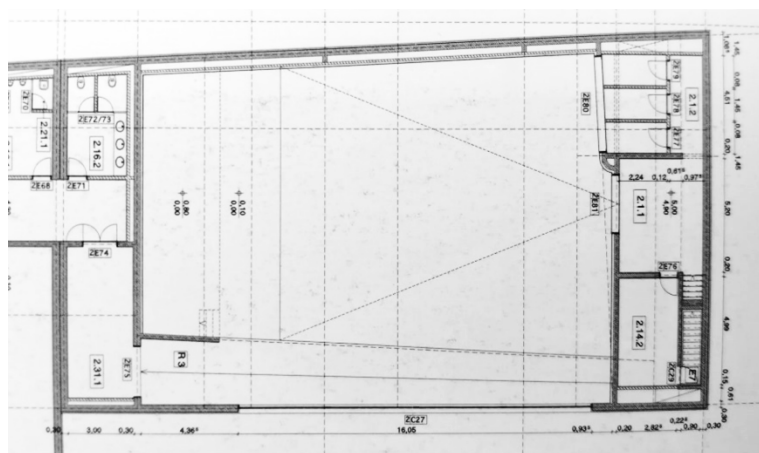


5.1.3 - Ciências da Informação da Universidade de Santiago de Compostela



Figura 57 Vista para o palco e entrada no auditório da Faculdade de Ciências da Comunicação da Universidade de Santiago de Compostela

Na Faculdade de Ciências da Informação da Universidade de Santiago de Compostela, temos novamente o tema do teto inclinado, no entanto, desta vez, este desenvolve-se de forma contrária ao encontrado em Serralves, ou seja, uma curva convexa em relação ao espaço, apesar de manter o ponto de cota mais alto no fundo da sala. Em planta também este espaço apresenta paredes convergentes, sendo um caso em que essa convergência não ocorre na totalidade da altura da sala numa das paredes laterais. A diferença entre as duas paredes nota-se, no entanto, pela existência de um elemento neste espaço que não se encontra em nenhuma outra sala de espetáculos do arquiteto, nomeadamente uma entrada em rampa por um dos lados, uma vez que, a entrada é realizada pelo ponto mais alto, e este não se encontra à mesma cota que o desenvolvimento dos pisos do restante edifício, levando à necessidade da criação de um acesso que conecte as duas cotas diferentes(Piqueras, 2003).



5.1.4 - Centro Municipal Roza Ziporovich

Um outro espaço que foge ligeiramente à configuração algo quadrada da tipologia caixa de sapatos é o espaço encontrado no Centro Municipal Roza Ziporovich, mais uma vez, apresenta uma tipologia claramente enquadrada na caixa de sapatos, no entanto, é o primeiro exemplo a ser mencionado que não apresenta uma sala simétrica. As paredes que acompanham a plateia são, contrariamente ao encontrado nos exemplos anteriores, diferentes, sendo a de um lado plana ao longo de quase toda a distância da plateia, alterando-se na zona do palco, com uma continuação em curva, muito suave, com um raio muito elevado, convexa, diminuindo a distância até ao ponto médio da sala. Do lado oposto, o desenho da parede é um pouco mais elaborado, não sendo reduzido a uma simples curva continua, na zona do palco, quase espelha a curva referida anteriormente, no entanto, não se nota a resolução na parede plana como anteriormente, a parede segue uma direção oblíqua à plateia, criando um cotovelo sensivelmente a meio do comprimento total da sala, invertendo a direção da parede e voltando a diminuir a distância entre ambas as paredes laterais. No caso do teto, existe uma ligeira inclinação contrária que se nota na secção da plateia, sendo horizontal e plano por cima do palco.



Figura 59 Planta do auditório do Centro Municipal Roza Ziporovich

Imagem retirada de:
Álvaro Siza. (2000). *El croquis*,
95.

5.1.5 - Centro Cultural de Revellín

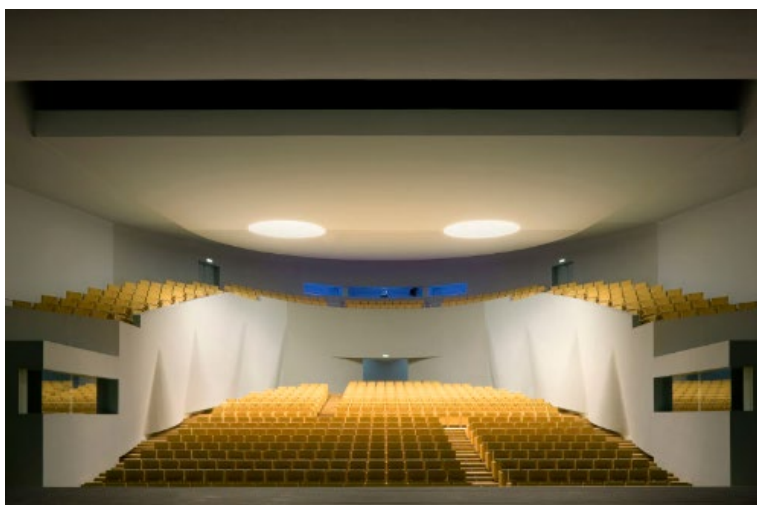


Figura 60 Vista para a plateia do auditório do Centro Cultural de Revellín

Para além destes espaços em tipologia caixa de sapatos, é possível encontrar espaços com a mesma utilização em que se vê uma tipologia diferente, como é o caso do Centro Cultural de Revellín, em que o espaço tem muito mais influência da tipologia italiana, sendo a marcante diferença entre o modelo da tipologia e este espaço a existência de diferentes níveis de bancadas, elemento que não existe no espaço do arquiteto Álvaro Siza, levando a que o espaço se desenvolva somente no piso térreo, com um nível de bancada que envolve todo o espaço, acompanhando o desenho da parede de fundo, parede esta que se desenvolve em semicírculo. De certo modo este espaço assemelha-se à experiência realizada previamente em relação ao Teatro de São João, quando se efetuou a retirada dos diferentes níveis de bancadas das ordens, deixando somente o nível térreo e das frisas.

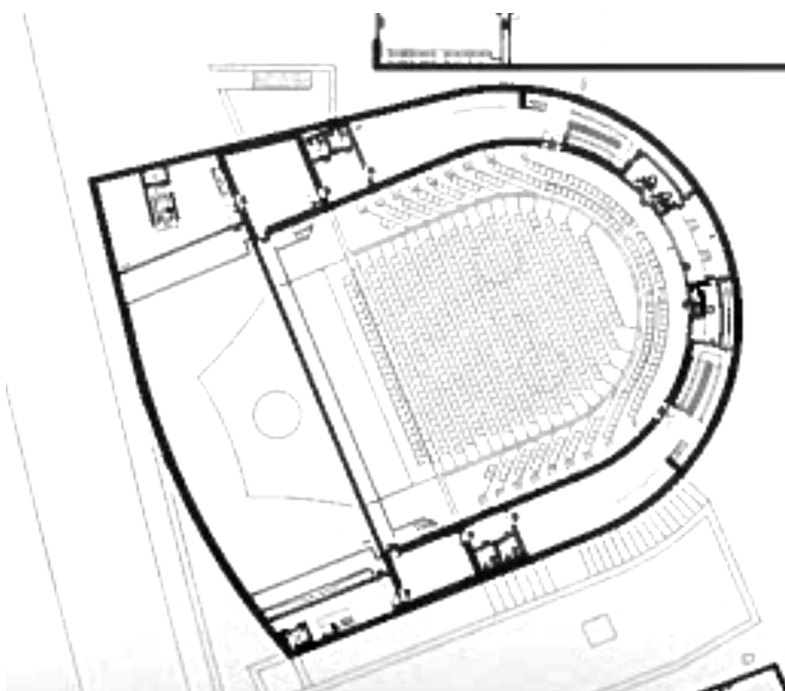


Figura 61 Planta do auditório do Centro Cultural de Revellín

Imagem retirada de:
Álvaro Siza. (2000). *El croquis*,
95.

5.1.6 - Reitoria da Universidade de Alicante

Na Reitoria da Universidade de Alicante é também possível ver um espaço, muito pequeno, que não se enquadra na tipologia de caixa de sapatos, uma vez que se desenvolve inteiramente em semicírculo, com bancos e plateia que acompanham também essa configuração.

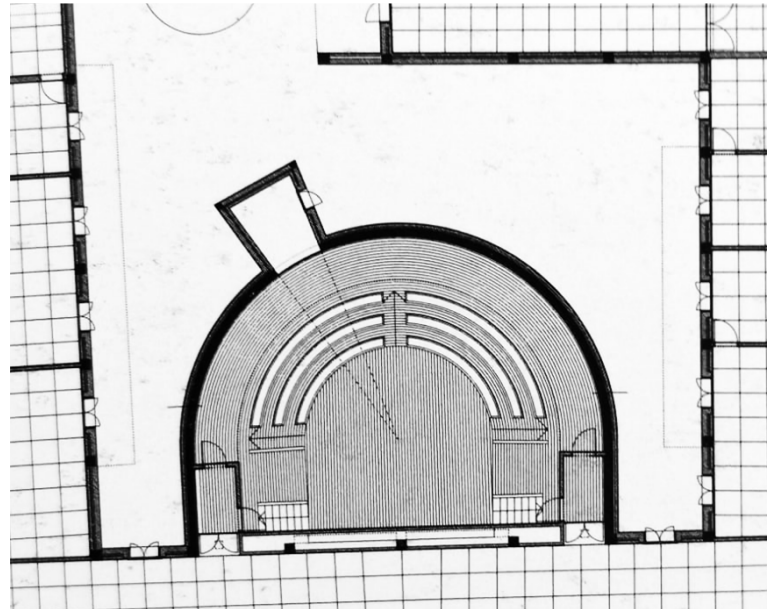


Figura 62 Planta do auditório da Reitoria da Universidade de Alicante

Imagem retirada de:
Álvaro Siza. (2000). *El croquis*,
95.

5.1.7 - Considerações sobre os vários Auditórios do Arquiteto Álvaro

Siza

Tendo em conta todos estes exemplos de espaços de espetáculo desenhados pelo arquiteto Álvaro Siza é possível compreender um tema geral tanto em relação à forma como tipologia entre eles, com as suas devidas exceções, e diferenças. Uma vez que neste trabalho se terá um espaço do arquiteto como base para a realização de uma série de experiências, é importante estabelecer uma base das obras construídas e dos seus temas, e apesar de se trabalhar com um espaço desenhado pelo autor, não há intenção de questionar o desenho formal e o seu enquadramento no conjunto, nem intenção de propor ou proporcionar alterações ao construído, é somente tido como base para aproximação à realidade e à escola onde o trabalho é desenvolvido. Para além disso, a intenção primária é a realização de um estudo e de uma demonstração de formas como é possível utilizar, tanto a parametrização como a análise acústica no desenho de uma sala de espetáculo. Também os espaços criados não devem ser tidos como uma geometria ou desenho final do espaço, mas sim utilizados num processo de descoberta do espaço e das relações entre a alteração na forma e o seu impacto no comportamento acústico da sala.

5.2 - Auditório Fernando Távora

O auditório da FAUP desenvolve-se em duas diferentes salas, uma com plateia inclinada e outra com plateia plana, divididas por uma parede retráctil que permite a criação de uma sala maior, definida pela junção de ambas. Tanto as paredes como o teto se mantêm planas ao longo de todo o comprimento da sala, sendo as paredes paralelas entre si e o teto paralelo ao chão da secção plana, integrando-se, de forma muito clara, numa sala de tipologia caixa de sapatos.

Neste caso, a qualidade que o distingue dos seus semelhantes é, maioritariamente, a parede retráctil que divide a secção inclinada da secção plana da sala, no entanto, a utilização das bancadas e cadeiras de madeira é um elemento que contrasta com os restantes.

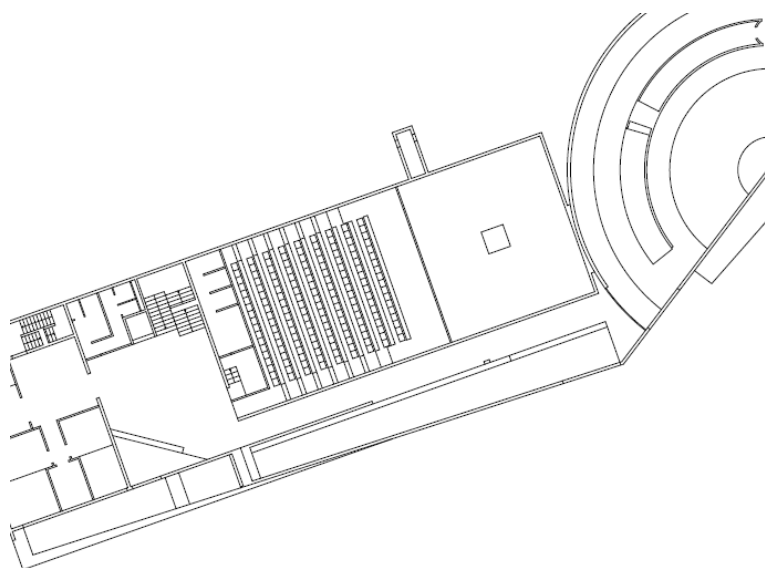


Figura 63 Planta do auditório da FAUP

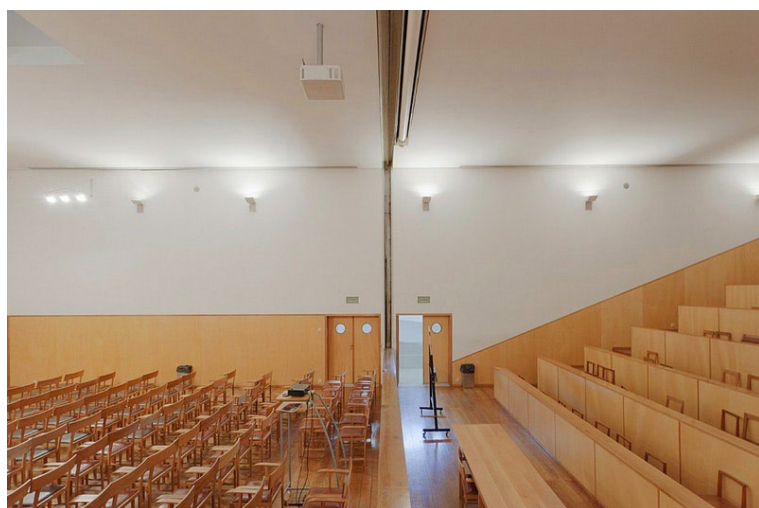


Figura 64 Vista da Parede retráctil do auditório da FAUP, com a Sala Plana do lado esquerdo e o Anfiteatro inclinado do lado direito.

Para efeitos deste trabalho serão consideradas ambas as iterações do Auditório Fernando Távora que englobam o desenvolvimento da plateia inclinada, ou seja, a sala com plateia inclinada quando a parede está erguida e o conjunto das duas salas quando a parede se encontra retraída, não tendo em conta, portanto, a sala plana quando a parede está erguida, uma vez que demonstra uma configuração menos relevante para o trabalho e as análises em causa.

Ambos os espaços são analisados, tendo em conta os mesmos recetores, alterando somente, o ponto da fonte sonora, uma vez que este normalmente se move de acordo com o volume a ser utilizado, estando encostado à parede divisória para o auditório pequeno, e à parede de fundo da sala plana, quando a parede é retraída.

Numa primeira análise, foram tidos em conta os espaços com cadeiras e as bancadas em madeiras, integradas tal como no espaço existente no edifício, permitindo ter uma ideia do comportamento do espaço tal como ele é, assim como criar uma base de comparação a utilizar nas experiências realizadas posteriormente.

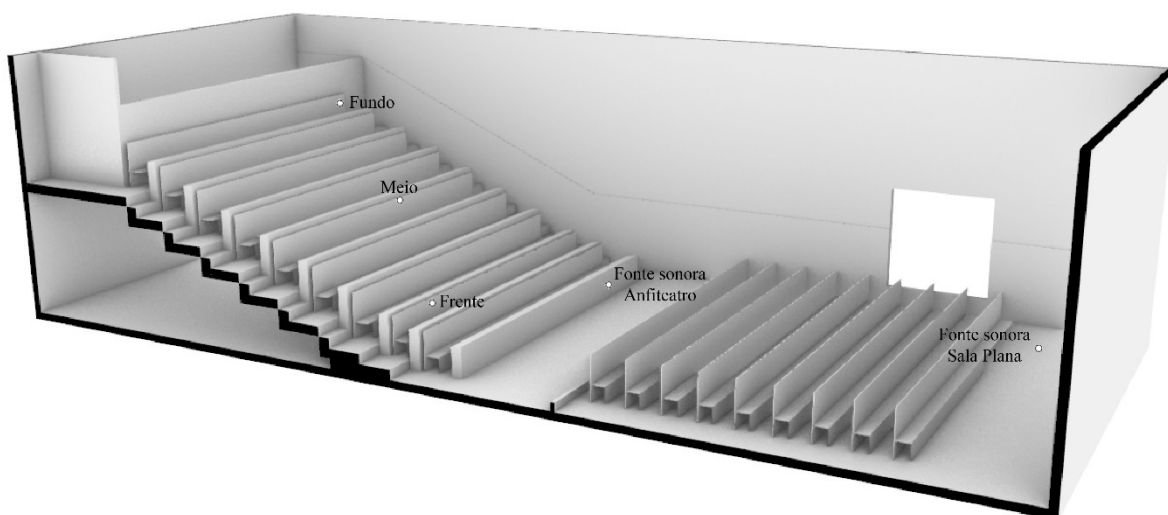


Figura 65 Vista do modelo tridimensional digital, realizado pelo autor, com a posição da fonte sonora e recetores utilizados para análises.

Resultados das análises do Anfiteatro Fernando Távora

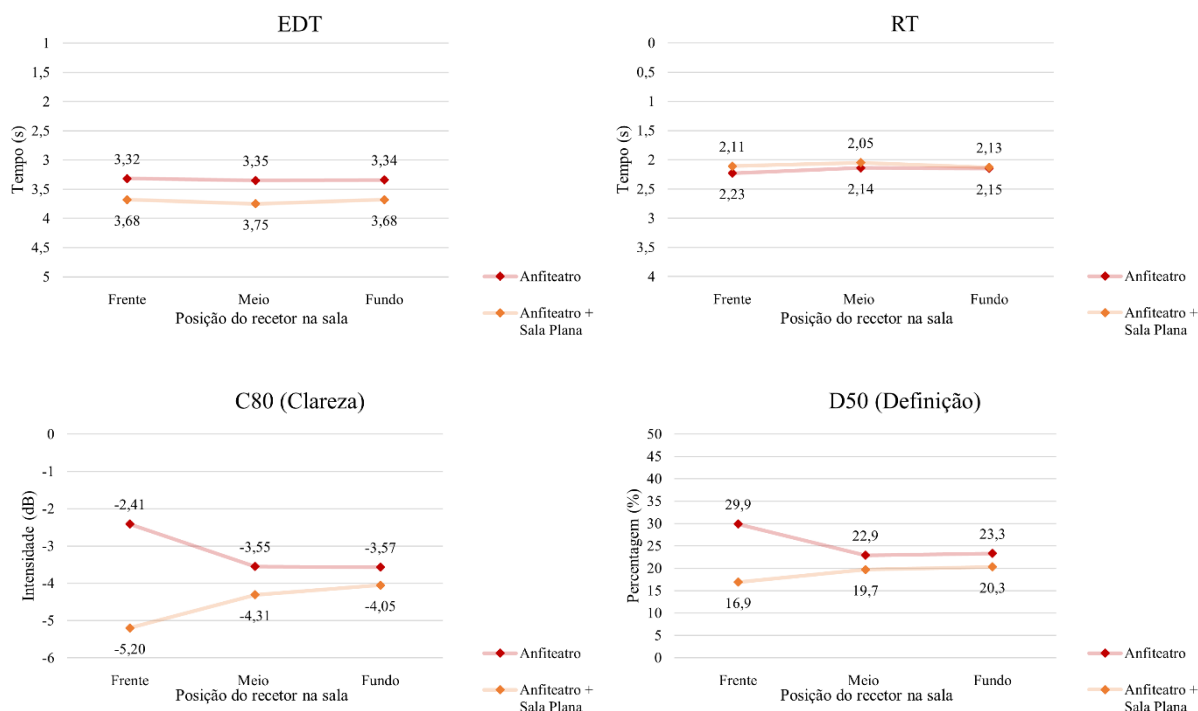


Gráfico 14

Através desta análise inicial, é possível perceber que o nível de qualidade acústica para um espaço com um fim maioritariamente académico, e, por conseguinte, onde a fala é o instrumento mais utilizado para a transmissão de informação e o meio mais utilizado, é um pouco abaixo do desejado, principalmente quanto mais longe da fonte sonora nos encontramos, pelo menos para a sala pequena, apresentando tempos de reverberação mais altos que o desejado, rondando os 2 segundos em ambos os casos, sendo ligeiramente melhor para o espaço maior, uma vez que o som tem mais volume de ar e de superfícies que irão promover a sua absorção e perda de energia. Para espaços com dimensões tão pequenas como estes, tendo em conta a generalidade de espaços de espetáculo, os tempos de reverberação, e substancialmente os de espaços destinados à fala, deveriam de estar pelos menos abaixo dos 2s, sendo tanto melhor quanto menor este tempo. Em relação ao EDT, vemos também valores ligeiramente mais elevados do que o RT, promovendo diretamente para uma pior inteligibilidade do som, comprovada também pelos extremamente baixos valores de clareza e definição.

Apesar destes valores não serem os ideais, o espaço com a parede erguida apresenta melhores características acústicas em geral do que o espaço maior, com uma aproximação em direção à posição mais funda da sala, sendo isso mais aceitável, devido ao aumento de volumetria entre o espaço de Anfiteatro e o espaço com a adição da Sala Plana.

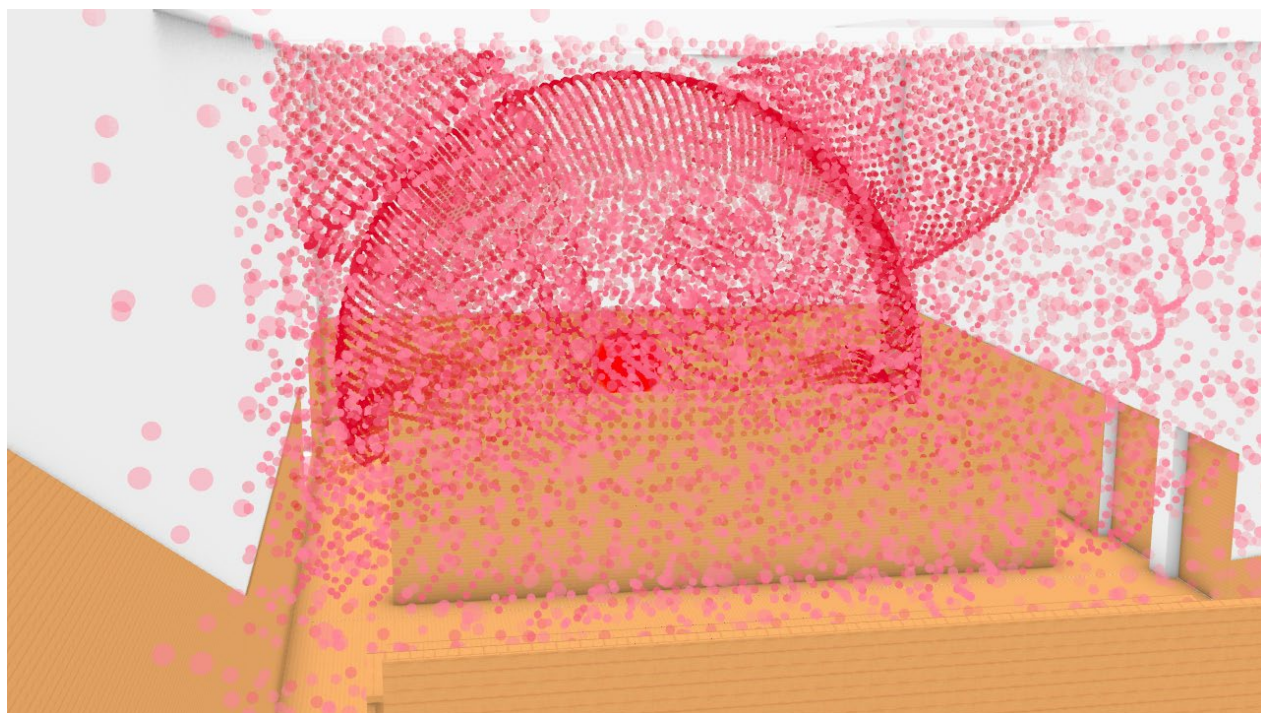


Figura 66 Vista do fundo da sala para o palco do modelo tridimensional do Anfiteatro Fernando Távora realizado pelo autor com simulação da propagação sonora, utilizada para realização das análises acústicas.

5.3 - Anfiteatro Fernando Távora – Secção Anfiteatro

5.3.1 - Tipo de Cadeiras

Mais uma vez, a primeira experiência a ser realizada inicialmente é a da alteração do revestimento utilizado para os elementos dos lugares, e também com especial menção, no caso da plateia da inclinada, das bancadas existentes, componente bastante prominente nesta parte da sala.

Um dos grandes pontos marcantes do auditório é a existência de bancadas de madeira, que permitem a sua utilização como um apoio ou mesa, no entanto, como visto anteriormente, as grandes superfícies de madeira, principalmente quando obstruem ou substituem a possibilidade da existência de elementos de têxtil, como o caso de cadeiras, deterioram drasticamente a qualidade do som no espaço para qualquer ouvinte que se encontre nele. Portanto, é possível prever que a realização, primeiramente, da retirada destes elementos, e, secundariamente, da substituição das cadeiras de madeira existentes por cadeiras de têxtil como as encontradas na maioria das salas de espetáculos do país, irá proporcionar uma melhor experiência auditiva para quem se encontre neste espaço.

Resultados das análises do Anfiteatro Fernando Távora com alteração das cadeiras e bancadas

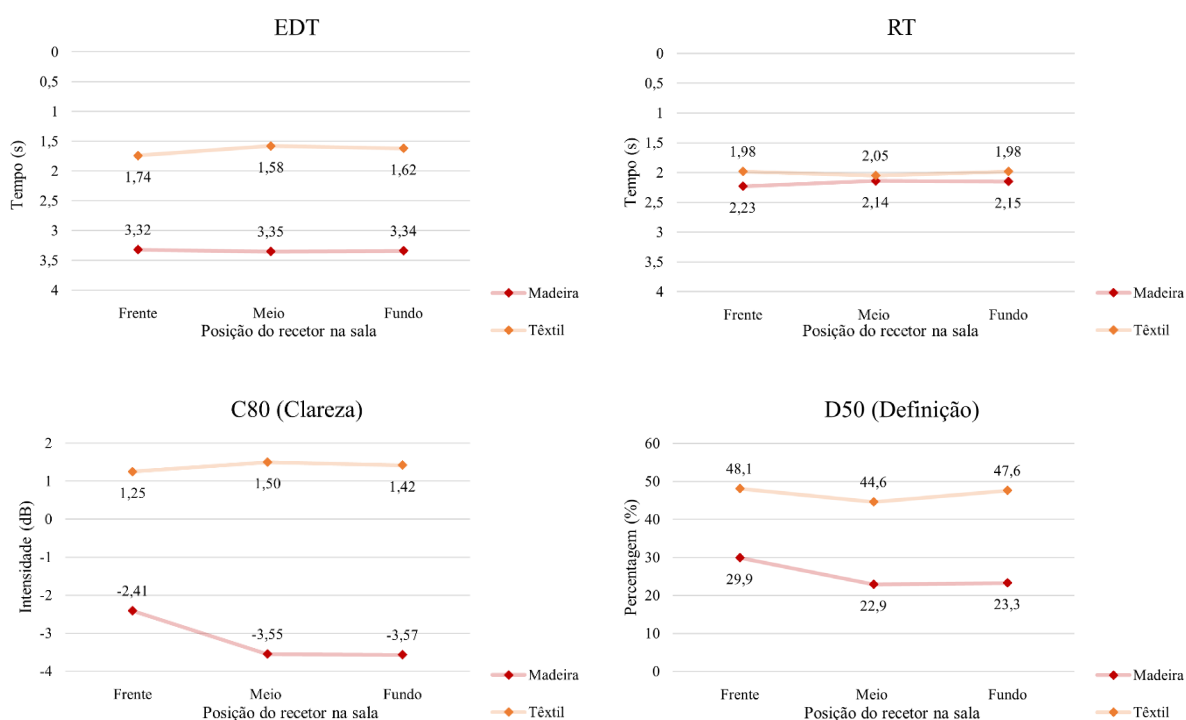


Gráfico 15

Nos resultados da alteração executada é visível o grande melhoramento da qualidade acústica que tal mudança apresenta sobre o espaço, provocando uma ligeira redução do EDT, assim como do RT, e ao

mesmo tempo melhorando drasticamente a clareza e definição, sendo tanto maior a melhoria quanto mais longe da fonte sonora foi a análise, de tal modo que no ponto de estudo mais longínquo, a definição viu um aumento de mais do dobro, enquanto, no ponto mais próximo houve um aumento que apesar de alto não chegou a ser o dobro do valor inicial. De forma semelhante, a clareza viu um aumento significativo, passando de valores consideravelmente negativos para valores claramente positivos, demonstrando, portanto, uma grande melhoria neste sentido por todo o espaço.

Para além de todas estas mudanças significativas, é também notável que a diferença encontrada é cada vez maior, quanto mais alta a oitava em análise. De acordo com o encontrado, e descrito na análise efetuada anteriormente sobre os espaços base, percebemos que qualidade sonora era cada vez pior quanto maior a frequência do som em causa, sendo, agora, notada a quantidade de compensação que as cadeiras em têxtil permitem para resolver essa questão.



Figura 67 Vista em corte da simulação da propagação do som no espaço com alterações no tipo de cadeiras e bancadas.

Esta alteração permite, portanto, não só criar um espaço com melhor qualidade, como também promove uma melhor equalização do espaço em relação a todas as frequências, aumentando a variedade de atividades a que o auditório consegue responder.

Tendo em conta que a sala apresenta muito melhor desempenho acústico quando são utilizadas cadeiras revestidas a têxtil, comparativamente com as cadeiras de madeira, será, portanto, este o tipo de objetos a ter em conta para as experiências que virão a ser realizadas, uma vez que o intuito inicial é de proporcionar um espaço com melhor comportamento acústico e, de acordo com os dados obtidos, não só em relação a este espaço, como a todos os anteriormente analisados, o resultado desta alteração de materiais seguiu sempre o mesmo padrão, nos quais os elementos em madeira demonstram um elevado grau de compromisso da qualidade acústica, é natural que seja esse o primeiro passo a tomar na procura de um melhor espaço.

5.3.2 - Revestimento das paredes e teto

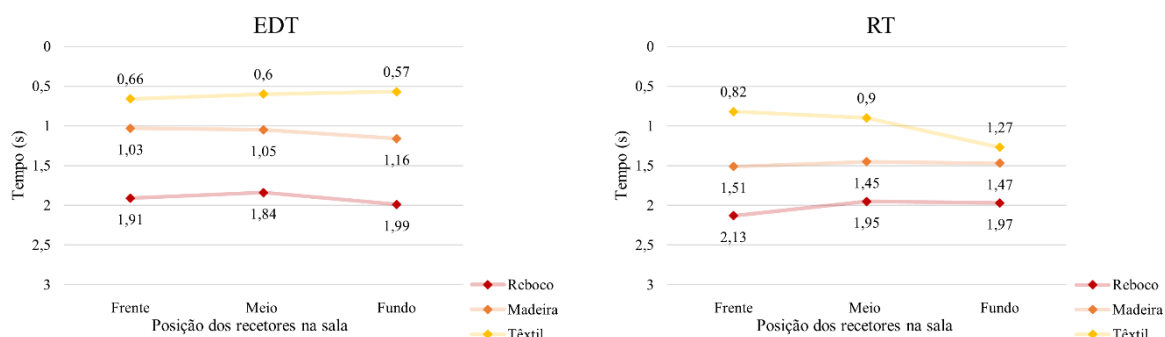
No espaço do AFT da FAUP vê-se maioritariamente o uso de dois materiais como revestimento, nomeadamente o reboco e a madeira, sendo a madeira usada na parte inferior do espaço, servindo para o pavimento e o seu remate com a parede na forma de um lambril, e, na parte superior, o reboco, cobrindo todo o resto do espaço, inclusive o teto.

Tendo isso em conta, uma das experiências a realizar, tal como o efetuado no caso imediatamente anterior é a alteração dos materiais de revestimento, o que, como foi possível observar no caso das cadeiras teve um grande impacto no comportamento acústico do espaço.

De uma forma equivalente à alteração que se realizou para o material das cadeiras, o mesmo será efetuado para o revestimento do que, no espaço real, se encontra revestido com reboco, nomeadamente as paredes e teto. Até agora tem-se vindo a trabalhar principalmente com três materiais, dos quais dois estão representados no espaço original, e um último que se introduziu na questão das cadeiras, levando a que se utilize todos esses materiais como matéria de experimentação para o caso em estudo. Apesar do têxtil não ser muito convencional como material de revestimento, pode ser utilizado como tal, e como já foi demonstrado e de acordo com as características acústicas e absorventes desse tipo de material, é um ponto oportuno a explorar, principalmente mantendo o lambril, criando uma proteção no contacto com o pavimento e reduzindo o contacto com os utentes, e de certa forma reduzindo os riscos da sua utilização.

Desse modo, será mantido o lambril existente em madeira, assim como o revestimento do pavimento, recorrendo-se somente à alteração da parte superior da sala, tanto para uma superfície em madeira, levando a que todo o espaço esteja revestido nesse mesmo material, como com a introdução do têxtil, elemento normalmente associado ao revestimento das cadeiras, tal como o observado no caso anterior.

Resultados das análises do Anfiteatro Fernando Távora com alteração do revestimento das paredes e teto



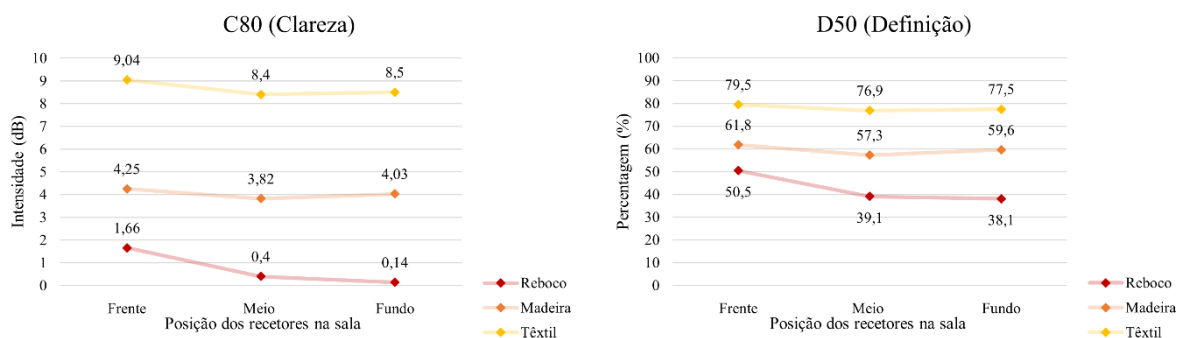


Gráfico 16

Neste caso, o espaço é inicialmente revestido a reboco, material que, de acordo com as análises realizadas, apresenta o pior grau de qualidade acústica a todos os níveis, tendo os EDT e RT mais elevados, assim como o mais baixo nível tanto de clareza como definição.

Tal como o observado no caso das cadeiras, em que o têxtil proporcionava um melhor desempenho acústico da sala, o mesmo se volta a repetir neste caso, tornando a madeira um nível intermédio entre os restantes revestimentos.

O desempenho demonstrado pelo espaço quando revestido a reboco apresenta um muito baixo nível de qualidade acústica, com tempos de EDT e RT muito elevados, principalmente para a volumetria da sala. Já no caso da madeira, nota-se uma redução para quase metade no EDT, e ainda uma redução considerável no caso do RT, de modo que se nota um grande aumento de clareza e definição.

O revestimento em têxtil apresenta claramente a mais elevada clareza e definição, em conjunto com o mais baixo EDT e RT que se viu até agora. No entanto, estes valores começam a ser um pouco excessivos para qualquer espaço, no sentido em que o espaço pode ser tornar demasiado seco, e absorver demasiado som, criando um espaço com uma sensação muito estranha, semelhante a uma câmara anecoica, onde não existe qualquer tipo de reflexões ou ecos. Este tipo de espaço enquanto muito bom para a inteligibilidade da fala ou dos sons existentes, não é um bom tipo de espaço para atividade associadas tanto a espetáculos como a qualquer outra atividade que possa ser realizada em espaços de espetáculo ou auditórios.

Portanto, apesar do têxtil demonstrar a melhor qualidade quando tendo em conta o grau de clareza e definição que o espaço promove, pode não ser o melhor revestimento para o tipo de atividades a serem desenvolvidas num espaço como o AFT, levando a que para o caso em estudo, se considere que a madeira seja o melhor material, entre os que foram analisados, para o desempenho das atividades às quais o espaço está destinado.

5.3.3 - Desenho em Planta

Numa tentativa de compreender a influência do desenho em planta do espaço na qualidade acústica, tomou-se esta sala como base inicial, introduzindo, de forma simétrica, uma inflexão na parede, criando

assim uma parede com dois planos oblíquos, mantendo a profundidade total, assim como a dimensão das paredes que se encontram nos topos da sala.

A geometria utilizada para as experiências a serem estudadas é obtida a partir da utilização de uma funcionalidade do programa grasshopper, que permite a realização de experiências consecutivas, com um parâmetro estabelecido como objetivo, sendo que inicialmente são geradas de acordo com um algoritmo aleatório, e, posteriormente, um algoritmo que gera progressivamente melhores resultados, indo de encontro ao estabelecido inicialmente. Para este trabalho, é somente usada a funcionalidade de geração aleatório, e utilizando uma série de geometrias geradas por tal algoritmo.

Por forma a obter as geometrias utilizadas para as análises nesta fase, foi tida em conta a geometria inicial do espaço, sendo posteriormente alterado o desenho das paredes com maior dimensão, por meio de introdução de uma nova aresta, criado assim a possibilidade da introdução de uma inflexão ao longo desse elemento. Uma vez que essa nova aresta pode estar localizada ao longo de todo o comprimento da parede inicial, incluindo nos extremos, encontra-se a possibilidade de a sala tomar um comportamento semelhante ao de um espaço em leque, ou de um espaço que causa reflexões em ambos os sentidos.

Para facilidade de compreensão e de comparação, as experiências serão agrupadas em grupos de 3, sendo este um número reduzido que permite uma fácil comparação, assim como permite inicialmente tentar criar alguns padrões que possam estar associados à diferente configuração formal do espaço, e de tal forma ajudar a encaminhar para a geometria que demonstra melhor desempenho acústico.

Resultados das análises do Anfiteatro Fernando Távora com alteração no desenho em planta

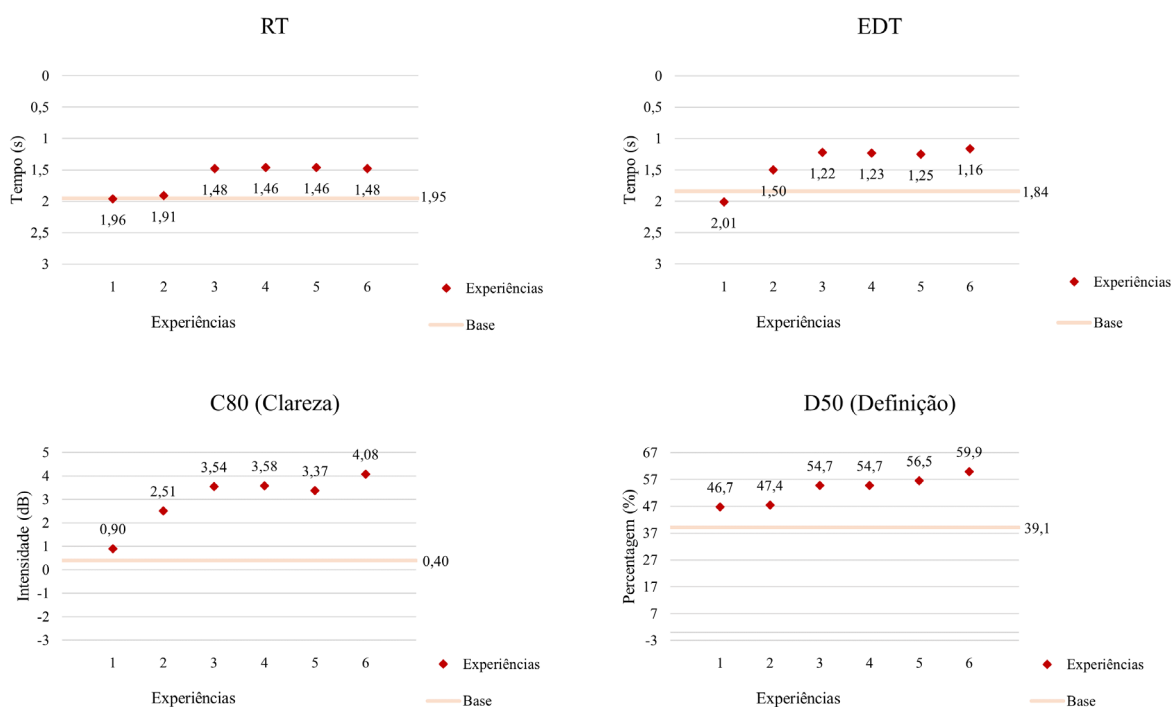


Gráfico 17

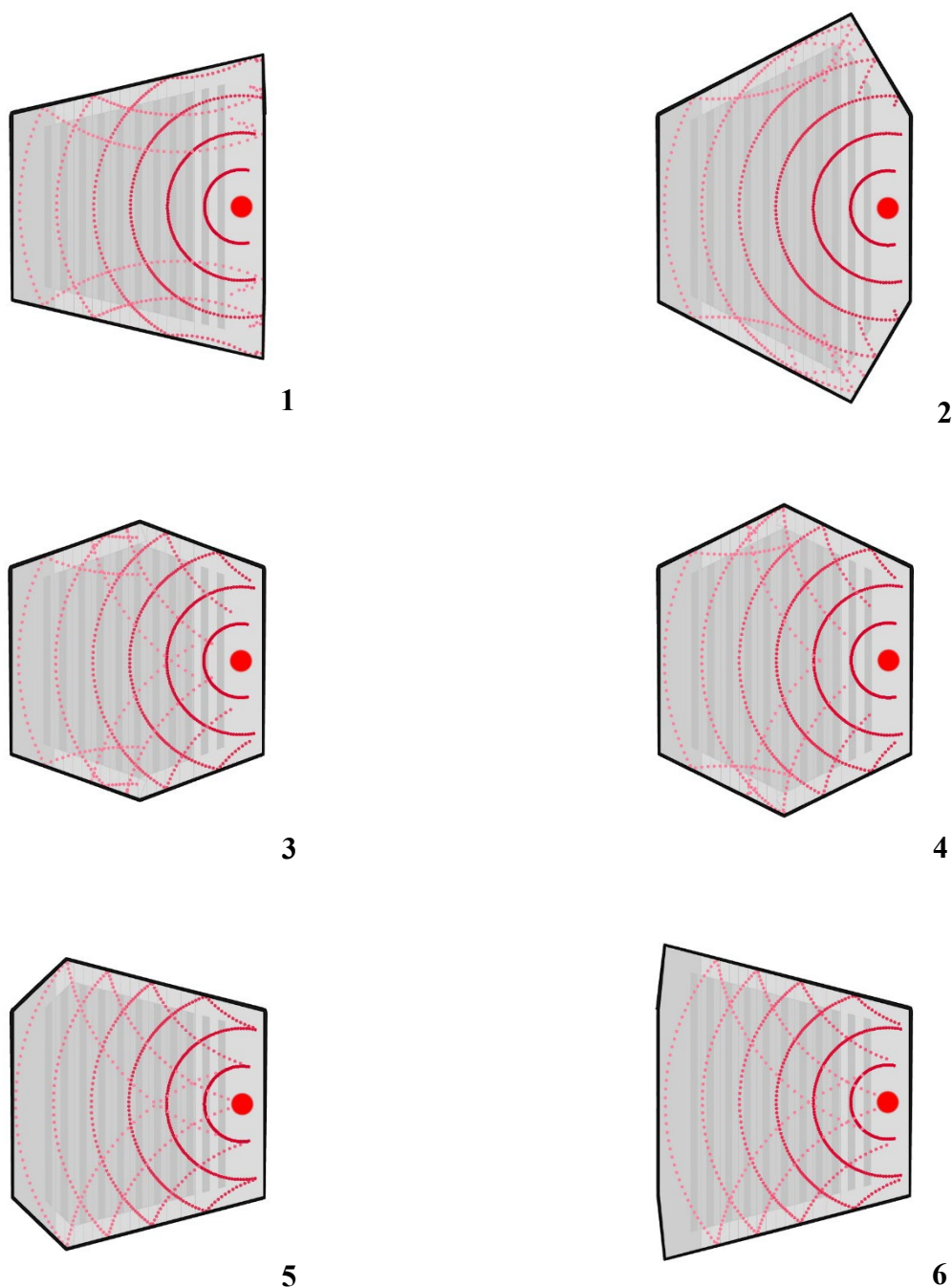


Figura 68 Plantas dos modelos tridimensionais das experiências realizadas para análise das alterações em planta no anfiteatro, com simulação da propagação do som.

Olhando para as análises obtidas dos resultados, nota-se uma progressão quase linear do comportamento acústico em relação com a alteração da posição da quebra, com uma redução progressiva do EDT e RT, e conseqüentemente o aumento da clareza e definição.

A quebra vai-se alterando ao longo do comprimento de toda a sala, começando do lado da fonte sonora até à parede mais longínqua, podendo a primeira experiência ser considerada um leque invertido, e a última semelhante à configuração de leque, com abertura para o fundo da sala.

No leque invertido, as paredes laterais, encontram-se mais longínquas no lado da fonte sonora, levando a que sejam refletidas mais para a frente da sala, e nomeadamente de volta para a fonte sonora, e de tal forma, o som que chega ao fundo da sala tem muito menor intensidade e quantidade de reflexões, sendo sempre devolvido maioritariamente para a frente da sala. Já na disposição em leque, as ondas sonoras são ligeiramente direcionadas para o fundo da sala, no entanto, isso não impede que mais perto da fonte sonora não se encontre também uma grande quantidade de som refletido, criando um espaço mais equilibrado, e, tal como demonstrado pelos resultados das análises realizadas, com melhor qualidade acústica. Este grande aumento de qualidade é notável na grande diminuição do EDT e RT, simultaneamente, estando também demonstrado no aumento registado na clareza e definição. Uma vez que o espaço tem uma volumetria pequena, a diminuição do RT representa uma grande vantagem para a qualidade sonora do espaço, principalmente quando considerando a atividade principal como sendo a fala, onde o baixo RT e a alta definição são os efeitos mais desejados.

Os exemplos 3, 4 e 5, apresentam um comportamento acústico muito semelhante, com alterações semelhantes em todas as características em análise. nestes exemplos a distribuição sonora é um pouco mais concentrada no centro da sala e fundo da sala, não estando tão bem distribuída como a que se encontra na última experiência, levando a que seja ligeiramente pior. Desse modo, também o som se torna menos equilibrado, e focado em alguns pontos da sala, ao invés de se distribuir ao longo de toda ela.

Apesar de se notar uma diferença de qualidade acústica ao longo das experiências realizadas, todas elas apresentaram desde o início um melhor desempenho em comparação com o espaço base original.

5.3.4 - Desenho em Corte

Da mesma forma que o executado para o desenho em planta, uma aproximação semelhante será tomada para o desenvolvimento de opções e experiências a serem realizadas para o desenho em corte.

As alterações efetuadas serão semelhantes às realizadas para as paredes, sendo agora desenvolvidas sobre o desenho do teto em particular, uma vez que se tenciona manter o desenvolvimento da plateia, tendo em conta, portanto, tanto o desenvolvimento encontrado na sala plana, assim como o da plateia inclinada, e, consequentemente, o conjunto total dos dois espaços. Dessa forma, o desenho do teto irá ser alterado pelo mesmo método utilizado no desenho da planta, excluindo a criação da simetria, uma vez que é considerado somente a alteração de um plano. Para isso será introduzida uma dobra que pode ser movimentada ao longo de todo o comprimento da sala, e com mudança de altura a que se encontra em relação ao espaço inicial. Estas alterações levam, tal como o observado nas experiências anteriores, a que o teto possa ter comportamentos em termos acústicos equivalentes a um teto plano, como é o caso do real, se a o ponto em que a dobra se encontrar muito próximo de qualquer um dos extremos do espaço, o comportamento passa a assemelhar-se ao de um teto de uma água, com inclinação continua ao longo do espaço, e no caso de se encontrar uma dobra no teto e este tome uma configuração equivalente claramente a um teto de 2 águas, oferecendo, portanto, uma secção em que o som é refletido num sentido, e posteriormente próximo do sentido contrário.

Sendo que o objetivo é criar um espaço de melhor qualidade, a alteração realizada anteriormente para o revestimento das cadeiras utilizadas, será mantido, levando a que se considere, tal como demonstrado pelo comportamento acústico, o revestimento a têxtil, assim como a remoção das bancadas de madeira existentes.

As experiências são apresentadas numa sequência em que a dobra se vai distanciando da parede do lado da fonte sonora até à parede mais longínqua do espaço, tal como o que acontece nas efetuadas em relação à planta.

Resultados das análises do Anfiteatro Fernando Távora com alteração no desenho em corte

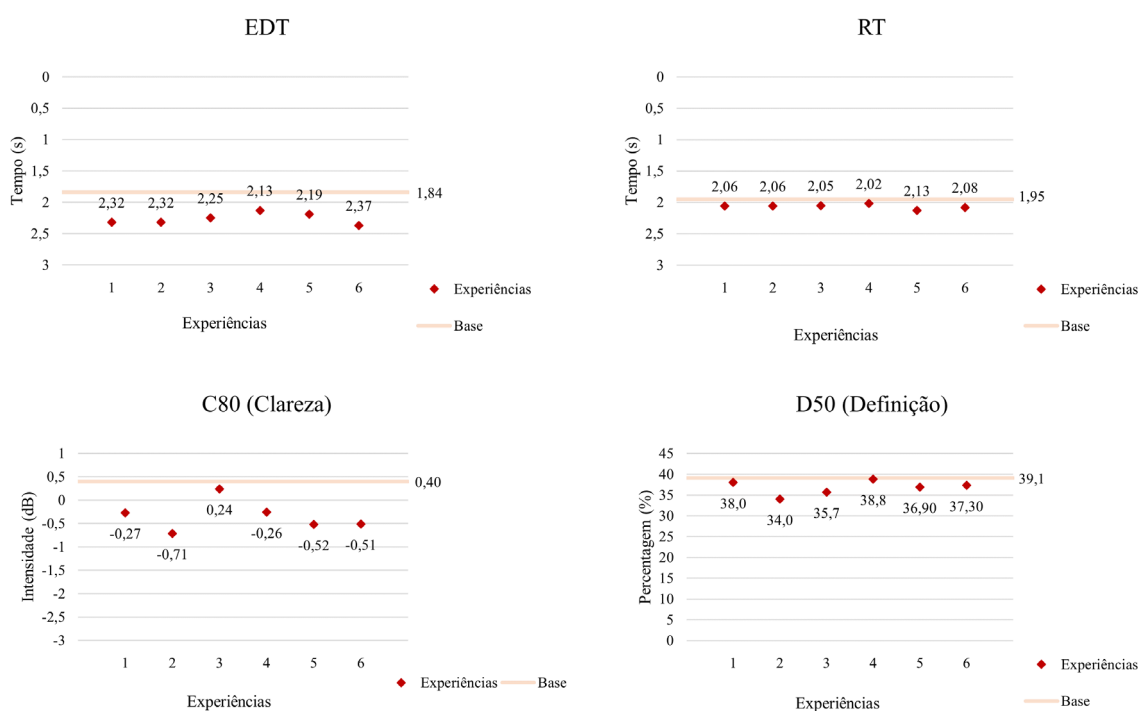
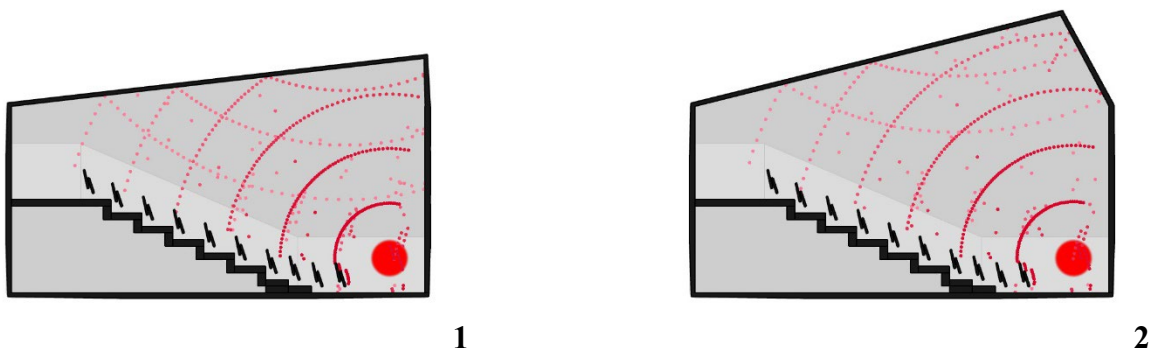
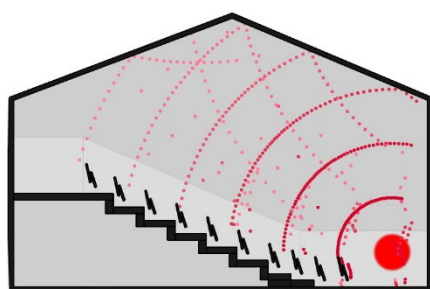
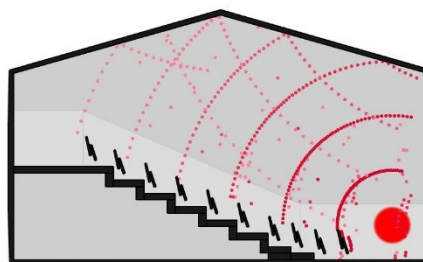


Gráfico 18

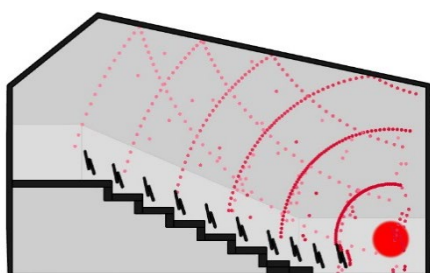




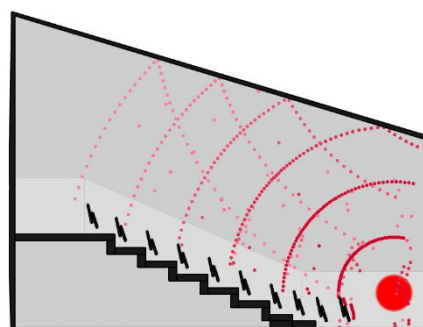
3



4



5



6

Figura 69 Cortes longitudinais dos modelos tridimensionais das experiências realizadas para análise das alterações em corte no Anfiteatro, com simulação da progressão do som.

Numa análise superficial dos gráficos, um ponto que salta à atenção, quando comparado com os resultados obtidos nas experiências anteriores, é, principalmente, a falta de sequência nos resultados obtidos comparativamente à posição da dobra no espaço em relação com a fonte sonora. Enquanto no caso das experiências sobre a planta se nota uma clara melhoria quanto mais longe da fonte sonora a dobra se encontrava, nestas experiências o mesmo não se observa.

Ao longo de todas as experiências, nota-se um comportamento muito semelhante, nomeadamente no sentido em que há maioritariamente um aumento do EDT, acoplado de uma redução da clareza. Sendo que também se observa, em geral, uma alteração muito baixa do RT, a alteração do EDT torna-se mais substancial quando tendo em conta os momentos mais tardios do som, nomeadamente associados à análise da Clareza em 80ms. De tal forma, e de acordo com o demonstrado e desenvolvido anteriormente, vendo que a relação entre EDT e RT se altera, inicialmente o tempo de decaimento inicial era menor que o RT, situação que se vê invertida em todas as experiências realizadas neste caso, provoca imediatamente a diminuição encontrada na clareza. A definição apesar de também sofrer uma ligeira diminuição, não é tão substancial como a encontrada na clareza.

Quando tendo em conta as experiências dos extremos, nomeadamente as experiências 1 e 6, não se encontra grande diferença nos resultados obtidos, apesar do comportamento das ondas sonoras serem severamente diferentes. No primeiro caso as ondas são refletidas mais para a frente da sala e de tal forma,

novamente para a fonte sonora, no entanto, o que se vê no último caso é uma reflexão muito mais direcionada para o fundo da sala. É também possível notar que no mesmo intervalo de tempo, as ondas sonoras refletidas no último caso atingem a plateia muito mais rapidamente do que o que se observa no primeiro caso. Este fenómeno deve-se não só à inclinação do teto, mas também à distância a que este se encontra da fonte sonora, no primeiro caso, o pé direito diretamente por cima da fonte sonora é muito mais elevado do que no caso final, levando a que as ondas sonoras muito mais rapidamente o atinjam um elemento que cause a reflexão e, por conseguinte, mais rapidamente sejam enviadas de volta para a plateia. Apesar dessa grande diferença em comportamento espacial, são os exemplos que apresentam maior proximidade um do outro, sendo o caso final, no entanto, o que apresenta um comportamento um pouco pior.

O exemplo que apresenta pior comportamento acústico é, claramente, o exemplo 2, em que se nota o menor nível, tanto de clareza como de definição, apesar de não ser o exemplo que apresenta o maior EDT, característica à qual se tem atribuído maioritariamente a redução da qualidade acústica. Tal como acontece na experiência 1, as reflexões ocorridas no teto são muito tardias, e, por conseguinte, também o som refletido a atingir a plateia também o é. Devido a isso, pode-se considerar que a perda de qualidade é derivada do aumento de pé direito e de volumetria, em conjunto com a direção da inclinação do teto. Este aumento de volumetria também é notável na experiência 3, no entanto, uma vez que as reflexões iniciais se dão numa superfície direcionada para o fundo da sala, e imediatamente a seguir, é refletido de volta para a plateia, este torna-se uma das experiências com melhor comportamento acústico, sendo bastante equiparado ao encontrado no espaço inicial.

Em geral, apesar de alguns exemplos se aproximarem da qualidade acústica inicial, em todos os casos se vê pelo menos uma redução de qualidade em alguma das características analisadas, levando a crer que o espaço no seu estado real atual é o que demonstra o melhor comportamento acústico.

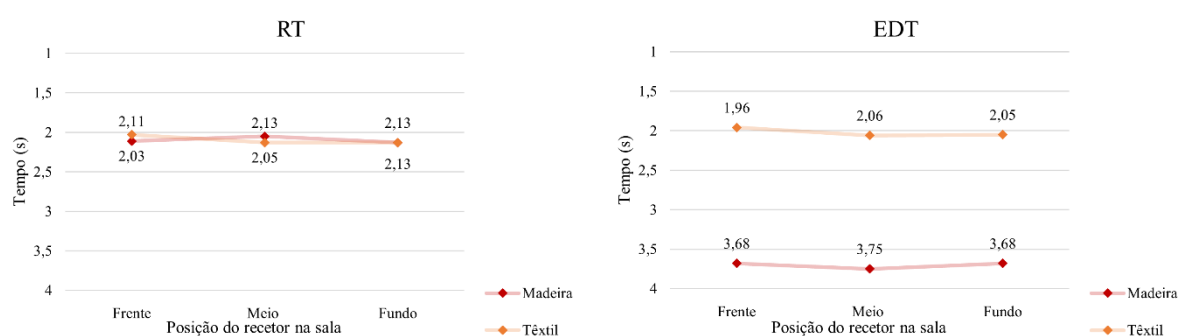
5.4 - Anfiteatro Fernando Távora -Anfiteatro + Sala Plana

5.4.1 - Tipo de Cadeiras

Tal como o executado anteriormente também a sala com a dimensão total, ou seja, com a parede intermedia retraída, e, de tal forma, após a criação da sala que engloba tanto a parte de plateia inclinada como a de plateia plana, será sujeita a uma alteração no material utilizado para revestimento das cadeiras. Na zona de plateia plana, ao contrário do ocorrido na plateia inclinada, não existem quaisquer tipos de bancadas, sendo, de tal modo, somente as cadeiras o elemento que se sente necessidade de alterar. De qualquer das formas, igual ao sucedido no caso anterior, para a plateia onde as bancadas estão presentes, estas deixarão de ser tidas em conta, uma vez que são um elemento que gravemente deterioram a qualidade sonora da sala. Sendo assim, todos os lugares possíveis de serem ocupados, dotados de cadeiras revestidas a têxtil.

De acordo com as análises realizadas, o resultado obtido é bastante semelhante ao obtido em relação ao caso da sala pequena, efetuado anteriormente, tornando-se uma sala com muito melhor qualidade acústica em todos os fatores analisados. Existe uma grande aproximação do EDT ao RT, o que de acordo com o explicitado anteriormente, via mais de encontro ao ideal para qualquer espaço, demonstrando uma diminuição de energia e intensidade quase linear. Ao mesmo tempo, isso contribui também para um grande aumento da clareza e definição, os quais, do mesmo modo que o observado no caso anterior, apresentam valores acima do dobro para a definição, e um salto de valores bastante negativos para positivos nos termos da clareza.

Resultados das análises do Anfiteatro Fernando Távora com alteração das cadeiras e bancadas



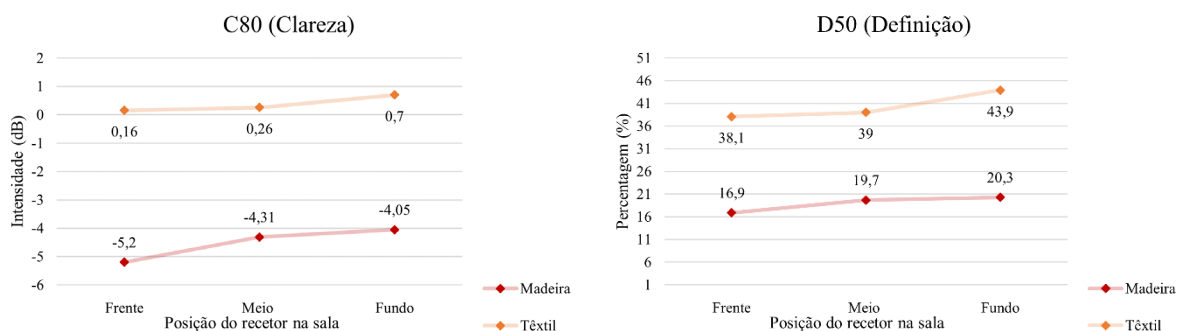


Gráfico 19

5.4.2 - Revestimento das paredes e teto

Mais uma vez, de acordo com as experiências realizadas para a sala mais pequena, repete-se a alteração do revestimento utilizado na parte superior da sala, ao longo das paredes e do teto, alterando o seu revestimento natural de reboco para alternativas como a madeira e o têxtil. Estando a ser utilizados os mesmos materiais, é de esperar que se encontrem alterações na mesma medida, em comparação com o que se visualizou no espaço anterior.

Resultados das análises do Anfiteatro Fernando Távora com alteração do revestimento das paredes e teto

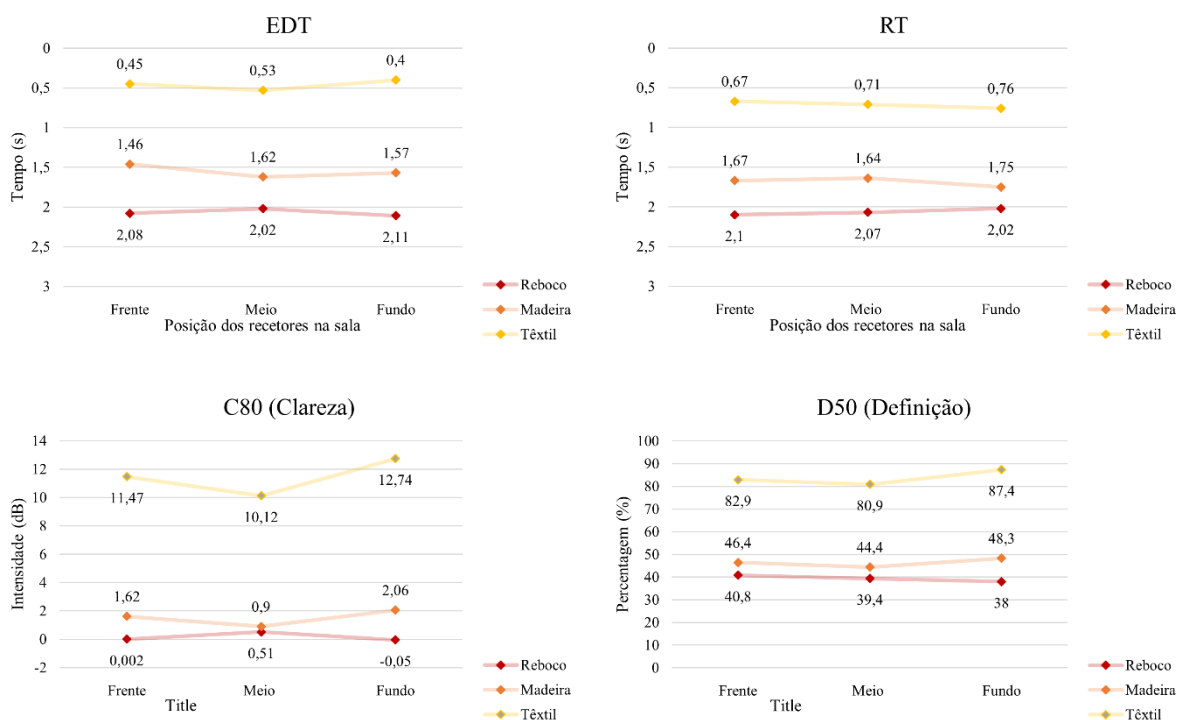


Gráfico 20

Tal como esperado, de acordo com as características dos materiais utilizados nas experiências e os resultados obtidos anteriormente, há um aumento progressivo da qualidade acústica do espaço do reboco para a madeira e desta para o têxtil.

Neste caso, como a sala em análise é de maior dimensão e volumetria, e os pontos dos recetores se encontram na mesma posição apesar da alteração da fonte, a distância entre estes dois pontos aumenta significativamente, levando a que neste caso os tempos do EDT e RT sejam ainda mais reduzidos do que os da sala anterior no caso do revestimento em têxtil, tendo também um muito mais alto nível de clareza e definição, com um aumento notável no fundo da sala, expectável com o aumento da distância e por conseguinte, muito maior absorção do som e diminuição da intensidade do som que inicialmente atinge os recetores.

Por outro lado, nota-se uma aproximação significativa dos restantes materiais, com alterações contrárias ao que se viu no caso do têxtil, tendo um menor nível de clareza e definição, principalmente no caso da madeira. Sendo que esta se aproxima muito mais do comportamento inicial do espaço revestido a reboco, mantendo ainda algum nível de melhoria em relação a esse. Esta diferença em relação ao comportamento encontrado no têxtil advém principalmente do diferente nível de absorção de ambos os materiais. Enquanto no têxtil o aumento da distância que o som necessita de percorrer ajudar a que este seja progressivamente absorvido pelas superfícies em que é refletido, no caso tanto do reboco como da madeira, esse som não é absorvido e é maioritariamente, refletido, fazendo com que este se continue a propagar com muito maior intensidade ao longo de uma distância muito mais elevada. Quando isso acontece, e o grau de absorção é muito menor, os materiais pouco absorventes tem um muito menor impacto na propagação do som em comparação com materiais mais absorventes, uma vez que o som acaba praticamente todo refletido.

5.4.3 - Desenho em Planta

De forma similar ao efetuado para a sala de menor dimensão, com a intenção de encontrar espaços que apresentem melhor desempenho acústico serão realizadas uma série de experiências que permitem fazer análises e, consequentemente, criar relações entre as alterações formais e geométricas do espaço e o seu comportamento em termos acústicos.

Tal como o executado para o desenvolvimento das experiências associadas ao espaço mais pequeno da plateia inclinada, o mesmo será efetuado agora, para o espaço com o seu tamanho total, incluindo, por conseguinte, o espaço com a porção de plateia plana.

O método para obtenção da forma e geometria utilizadas para realização das análises será também semelhante ao realizado para o espaço anterior de menor volumetria, sendo, portanto, utilizadas as mesmas ferramentas, assim como método de escolha dos espaços e tendo em conta parâmetros semelhantes, tendo, claramente, em consideração toda a área deste novo espaço, ou seja, as experiências agora realizadas, tem em conta as novas dimensões desta sala, ignorando os resultados obtidos para o espaço prévio.

Resultados das análises do Anfiteatro Fernando Távora com alteração no desenho em planta

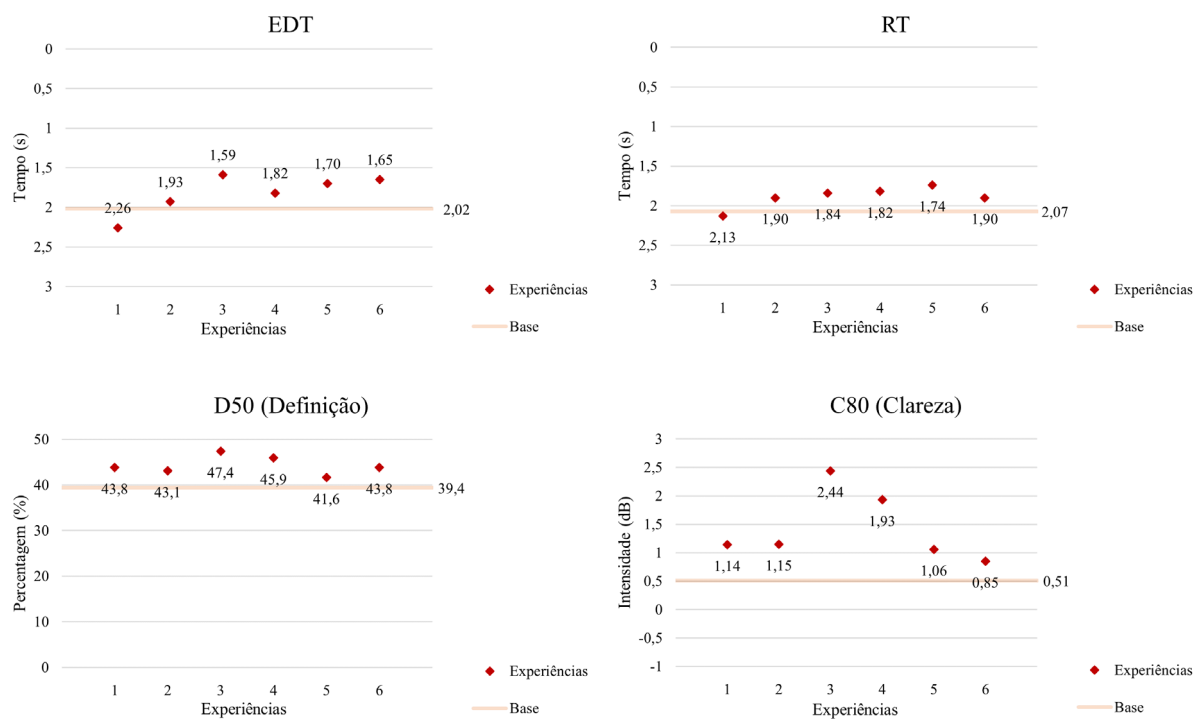
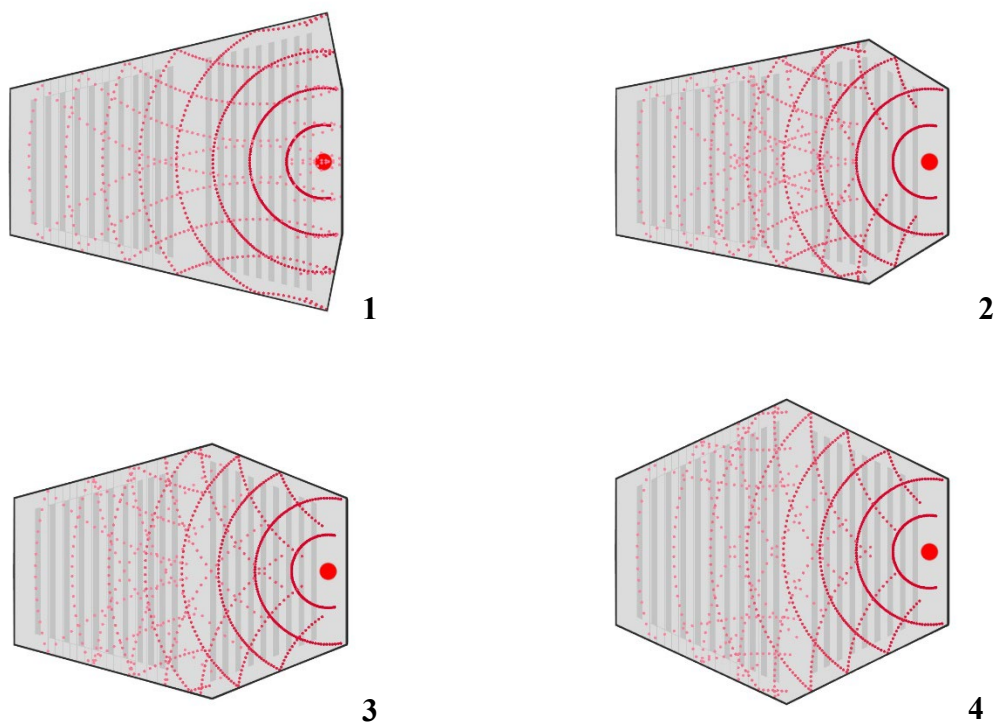


Gráfico 21



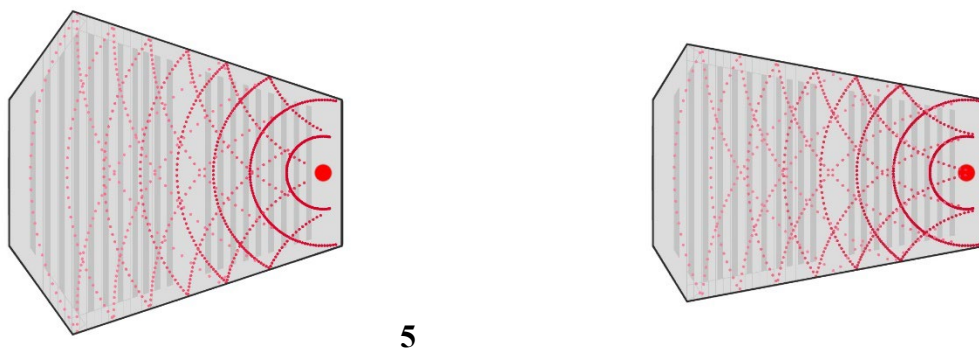


Figura 70 Plantas dos modelos tridimensionais das experiências realizadas para análise das alterações em planta no Anfiteatro + Sala Plana, com simulação da propagação do som.

Analisando o EDT e RT de todos os espaços nota-se uma única experiência em que o resultado obtido é de pior qualidade do que o espaço inicial, sendo essa, nomeadamente, a primeira experiência, em que o ponto da parede mais longínquo se encontra mais perto da parede do lado da fonte sonora, demonstrando a tipologia de leque invertido.

Em relação ao EDT e RT, nota-se alguma linearidade entre as experiências realizadas, com tendência para a diminuição progressiva de ambas as qualidades. No entanto, no caso do EDT, a experiência 3 é a que foge dessa norma, e no caso do RT, o mesmo se visualiza, em relação à última experiência. De acordo com os resultados obtidos nestes dois parâmetros, é possível prever que haja um aumento geral da qualidade sonora dos espaços em análise, derivado da redução encontrada em relação a ambos. O único caso que foge desta norma é possivelmente o primeiro caso, no entanto, quando recorrendo às análises realizadas sobre os outros dois parâmetros, clareza e definição, vê-se ainda assim, um ligeiro aumento mesmo para este caso.

A experiência 3, exemplo que se destaca em quase todos os parâmetros, saindo um pouco dos limites estabelecidos pelo primeiro e último exemplo, demonstra a maior redução do EDT, levando a uma grande diferença entre este valor e o valor do RT para o mesmo caso. De acordo com esse comportamento resulta o grande aumento encontrado na clareza e definição, tornando-se a experiência com melhor qualidade acústica do conjunto.

Apesar dá o grau de qualidade sonora obtido nas análises realizadas, quando observando a sequência da propagação das ondas sonoras, principalmente nos casos 2 a 4, as reflexões ocorridas nas paredes laterais, na zona mais próxima do palco são projetadas mais rapidamente para uma área mais longe da fonte sonora, deixando a zona imediatamente em frente à mesma a ser atingida somente por som direto. Para termos de compreensão do som e, em especial, da fala, este comportamento é muito favorável, principalmente na zona que não é atingida por nenhum som refletido, para além disso, uma vez que o som é projetado para o fundo da sala mais rapidamente, dá-se uma redução do EDT, assim como consequentemente do RT, proporcionando um aumento da qualidade, tal como o que se encontra em tais casos. Repara-se ainda na grande quantidade de ondas sonoras que atingem a zona central da sala, onde o recetor sonoro para a análise foi colocado, assim como a variedade de direções das ondas sonoras que atingem esse mesmo ponto, fenómeno que não acontece nas salas com configurações mais fortes num único sentido.

De uma forma geral, as experiências realizadas sobre a planta do espaço com maior volumetria apresentam todas uma melhoria de qualidade em relação ao espaço original, no entanto, não se nota uma linearidade relativa entre a alteração realizada no espaço de uma experiência para a outra, destacando-se principalmente as experiências número 3 e 4, que demonstram uma muito maior clareza e definição do que as restantes. Desta forma não se vê acontecer o mesmo que nas experiências para a sala pequena, em que as experiências demonstravam progressivamente melhor desempenho acústico, nestes casos, as experiências intermédias são as que apresentam melhores resultados, não se vendo uma clara progressão na configuração da sala em relação ao seu comportamento acústico. É também de notar que o melhor desempenho acústico da sala está também associado a uma configuração formal que promove reflexões mais forçadas para o fundo da sala tal como o que se encontra nos casos 2, 3 e 4.

5.4.4 - Desenho em Corte

Seguindo os modelos utilizados para as experiências realizadas até então, o mesmo será aplicado para as realizadas nesta secção, indo de encontro, principalmente às efetuadas para o estudo do teto para o espaço pequeno, tendo novamente um teto que com base no espaço original, introduzindo dois vértices no teto que permitem a criação de um teto que pode tomar a configuração e comportamento correspondente a um teto de 2 águas, assim como um de 4.

Resultados das análises do Anfiteatro Fernando Távora com alteração no desenho em corte

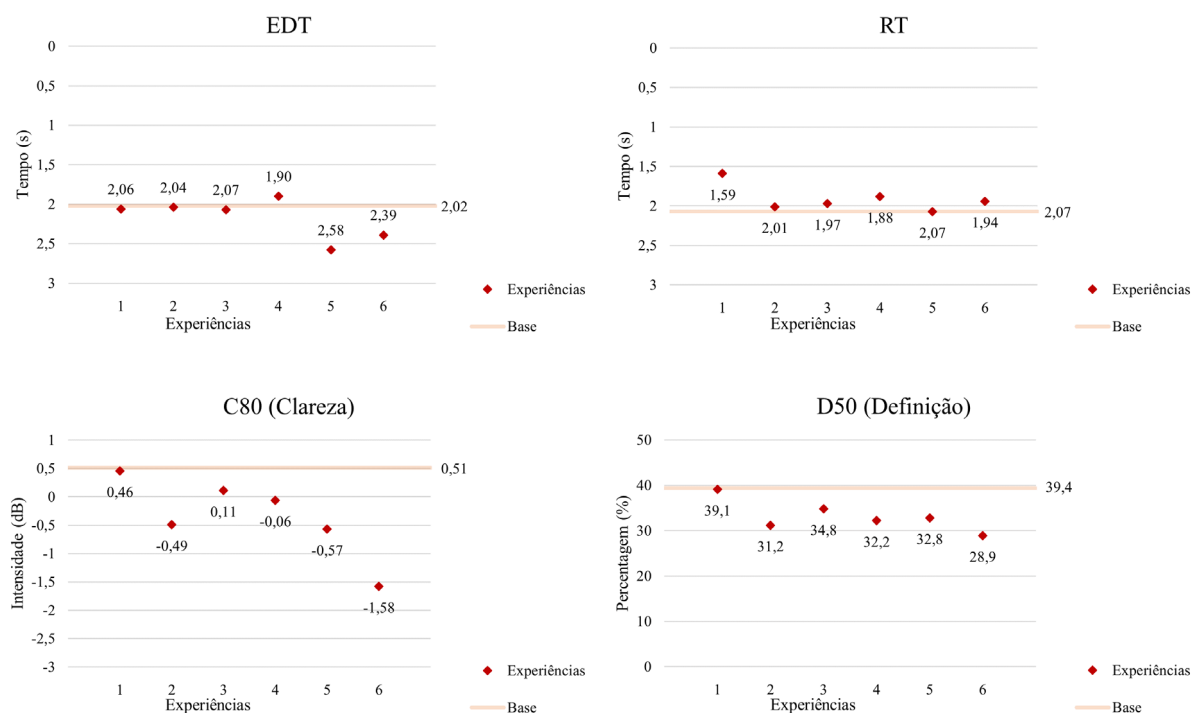


Gráfico 22

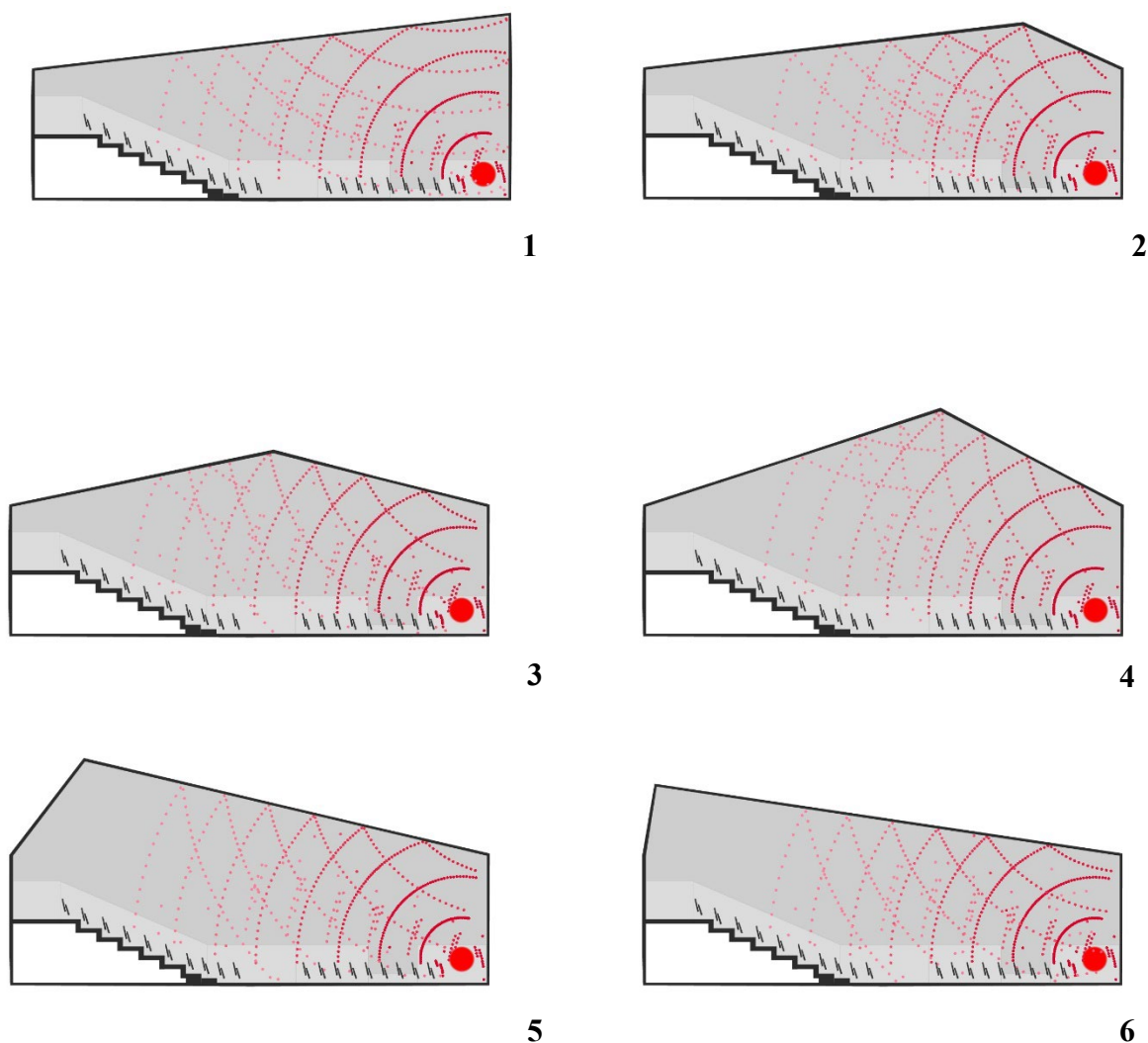


Figura 71 Cortes dos modelos tridimensionais das experiências realizadas para análise das alterações em planta no Anfiteatro + Sala Plana, com simulação da propagação do som.

Neste conjunto de experiências, os resultados obtidos são um pouco mais ambíguos do que os obtido no caso das experiências em planta, especialmente notável na diferença de comportamento entre o EDT e RT em relação ao espaço original.

Temos principalmente uma redução no EDT e ao mesmo tempo um aumento no RT, comportamento que, de acordo com o que se tem vindo a observar até então, deve representar uma deterioração da qualidade acústica geral do espaço. Apesar de serem flutuações de pequeno calibre, são suficientes para afetar os parâmetros da clareza e definição com grande impacto, onde se nota uma clara redução em ambos, ao longo de todas as experiências. Nota-se também uma deterioração progressiva da qualidade acústica com a progressão nas experiências, sendo o exemplo 2 o único que foge um pouco da linearidade entre os restantes, apresentando aliás, uma deterioração maior do que o expectável.

No exemplo 2, o fenómeno que se encontrou nas experiências 2 a 4 do conjunto anterior, em que as ondas sonoras eram refletidas diretamente para uma zona mais funda da sala, deixando a área mais próxima da fonte sonora sem qualquer som refletido nos momentos iniciais, volta a aparecer e pode ser uma das causas da grande diferença em qualidade em relação às restantes, uma vez que é um dos poucos exemplos onde isso se observa, em conjunto com a experiência 4. No caso do exemplo 4, nota-se no entanto, que muitas das ondas sonoras demoram um pouco mais a ser refletidas de volta para a plateia devido ao grande aumento volumétrico que se observa, isso permite que uma maior quantidade de energia seja dissipada, proporcionando ao espaço o menor tempo de decaimento inicial entre todos os exemplos analisados. Esse mesmo exemplo é o que tem maior volumetria entre todos os do conjunto, assim como o menor EDT, sendo este ainda mais baixo do que o valor original, não conseguindo, contudo, manter um baixo RT, e, de tal forma, também acaba por sofrer em termos de qualidade acústica geral, estando a meio do espectro em comparação com os restantes.

As últimas duas experiências do conjunto são as que em geral apresentam o pior comportamento acústico do conjunto, no entanto, há alguma incongruência entre o que se observa nos valores de EDT e RT, em comparação com a clareza e definição destes mesmo espaços. A experiência 5 apresenta o mais alto valor de EDT, assim como de RT, com uma diferença entre os dois sendo de 0.51s, no entanto, a experiência 6, apresenta ambos os valores ligeiramente mais baixos, e aliás com uma diferença menor, de 0.45s, fator que deveria demonstrar um melhor comportamento acústico. Apesar disso, o que se visualiza na clareza e definição demonstram o contrário, com uma maior clareza e definição para a experiência 5.

Tal como o observado no caso das experiências realizadas no teto para a sala pequena, também estas apresentam uma pior qualidade do que o espaço original com um teto horizontal, sendo ainda mais prominentes do que no caso anterior.

5.5 - Considerações sobre as experiências efetuadas

As experiências realizadas, não só no espaço do Anfiteatro Fernando Távora (AFT) como também nas restantes salas que foram analisadas inicialmente, fornecem um grande leque de informação em relação ao comportamento acústico do espaço de acordo com as alterações efetuadas formais ou materiais.

As alterações materiais apresentam em geral um menor grau de incerteza ou de surpresa no resultado possível de ser obtido, estando bastante interligado com as propriedades acústicas intrínsecas de cada um dos materiais utilizados, valores capazes de serem obtidos através dos fabricantes ou fornecedores acerca dos parâmetros de cada um deles. Isso leva a que, naturalmente, um material que proporcione um maior grau de absorção conduza à criação de um espaço com melhor performance acústica. Sendo sempre necessário, no entanto, ter em conta a quantidade e o grau do uso de materiais absorventes, sendo que a criação de espaços com qualidades mais próximas de uma câmara anecoica também não são os ideais para a execução de tarefas associadas ao normal funcionamento do espaço, tal como o que se observou no exemplo final do AFT com a secção de Anfiteatro e Sala Plana em conjunto.

Em relação às alterações formais nota-se uma grande variedade de efeitos que estas causam, com resultados diferentes para alterações que se podem considerar como semelhantes. No caso das alterações em corte realizadas ao longo de todos os exemplos, nota-se um melhor comportamento do espaço quando este é inclinado, e nomeadamente quando essa inclinação acompanha a inclinação da plateia, estando isso associado, a maior parte das vezes, a um aumento da cota do teto em direção ao fundo da sala. Este desenho do teto é também o que se encontra quando não estamos perante um teto plano, como observado no caso da Aula Magna, assim como em várias das salas desenhadas pelo arquiteto Álvaro Siza.

Já em relação à planta, somente se pode ter em conta as análises realizadas para o AFT, uma vez que as outras salas, apesar de apresentarem diferentes tipologias, são de difícil comparação derivado da grande quantidade de diferenças existentes de umas para as outras. Nesse caso, nota-se em ambas as instâncias da sala uma melhoria da qualidade acústica comparativamente ao espaço com paredes paralelas, apesar de se verem resultados de diferentes espécies para estes mesmos. Na sala mais pequena vemos a tipologia de leque, de certa forma indo de encontro com os teatros clássicos, a demonstrar o melhor desempenho acústico, enquanto que para a sala com maior volumetria isto não acontece, dessa forma, evidenciando a necessidade de estudar cada caso independentemente. Contudo, deve-se manter em mente experiências previamente realizadas no desenvolvimento de espaços de espetáculo com elevada qualidade acústica, facilitando a compreensão do comportamento acústico e, consequentemente, a criação de espaços com melhor desempenho.

A realização destas experiências é significativamente facilitada e melhorada com a utilização de modelos, sendo esse o método mais utilizado ao longo de toda a história do estudo acústico de espaços, permitindo que o grande nível de detalhes e pormenores que um espaço possa ter, consiga ser considerado quando realizando análises deste tipo. A possibilidade de realizar análises por uma vertente completamente matemática também existe, mas impede a consideração de muitos elementos utilizados no desenho

arquitetónico pelo que oferece uma muito pior e podendo oferecer resultados um pouco dissimuladores e longe do real. Com a introdução de tecnologia de modelação tridimensional digital, as análises em modelos tornam-se muito mais rápidas e eficazes, principalmente numa fase em que se realizam muitas experiências, tanto formais como materiais, de um projeto arquitetónico, fase essa que normalmente se desenvolve no início de um novo projeto. Estas tecnologias continuam a ser desenvolvidas levando a que esse processo se torne cada vez mais rápido e eficaz, com uma melhoria tanto das ferramentas de modelação como das de análise.

As experiências realizadas são principalmente de dois tipos, alteração de material de alguns elementos e alteração formal do espaço, demonstrando duas abordagens distintas de resolver e estudar a mesma questão, a acústica do espaço. Há ainda, para além destas duas abordagens, uma terceira, não estudada neste trabalho, que de certa forma engloba as duas simultaneamente, marcada pela criação de elementos adicionais como é o caso de painéis difusores. Este tipo de abordagem requer um estudo muito aprofundado de tais elementos e do seu impacto no espaço, com a possibilidade de alterações geométricas muito mais minuciosas do que as estudadas, assim como a utilização de variados materiais que promovam graus de absorção adequados para cada caso. De tal modo, tendo em conta os resultados das experiências efetuadas, novamente demonstradas nos gráficos abaixo, é possível colocar em causa os impactos que cada uma das opções tomadas tem no espaço, tentando determinar qual das abordagens seria mais beneficiária em termos de comportamento acústico assim como de impacto tanto arquitetónico como financeiro.

Comparação entre os melhores resultados obtidos entre todos os tipos de experiências

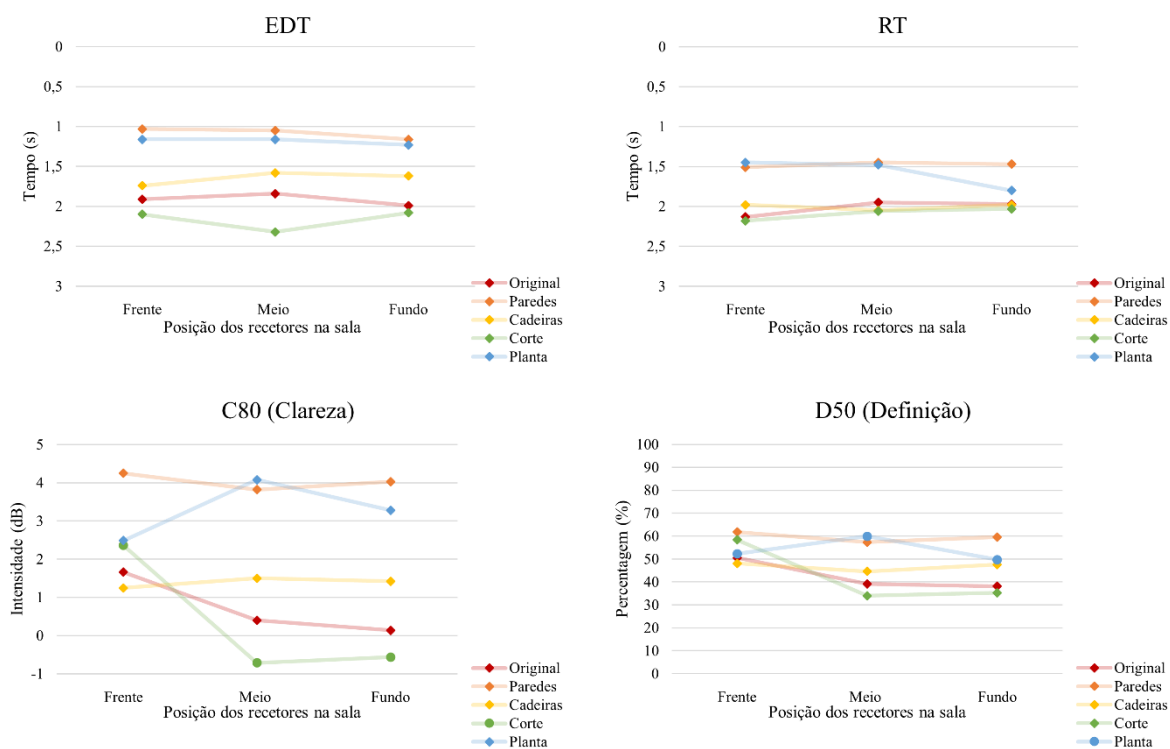


Gráfico 23

Em todos os casos analisados, as alterações de materiais, efetuadas nas cadeiras e paredes, apresentam um grau muito maior de consistência, apresentando sempre, uma melhoria do resultado acústico, fenómeno não observado no caso das alterações formais, principalmente em corte. Apesar de no caso do AFT se considerar o espaço com cadeiras em têxtil para as alterações formais, a diferença de qualidade acústica que se nota nos casos em que a alteração dos materiais está em causa, cadeiras e paredes e teto, é muito maior do que o registado para as alterações formais tanto em planta como em corte, uma vez que se nota, inclusive, uma descida de qualidade acústica em alguns dos exemplos.

As alterações em corte e planta apesar de apresentarem por vezes diferenças muito significativas, implicam uma mudança muito radical no espaço arquitetónico, encorajando a alterações formais que podem fugir dos objetivos iniciais do arquiteto e provocar uma perda de identidade e dificuldade de integração do espaço de espetáculo no conjunto geral do edifício onde este se insere. Para além disso, se considerado um espaço já construído, como foi o caso de todos os exemplos estudados até então, ainda mais fortemente implicados são os problemas que alterações formais provocam, forçando reconfigurações espaciais que não só são muitas vezes impossíveis de realizar, como exigem um custo incomportável para alteração de elementos constituintes do espaço.

Todas as experiências realizadas revelam a importância do estudo e introdução de análise acústica no desenvolvimento de um projeto com um espaço de espetáculo, independentemente de esse espaço ser o ponto focal. Esse trabalho de estudo acústico permite proporcionar a todos os utentes do espaço a melhor qualidade e aproveitamento possível, estando esse fenómeno no interesse de todos, tanto do arquiteto e engenheiros que projetam o espaço, como de todos os utilizadores que dele tiram partido.

Conclusão

Ao longo deste trabalho foi estudada a utilização de processos que permitem a integração de análise acústica espacial no desenvolvimento e desenho de um espaço, partindo inicialmente de uma compreensão das partes integrantes desse processo, nomeadamente o som, o tipo de espaço, assim como as ferramentas em utilização.

Dessa forma foi possível compreender que o estudo da acústica de espaços arquitetónicos é considerada há muito pouco tempo, quando comparado com o aparecimento de espaços dedicados a espetáculos. As técnicas utilizadas são muito semelhantes, tanto quando se utiliza meios digitais, assim como materiais, recorrendo substancialmente a modelos tridimensionais, sendo estes métodos os que permitem maior facilidade de compreensão, assim como resultados mais corretos.

Tanto os métodos digitais como os materiais apresentam vantagens e desvantagens. No caso dos digitais, há a possibilidade da integração de meios paramétricos e de tal forma, da criação e análise de uma variedade muito grande de hipóteses muito rapidamente, sendo uma ótima escolha para o desenvolvimento inicial de um projeto e permitindo uma noção geral da acústica do espaço. Por outro lado, os métodos materiais requerem um estudo muito mais profundo, e um desenvolvimento cuidado do modelo em si, necessitando da realização de experiências para aproximar o comportamento dos materiais utilizados no modelo aos materiais a serem utilizados no objeto final. Para além desse trabalho derivado da alteração da escala, há ainda também a questão do tempo necessário para a construção dos modelos, tornando todo o processo mais longo e custoso.

A utilização dos meios digitais permitiu a realização das análises às diferentes salas em estudo, possibilitando a compreensão do comportamento das diferentes tipologias, e facilitando a realização de uma comparação direta das características mais prominentes de cada uma.

Os comportamentos observados nestes 3 casos, são depois novamente observados no caso de estudo aprofundado, o Auditório Fernando Távora, a partir da realização de todas as experiências. Notando que muitos dos resultados obtidos vão de encontro aos resultados obtidos nos espaços analisados previamente.

Apesar de se compreender que as alterações efetuadas nos materiais tem o impacto mais significativo e consistente, é preciso também notar que a forma teve algum impacto no desempenho acústico de todos os espaços em estudo, principalmente nas experiências realizadas, sendo isso possível de observar através da comparação direta realizada entre as diferentes experimentações.

Bibliografia

- Blanco, M. Ú. (2002). *La maqueta como experiencia del espacio arquitectónico* (1.^a ed.). Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial.
- Boulet, M.-L., Moissinas, C., & Soullignac, F. (1990). *Auditoriums* (1.^a ed.). Editions du Moniteur.
- Breton, G. (1989). *Theatres* (1.^a). Editions du Moniteur.
- Carneiro, L. S. (2002). *Teatros portugueses de raiz italiana* (Vol. 2). FAUP.
- Carpó, M. (2017). *The second digital turn: Design beyond intelligence*. MIT Press.
- Ham, R. (1972). *Theatre Planning*. The architectural Press.
- Henrique, L. (2002). *Acústica musical* (1.^a ed.). Fundação Calouste Gulbenkian.
- Kalay, Y. E. (2004). *Architecture's New Media—Principles, Theories and Methods of Computer-Aided Design* (1.^a ed.). The MIT Press.
- Leal, A. (2020). *Álvaro Siza: Built works: Unbuilt works* (Vol. 1). AMAG publisher.
- Mauvan, J. (2011). *Shoe Box: An analysis of the concert hall and its adaption to small-scale music performance space*. Victoria University of Wellington.
- Orlowski, R. (2021). The historical use of models in the acoustic design of buildings. Em *Physical Models—Their historical and current use in civil and building engineering design* (Bill Addis, pp. 767–792, 985–990). Wilhelm Ernst & Sohn.
- Pardal Monteiro, J., & Pardal Monteiro, M. (2013). *Pardal Monteiro 1919-2012*. Caleidoscópio - Edição e Artes Gráficas, S.A.
- Peters, B., & Olesen, T. S. (2010). Integrating Sound Scattering Measurements in the Design of Complex Architectural Surfaces—Informing a parametric design strategy with acoustic measurements from rapid prototype scale models. *Simulation and Visualization, Prediction and Evaluation - eCAADe* 28, 11.
- Pierce, J. R. (1983). *The science of musical sound*. Scientific American Library.

- Pillsbury, J., Sarro, P. J., Doyle, J., & Wiersema, J. (2015). *Design for Eternity—Architectural models from the Ancient Americas* (1.^a ed.). Yale University Press.
- Piqueras, N. (2003). *Álvaro Siza y la arquitectura universitaria*. Universitat de València.
- Rayleigh, J. W. S. (1945). *The Theory of Sound* (2.^a ed., Vol. 1). Dover Publications.
- Rindel, J. H. (2002). Modelling in auditorium acoustics—From ripple tank and scale models to computer simulations. *Revista de Acústica*. Vol. XXXIII. Nos 3 y 4, 31–35.
- Roederer, J. G. (1974). *Introduction to the Physics and Psychophysics of Music* (1.^a ed.). Springer-Verlag New York Inc.
- Schodek, D., Bechthold, M., Griggs, K., Kao, K. M., & Steinberg, M. (2005). *Digital Design and Manufacturing: CAD/CAM Applications in Architecture and Design*. John Wiley & Sons, Inc.
- Vidiella, À. S. (2009). *Álvaro Siza. Apontamentos de uma arquitectura sensível*. Bertrand Editora, Lda.

Índice de Figuras

Figura 1 Representação de gráfico que demonstra o comportamento de um ponto em torno de um círculo ao longo do tempo. “-A” e “+A” re-presentam os limites de amplitude, demarcado também por “A”. T re-presenta um ciclo inteiro, ou seja, a periodicidade e frequência do movimento.

Imagem retirada de: Juan G. Roederer, *Introduction to the Physics and Psychophysics of Music*, 1.^a ed., Heidelberg Science Library 16 (New York: Springer-Verlag New York Inc., 1974)

Figura 2 Representação de gráfico que demonstra o comportamento de um ponto em torno de um círculo ao longo do tempo, com inícios em diferentes pontos (P e Q), demonstrando a diferença entre fases.

Imagem retirada de: Juan G. Roederer, *Introduction to the Physics and Psychophysics of Music*, 1.^a ed., Heidelberg Science Library 16 (New York: Springer-Verlag New York Inc., 1974)

Figura 3 (Esquerda) Representação de 5 momentos diferentes no decorrer de um movimento longitudinal. (Direita) Representação de 5 momentos diferentes no decorrer de um movimento transversal.

Imagens retiradas de: Luís Henrique, *Acústica musical*, 1.^a ed., 1 vols. (Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002)

Figura 4 Representação em planta de uma onda circular que ao longo do tempo devido à propagação toma uma configuração mais semelhante, até ao ponto de se comportar como uma onda plana, devido à redução do ângulo.

Figura 5 Representação de 3 diferentes configurações de reflexão. A- Reflexão num plano convexo, refletindo a onda para o exterior. B- Reflexão num plano concavo, refletindo para o interior. C- Reflexão num plano irregular criando uma dispersão e reflexão aleatória.

Imagem retirada de: Luís Henrique, *Acústica musical*, 1.^a ed., 1 vols. (Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002)

Figura 6 Representação em planta da difração ocorrida quando um plano deixa de existir ao longo da propagação de uma onda.

Imagem retirada de: Luís Henrique, *Acústica musical*, 1.^a ed., 1 vols. (Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002)

Figura 7 Envase com bico modelado com aspeto de casa. Cultura Cupisnique, Peru, 1200–800 a.c. Museo Larco, Lima

Imagem retirada de: Joanne Pillsbury et al., *Design for Eternity - Architectural models from the Ancient Americas*, 1.^a ed., (New York: Yale University Press, 2015)

Figura 8 Modelo de casa. Representando algumas das atividades do dia a dia. Nayarit, Mexico, 100 a.c.–d.c. 200. The Metropolitan Museum of Art, New York

Imagem retirada de: Joanne Pillsbury et al., *Design for Eternity - Architectural models from the Ancient Americas*, 1.^a ed., (New York: Yale University Press, 2015)

Figura 9 Antoni Gaudí ao lado de maquete de esforços realizada pelo mesmo.

Imagem retirada de: <https://edition.cnn.com/style/article/sagrada-familia-history-robots-test-of-time/index.html>

Figura 10 Computador de primeira geração IBM 650

Imagem retirada de: https://www.ibm.com/ibm/history/exhibits/650/650_album.html

Figura 11 Computador moderno IBM PC

Imagem retirada de: https://www.ibm.com/ibm/history/exhibits/pc25/pc25_PH01.html

Figura 12 Ivan Sutherland a usar o programa sketchpad em 1963.

Imagem retirada de: <https://bimaplus.org/news/the-very-beginning-of-the-digital-representation-ivan-sutherland-sketchpad/>

Figura 13 *Pez Olímpico de Frank O. Gehry*

Imagem de Pol Masil, retirada de: <https://www.archdaily.com.br/br/620602/o-legado-arquitetonico-dos-jogos-olimpicos-de-barcelona-de-1992>

Figura 14 Desenho virtual em 2D realizado em programas de representação atuais

Figura 15 Vista aérea do teatro grego de Epidauro

Fotografia de George Pachantouris

Figura 16 Vista do Teatro Romano de Mérida

Figura 17 Vista de lado do palco do Teatro Globo de Shakespeare, Londres

Fotografia de Peter Dazeley

Figura 18 Planta do teatro olímpico, após intervenção de Scamozzi

Imagem retirada de: <https://www.theatre-architecture.eu/en/db/?theatreId=372>

Figura 19 Vista para o palco do teatro olímpico de Palladio e Scamozzi

Imagem retirada de: <https://www.theatre-architecture.eu/en/db/?theatreId=372>

Figura 20 Corte com perspectiva do teatro de Besançon

Imagem retirada de: <https://www.theatre-architecture.eu/en/db/?theatreId=1019>

Figura 21 Vista da ópera de Bayreuth

Imagem retirada de: <https://g.co/arts/54NCAhd2Pg564Pkn7>

Figura 22 Vista para o palco do auditório da Filarmónica de Berlim

Imagem retirada de: <https://philharmonie.com/en/venue/philharmonie-berlin>

Figura 23 Experiências com fotografia de Ondas sonoras na secção de um modelo do New Theatre, New York

Imagem retirada de: Wallace C. Sabine, “Theatre Acoustics,” *American Architect* 104, no. 1984 [31 Dec. 1913], 269

Figura 24 Imagem obtida de uma experimentação em tanque de ondas. Tirada por Schlieren do Gewandhausaal em Leipzig

Imagem retirada de: Rindel, J. H. (2002). Modelling in auditorium acoustics—From ripple tank and scale models to computer simulations. *Revista de Acústica. Vol. XXXIII. Nos 3 y 4*, 31–35.

Figura 25 Imagem de experiência com raios de luz num modelo do Okuma Memorial Hall
Imagem retirada de: Rindel, J. H. (2002). Modelling in auditorium acoustics—From ripple tank and scale models to computer simulations. *Revista de Acústica. Vol. XXXIII. Nos 3 y 4*, 31–35.

Figura 26 Imagem do engenheiro acústico Yasuhisa Toyota, dentro do modelo da Elbphilharmonie.
Imagem retirada de: <https://www.youtube.com/watch?v=fl70cuumM-0>

Figura 27 Parede difusora, desenhada através de parametrização.
Imagem retirada de: Peters, B., & Olesen, T. S. (2010). Integrating Sound Scattering Measurements in the Design of Complex Architectural Surfaces—Informing a parametric design strategy with acoustic measurements from rapid prototype scale models. *Simulation and Visualization, Prediction and Evaluation - eCAADe*

Figura 28 Análises da intensidade sonora de um som no espaço de cacifos da South Harbor School, projetada por JJW Architecture.
Imagem retirada de: Peters, B. (2011). *Integrating Acoustic Analysis in the Architectural Design Process using Parametric Modelling*. Forum Acusticum 2011, Dinamarca.

Figura 29(Esquerda) Difusores com o material absorvente incorporado
Imagem retirada de: <https://kahle.be/en/ref/casaMusicaPorto--.html>

Figura 30 (Direita) Painéis refletores adicionados nas laterais do palco
Imagem retirada de: <https://kahle.be/en/ref/casaMusicaPorto--.html>

Figura 31 Vista completa do palco após as intervenções acústicas, incluindo os painéis refletores, alteração da cortina e da posição da superfície refletora por cima
Imagem retirada de: <https://kahle.be/en/ref/casaMusicaPorto--.html>

Figura 32 Vista do Auditório da Elbphilharmonie, Hamburgo
Imagem retirada de: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/230-elbphilharmonie-hamburg/>

Figura 33 Painéis difusores criados parametricamente, especificamente para a Elbphilharmonie
Imagem retirada de: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/230-elbphilharmonie-hamburg/>

Figura 34 Gráfico de relação entre Volume da sala e tempo de reverberação para cada tipo de uso
Imagem retirada de: India Standard – Code of practice for Acoustical Design of auditoriums and conference halls

Figura 35 Sistema de Parametrização utilizado para a criação dos espaços em análise posterior desenvolvido no programa Grasshopper integrado na aplicação Rhinoceros.

Figura 37 Vista do modelo tridimensional digital, realizado pelo autor, com a posição da fonte sonora e recetores utilizados para análises.

Figura 38 Vista do fundo da sala para o palco do modelo tridimensional do Teatro São João realizado pelo autor com simulação da propagação sonora, utilizada para realização das análises acústicas.

Figura 39 Vistas em Corte das simulações da propagação do som na Aula Magna, com alteração do desenho do teto.

Figura 40 Vista para o palco da Sala Suggia na casa da música.

Imagem de Philippe Ruault, retirada de: <https://www.archdaily.com.br/br/765378/casa-da-musica-oma>

Figura 41 Vista do modelo tridimensional digital, realizado pelo autor, com a posição da fonte sonora e recetores utilizados para análises.

Figura 42 Vista para o palco no interior da Sala Suggia da casa da Música.

Imagem retirada de: <https://www.oma.com/projects/casa-da-musica>

Figura 43 Vista do fundo da sala para o palco do modelo tridimensional da Sala Suggia realizado pelo autor com simulação da propagação sonora, utilizada para realização das análises acústicas.

Figura 44 Vistas em planta das simulações da propagação do som na Sala Suggia, com alteração do desenho das paredes de vidro

Figura 45 Vistas em Corte das simulações da propagação do som na Sala Suggia, com alteração do desenho e inclinação do teto.

Figura 46 – Vista de um lugar nas frisas para o palco da Sala do Teatro de S. João

Imagem retirada de: <https://www.tnsj.pt/pt>

Figura 47 Vista para os balcões existentes na Sala do Teatro de S. João

Imagem retirada de: <https://www.tnsj.pt/pt>

Figura 48 Vista do modelo tridimensional digital, realizado pelo autor, com a posição da fonte sonora e recetores utilizados para análises.

Figura 49 Vista do fundo da sala para o palco do modelo tridimensional do Teatro São João realizado pelo autor com simulação da propagação sonora, utilizada para realização das análises acústicas.

Figura 50 Vistas em corte das simulações da propagação do som no Teatro de S. João com e sem ordens.

Figura 51 Vistas em corte das simulações da propagação do som no Teatro de S. João com alteração no pé direito da caixa de palco.

Figura 52 Vista das torres e pátios da Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto

Figura 53 Vista da zona de palco para uma das entradas no auditório do Museu de Arte Contemporânea Nadir Afonso

Figura 54 Planta do auditório do Museu de Arte Contemporânea Nadir Afonso

Figura 55 Vista para o palco do auditório do Museu de Arte Contemporânea de Serralves

Figura 56 Planta do auditório do Museu de Arte Contemporânea de Serralves

Figura 57 Vista para o palco e entrada no auditório da Faculdade de Ciências da Comunicação da Universidade de Santiago de Compostela

Figura 58 Planta do auditório da Faculdade de Ciências da Comunicação da Universidade de Santiago de Compostela

Figura 59 Planta do auditório do Centro Municipal Roza Ziperovich

Figura 60 Vista para a plateia do auditório do Centro Cultural de Revellín

Figura 61 Planta do auditório do Centro Cultural de Revellín

Figura 62 Planta do auditório da Reitoria da Universidade de Alicante

Figura 63 Planta do auditório da FAUP

Figura 64 Vista da Parede retráctil do auditório da FAUP, com a Sala Plana do lado esquerdo e o Anfiteatro inclinado do lado direito.

Figura 65 Vista do modelo tridimensional digital, realizado pelo autor, com a posição da fonte sonora e recetores utilizados para análises.

Figura 66 Vista do fundo da sala para o palco do modelo tridimensional do Anfiteatro Fernando Távora realizado pelo autor com simulação da propagação sonora, utilizada para realização das análises acústicas.

Figura 67 Vista em corte da simulação da propagação do som no espaço com alterações no tipo de cadeiras e bancadas.

Figura 68 Plantas dos modelos tridimensionais das experiências realizadas para análise das alterações em planta no anfiteatro, com simulação da propagação do som.

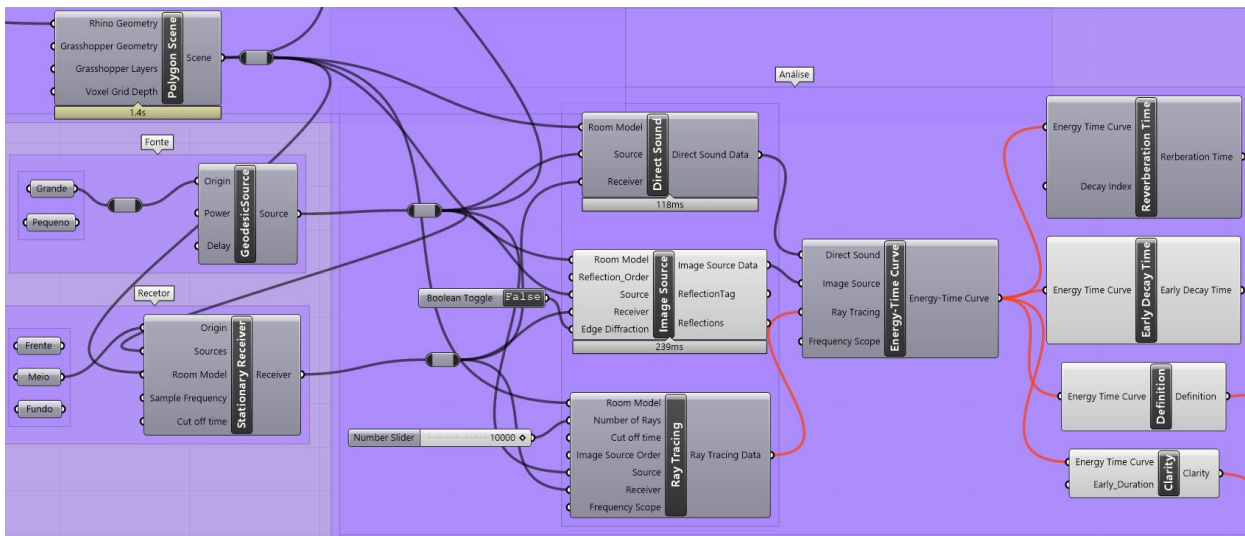
Figura 69 Cortes longitudinais dos modelos tridimensionais das experiências realizadas para análise das alterações em corte no Anfiteatro, com simulação da progressão do som.

Figura 70 Plantas dos modelos tridimensionais das experiências realizadas para análise das alterações em planta no Anfiteatro + Sala Plana, com simulação da propagação do som.

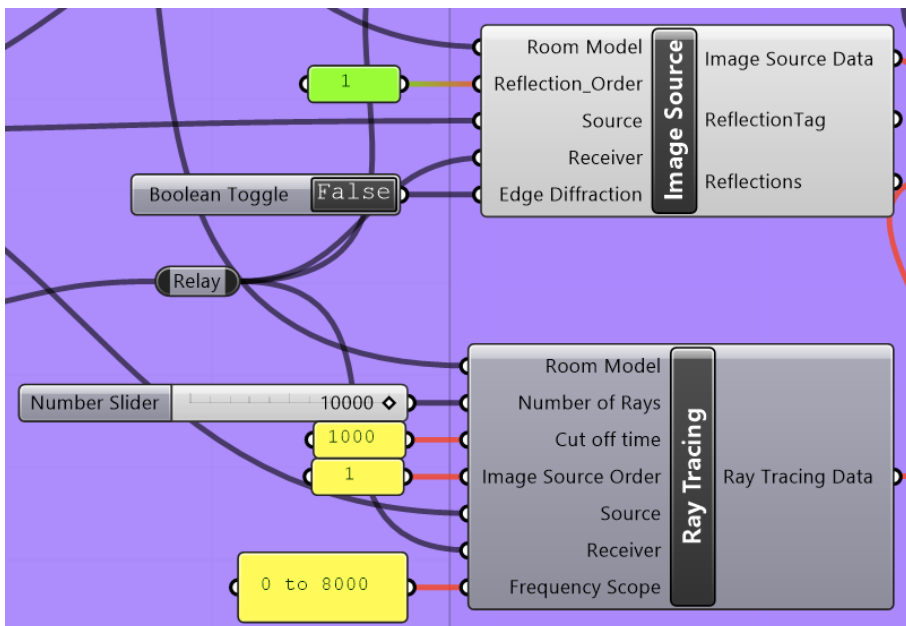
Figura 71 Cortes dos modelos tridimensionais das experiências realizadas para análise das alterações em planta no Anfiteatro + Sala Plana, com simulação da propagação do som.

Anexos

Anexo 1 - Dados utilizados para a realização de análises acústicas



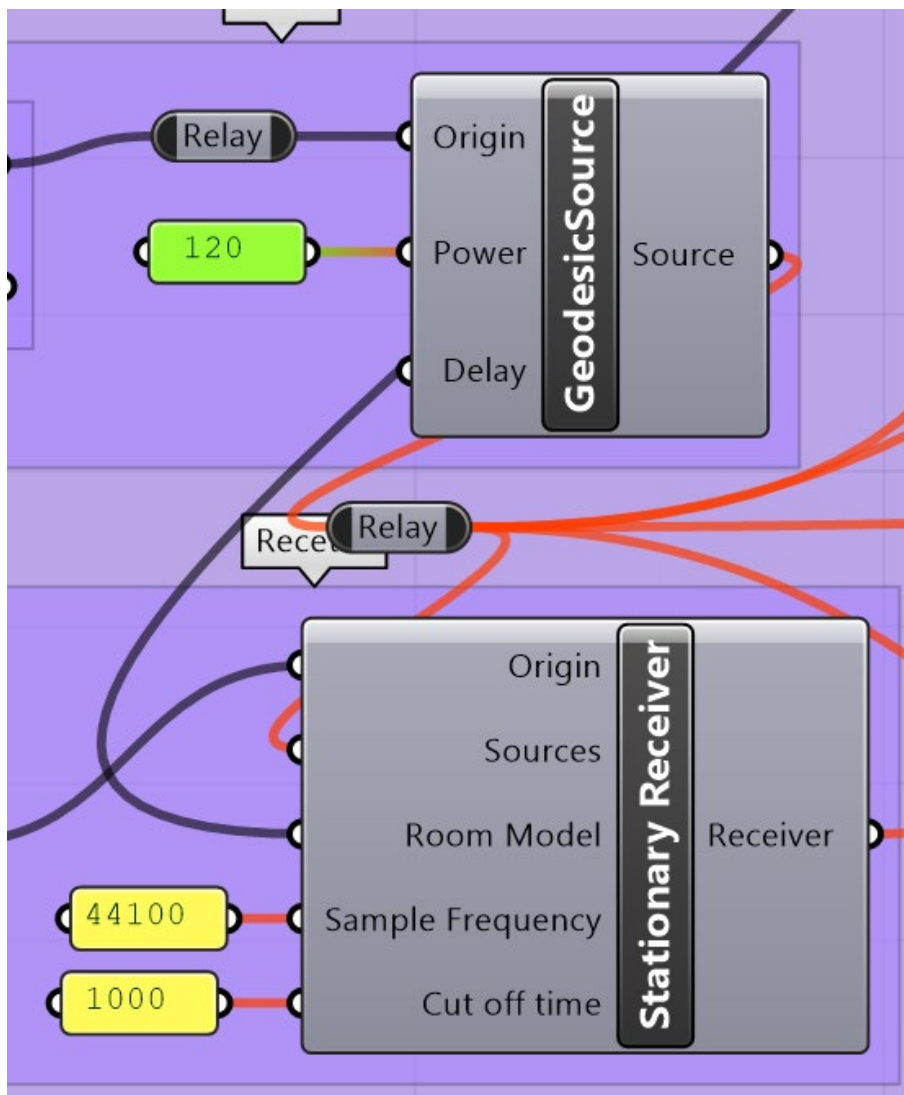
Definição utilizada para obtenção dos resultados numéricos acústicos. Utilizando o plugin Pachyderm integrado no Grasshopper.



Valores utilizados para a obtenção do comportamento de “Image Source” e “Ray Tracing”:

“Cut off time”, representado em milissegundos (ms).

“Frequency scope” representada em Hertz (Hz), com o alcance de 0 a 8000 Hz, equivale às 8 oitavas principais encontradas na música.



Valores utilizados na configuração da fonte sonora e recetores:

“Power”, representado em decibéis (dB), equivale à intensidade geral de uma orquestra.

“Delay” é inexistente, portanto o valor é 0 milissegundos.

“Sample Frequency” representa o intervalo de tempo utilizado para a análise de resultados, 44100 Hz é a frequência mais comum, utilizada na gravação de som.

“Cut off time”, equivalente ao cut off time utilizador para a análise de ray tracing.

Anexo 2 - Resultados obtidos para as experiências a e análises realizadas

<u>Aula Magna</u>										
Aula Magna Cadeiras		Aula Magna Cadeiras Têxtil			Aula Magna Cadeiras madeira			Aula Magna Diferença		
Característica	Oitavas	Frete	Meio	Fundo	Frete	Meio	Fundo	Frete	Meio	Fundo
EDT(s)	0	3,16	3,08	3,21	4,32	4,46	4,45	1,16	1,39	1,24
	1	3,35	3,39	3,57	4,92	4,80	4,87	1,57	1,41	1,30
	2	3,33	3,39	3,41	4,90	4,95	4,92	1,58	1,56	1,51
	3	3,25	3,33	3,71	4,97	4,73	4,84	1,71	1,40	1,13
	4	3,08	3,06	3,12	4,41	4,51	4,29	1,32	1,45	1,17
	5	2,59	2,77	2,94	4,13	4,14	4,36	1,53	1,37	1,43
	6	2,27	2,42	2,59	3,46	3,64	3,91	1,19	1,21	1,32
	7	2,15	2,45	2,39	3,13	3,30	3,49	0,98	0,86	1,10
	Média	2,90	2,99	3,12	4,28	4,32	4,39	1,38	1,33	1,27
RT(s)	0	2,28	2,05	2,13	2,34	2,13	2,09	0,06	0,08	-0,04
	1	2,21	2,19	1,88	2,24	2,05	1,75	0,03	-0,14	-0,13
	2	2,48	2,09	2,11	2,15	1,99	1,89	-0,32	-0,10	-0,22
	3	2,34	1,94	2,19	2,14	1,96	1,83	-0,20	0,02	-0,36
	4	2,31	2,11	2,20	2,33	1,96	1,92	0,01	-0,15	-0,28
	5	2,18	2,05	2,03	2,23	1,99	1,93	0,04	-0,06	-0,10
	6	2,11	2,02	2,16	2,34	2,03	1,80	0,23	0,01	-0,36
	7	1,93	1,96	1,91	2,13	2,00	2,19	0,20	0,04	0,27
	Média	2,23	2,05	2,08	2,24	2,02	1,92	0,01	-0,04	-0,15
C50(dB)	0	-1,86	-2,48	-4,18	-4,20	-6,34	-6,74	-2,35	-3,86	-2,56
	1	-2,22	-3,07	-4,76	-5,01	-7,28	-7,91	-2,79	-4,21	-3,16
	2	-2,32	-3,23	-5,01	-5,47	-7,46	-8,30	-3,16	-4,23	-3,29
	3	-2,14	-2,87	-4,49	-5,41	-7,73	-8,39	-3,27	-4,86	-3,90
	4	-1,22	-2,06	-3,49	-4,40	-6,38	-6,53	-3,19	-4,32	-3,04
	5	-0,85	-2,14	-3,49	-3,84	-5,98	-5,74	-2,99	-3,84	-2,25
	6	-0,50	-1,37	-2,58	-2,92	-4,74	-4,18	-2,42	-3,37	-1,60
	7	0,05	-0,72	-2,05	-1,97	-4,13	-3,21	-2,02	-3,41	-1,16
	Média	-1,38	-2,24	-3,76	-4,15	-6,26	-6,38	-2,77	-4,01	-2,62
D80(%)	0	39,5	36,1	27,6	27,5	18,9	16,6	-11,9	-17,3	-11,0
	1	37,5	33,0	25,1	24,0	15,7	14,9	-13,5	-17,3	-10,2
	2	37,0	32,2	24,0	22,1	15,2	15,7	-14,9	-17,0	-8,3
	3	37,9	34,1	26,3	22,4	14,4	16,6	-15,6	-19,6	-9,7
	4	43,0	38,3	30,9	26,6	18,7	18,1	-16,4	-19,6	-12,8
	5	45,1	37,9	30,9	29,2	20,1	16,6	-15,9	-17,8	-14,3
	6	47,1	42,2	35,6	33,8	25,1	15,9	-13,3	-17,0	-19,7
	7	50,3	45,9	38,4	38,9	27,9	17,6	-11,4	-18,0	-20,8
	Média	42,2	37,5	29,8	28,1	19,5	16,5	-14,1	-18,0	-13,3

Cadeiras

Aula Magna Pavimento		Aula Magna Pavimento carpete			Aula Magna Pavimento madeira			Aula Magna Diferença		
Característica	Oitavas	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo
EDT(s)	0	3,16	3,08	3,21	3,03	2,95	3,00	-0,13	-0,13	-0,21
	1	3,35	3,39	3,57	3,39	3,38	3,41	0,04	-0,01	-0,16
	2	3,33	3,39	3,41	3,59	3,20	3,61	0,26	-0,19	0,20
	3	3,25	3,33	3,71	3,53	3,26	3,51	0,28	-0,07	-0,20
	4	3,08	3,06	3,12	3,37	3,27	3,62	0,29	0,21	0,50
	5	2,59	2,77	2,94	3,57	3,24	3,60	0,98	0,47	0,67
	6	2,27	2,42	2,59	3,37	3,11	3,52	1,09	0,69	0,92
	7	2,15	2,45	2,39	3,34	3,15	3,29	1,19	0,70	0,90
	Média	2,90	2,99	3,12	3,40	3,20	3,44	0,50	0,21	0,33
RT(s)	0	2,28	2,05	2,13	2,14	2,09	2,09	-0,14	0,04	-0,04
	1	2,21	2,19	1,88	2,25	2,01	1,96	0,04	-0,18	0,08
	2	2,48	2,09	2,11	2,38	2,12	1,99	-0,10	0,03	-0,13
	3	2,34	1,94	2,19	2,33	2,08	1,87	0,00	0,14	-0,32
	4	2,31	2,11	2,20	2,33	2,25	2,04	0,02	0,13	-0,17
	5	2,18	2,05	2,03	2,25	2,18	2,13	0,07	0,12	0,10
	6	2,11	2,02	2,16	2,24	2,08	2,03	0,13	0,06	-0,13
	7	1,93	1,96	1,91	2,19	1,99	2,04	0,26	0,03	0,12
	Média	2,23	2,05	2,08	2,26	2,10	2,02	0,03	0,05	-0,06
C50(dB)	0	-1,86	-2,48	-4,18	-0,28	-2,53	-3,14	1,57	-0,05	1,04
	1	-2,22	-3,07	-4,76	-1,01	-3,24	-3,95	1,21	-0,16	0,81
	2	-2,32	-3,23	-5,01	-1,20	-3,50	-4,40	1,12	-0,27	0,61
	3	-2,14	-2,87	-4,49	-0,95	-3,18	-4,82	1,19	-0,32	-0,33
	4	-1,22	-2,06	-3,49	-1,04	-3,39	-4,27	0,18	-1,33	-0,78
	5	-0,85	-2,14	-3,49	-0,77	-3,00	-4,27	0,09	-0,86	-0,78
	6	-0,50	-1,37	-2,58	-0,76	-2,88	-4,47	-0,26	-1,51	-1,89
	7	0,05	-0,72	-2,05	-0,39	-2,78	-4,14	-0,44	-2,06	-2,09
	Média	-1,38	-2,24	-3,76	-0,80	-3,06	-4,18	0,58	-0,82	-0,43
D80(%)	0	39,5	36,1	27,6	48,4	35,8	32,7	8,9	-0,3	5,0
	1	37,5	33,0	25,1	44,2	32,2	28,7	6,7	-0,8	3,6
	2	37,0	32,2	24,0	43,2	30,9	26,6	6,2	-1,4	2,6
	3	37,9	34,1	26,3	44,5	32,5	24,8	6,6	-1,6	-1,5
	4	43,0	38,3	30,9	44,1	31,4	27,2	1,0	-6,9	-3,7
	5	45,1	37,9	30,9	45,6	33,4	27,2	0,5	-4,5	-3,7
	6	47,1	42,2	35,6	45,6	34,0	26,3	-1,5	-8,2	-9,2
	7	50,3	45,9	38,4	47,8	34,5	27,8	-2,5	-11,4	-10,6
	Média	42,2	37,5	29,8	45,4	33,1	27,7	3,2	-4,4	-2,2

Pavimento

Aula Magna Teto		Aula Magna Teto Desenhado			Aula Magna Teto Liso			Aula Magna Diferença		
Característica	Oitavas	Frete	Meio	Fundo	Frete	Meio	Fundo	Frete	Meio	Fundo
EDT(s)	0	3,16	3,08	3,21	3,22	3,29	3,33	0,06	0,21	0,12
	1	3,35	3,39	3,57	3,68	3,41	3,60	0,33	0,03	0,03
	2	3,33	3,39	3,41	3,67	3,55	3,68	0,34	0,16	0,27
	3	3,25	3,33	3,71	3,60	3,56	3,63	0,34	0,23	-0,08
	4	3,08	3,06	3,12	3,29	3,31	3,44	0,20	0,25	0,32
	5	2,59	2,77	2,94	2,99	3,04	3,28	0,40	0,27	0,34
	6	2,27	2,42	2,59	2,71	2,70	2,92	0,43	0,27	0,32
	7	2,15	2,45	2,39	2,52	2,64	2,55	0,37	0,19	0,16
	Média	2,90	2,99	3,12	3,21	3,19	3,30	0,31	0,20	0,18
RT(s)	0	2,28	2,05	2,13	2,13	1,89	1,98	-0,14	-0,16	-0,14
	1	2,21	2,19	1,88	2,31	2,01	2,00	0,10	-0,18	0,12
	2	2,48	2,09	2,11	2,27	2,39	2,07	-0,21	0,30	-0,04
	3	2,34	1,94	2,19	2,30	2,12	2,24	-0,04	0,18	0,05
	4	2,31	2,11	2,20	2,32	2,05	2,01	0,01	-0,06	-0,19
	5	2,18	2,05	2,03	2,37	2,01	2,05	0,19	-0,04	0,02
	6	2,11	2,02	2,16	2,07	2,14	1,88	-0,04	0,13	-0,28
	7	1,93	1,96	1,91	2,21	1,96	2,17	0,28	0,00	0,25
	Média	2,23	2,05	2,08	2,25	2,07	2,05	0,02	0,02	-0,03
C50(dB)	0	-1,86	-2,48	-4,18	-1,10	-4,51	-3,69	0,75	-2,03	0,48
	1	-2,22	-3,07	-4,76	-1,59	-5,20	-4,50	0,64	-2,13	0,26
	2	-2,32	-3,23	-5,01	-1,94	-5,41	-4,47	0,38	-2,18	0,55
	3	-2,14	-2,87	-4,49	-1,60	-5,02	-4,52	0,54	-2,16	-0,03
	4	-1,22	-2,06	-3,49	-1,00	-4,60	-3,68	0,22	-2,54	-0,18
	5	-0,85	-2,14	-3,49	-0,59	-4,18	-2,91	0,26	-2,04	0,58
	6	-0,50	-1,37	-2,58	0,13	-3,57	-2,17	0,63	-2,20	0,41
	7	0,05	-0,72	-2,05	0,78	-2,85	-1,29	0,73	-2,13	0,75
	Média	-1,38	-2,24	-3,76	-0,86	-4,42	-3,40	0,52	-2,17	0,35
D80(%)	0	39,5	36,1	27,6	43,7	26,2	29,9	4,2	-9,9	2,3
	1	37,5	33,0	25,1	41,0	23,2	26,2	3,5	-9,8	1,1
	2	37,0	32,2	24,0	39,0	22,4	26,3	2,0	-9,9	2,4
	3	37,9	34,1	26,3	40,9	23,9	26,1	2,9	-10,1	-0,1
	4	43,0	38,3	30,9	44,3	25,8	30,0	1,2	-12,6	-0,9
	5	45,1	37,9	30,9	46,6	27,6	33,8	1,5	-10,3	2,9
	6	47,1	42,2	35,6	50,7	30,5	37,7	3,6	-11,6	2,2
	7	50,3	45,9	38,4	54,5	34,2	42,6	4,2	-11,7	4,2
	Média	42,2	37,5	29,8	45,1	26,7	31,6	2,9	-10,8	1,8

Teto

Sala Suggia

Sala Suggia Cadeiras		Sala Suggia Cadeiras Têxtil			Sala Suggia Cadeiras madeira			Sala Suggia Diferença		
Característica	Oitavas	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo
EDT(s)	0	2,98	2,35	2,87	2,79	2,88	3,29	-0,19	0,53	0,42
	1	3,40	2,64	3,22	3,82	3,51	4,09	0,42	0,87	0,87
	2	3,77	3,04	3,61	4,83	4,40	4,94	1,06	1,36	1,33
	3	3,73	3,01	3,62	5,16	4,85	5,12	1,43	1,84	1,50
	4	3,57	2,90	3,56	5,34	5,07	5,29	1,77	2,17	1,73
	5	3,58	2,91	3,58	5,33	5,03	5,27	1,75	2,12	1,69
	6	3,59	2,90	3,64	5,20	4,89	5,14	1,61	1,99	1,50
	7	3,39	2,66	3,33	4,81	4,45	4,92	1,42	1,79	1,59
	Média	3,50	2,80	3,43	4,66	4,39	4,76	1,16	1,58	1,33
RT(s)	0	2,06	1,91	2,23	2,29	2,17	2,14	0,23	0,26	-0,09
	1	2,03	1,98	2,26	2,45	2,31	2,12	0,42	0,33	-0,14
	2	2,12	2,07	2,03	2,39	2,38	1,85	0,27	0,31	-0,18
	3	2,07	2,09	1,96	2,27	2,35	1,75	0,20	0,26	-0,21
	4	2,07	2,04	1,86	2,16	2,29	1,68	0,09	0,25	-0,18
	5	2,00	2,04	1,89	2,20	2,27	1,68	0,20	0,23	-0,21
	6	2,03	2,07	1,98	2,25	2,32	1,74	0,22	0,25	-0,24
	7	2,04	2,05	2,02	2,39	2,38	1,79	0,35	0,33	-0,23
	Média	2,05	2,03	2,03	2,30	2,31	1,84	0,25	0,28	-0,19
C50(dB)	0	-0,88	-6,39	-4,59	-2,65	-6,19	-4,52	-1,77	0,20	0,07
	1	-1,71	-6,97	-5,36	-4,08	-7,58	-6,42	-2,37	-0,61	-1,06
	2	-2,54	-7,55	-6,41	-5,52	-8,97	-8,47	-2,98	-1,42	-2,06
	3	-2,60	-7,44	-6,36	-6,26	-9,67	-9,40	-3,66	-2,23	-3,04
	4	-2,50	-7,20	-6,11	-6,65	-10,00	-9,89	-4,15	-2,80	-3,78
	5	-2,55	-7,24	-6,18	-6,62	-10,01	-9,89	-4,07	-2,77	-3,71
	6	-2,45	-7,23	-6,20	-6,31	-9,70	-9,53	-3,86	-2,47	-3,33
	7	-1,85	-6,81	-5,73	-5,52	-8,89	-8,65	-3,67	-2,08	-2,92
	Média	-2,14	-7,10	-5,87	-5,45	-8,87	-8,35	-3,32	-1,77	-2,48
D80(%)	0	44,9	18,7	25,8	35,2	19,4	26,1	-9,7	0,7	0,3
	1	40,3	16,8	22,5	28,1	14,9	18,6	-12,2	-1,9	-3,9
	2	36,8	14,9	18,6	21,9	11,3	12,5	-14,9	-3,7	-6,1
	3	36,5	15,3	18,8	19,1	9,7	10,3	-17,4	-5,5	-8,5
	4	36,0	16,0	19,7	17,8	9,1	9,3	-18,2	-6,9	-10,4
	5	35,7	15,9	19,4	17,9	9,1	9,3	-17,8	-6,8	-10,1
	6	36,2	15,9	19,3	18,9	9,7	10,0	-17,3	-6,2	-9,3
	7	39,5	17,3	21,1	21,9	11,4	12,0	-17,6	-5,9	-9,1
	Média	38,2	16,3	20,7	22,6	11,8	13,5	-15,6	-4,5	-7,1

Cadeiras

Sala Suggia Vidros		Sala Suggia Vidros ondulados			Sala Suggia Vidros Lisos			Sala Suggia Diferença		
Característica	Oitavas	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo
EDT(s)	0	2,98	2,35	2,87	3,08	2,79	3,28	0,10	0,44	0,41
	1	3,40	2,64	3,22	3,60	3,12	3,69	0,20	0,48	0,47
	2	3,77	3,04	3,61	4,15	3,56	4,01	0,38	0,52	0,40
	3	3,73	3,01	3,62	4,17	3,55	3,95	0,44	0,54	0,33
	4	3,57	2,90	3,56	4,05	3,45	3,82	0,48	0,55	0,26
	5	3,58	2,91	3,58	4,09	3,49	3,87	0,51	0,58	0,29
	6	3,59	2,90	3,64	4,06	3,42	3,86	0,47	0,52	0,22
	7	3,39	2,66	3,33	3,64	3,04	3,63	0,25	0,38	0,30
	Média	3,50	2,80	3,43	3,85	3,30	3,76	0,35	0,50	0,34
RT(s)	0	2,06	1,91	2,23	2,23	2,31	2,05	0,17	0,40	-0,18
	1	2,03	1,98	2,26	2,40	2,30	2,05	0,37	0,32	-0,21
	2	2,12	2,07	2,03	2,50	2,32	2,11	0,38	0,25	0,08
	3	2,07	2,09	1,96	2,61	2,29	2,20	0,54	0,20	0,24
	4	2,07	2,04	1,86	2,68	2,20	2,35	0,61	0,16	0,49
	5	2,00	2,04	1,89	2,69	2,17	2,33	0,69	0,13	0,44
	6	2,03	2,07	1,98	2,65	2,21	2,30	0,62	0,14	0,32
	7	2,04	2,05	2,02	2,56	2,18	2,22	0,52	0,13	0,20
	Média	2,05	2,03	2,03	2,54	2,25	2,20	0,49	0,22	0,17
C50(dB)	0	-0,88	-6,39	-4,59	-1,07	-5,99	-4,91	-0,19	0,40	-0,32
	1	-1,71	-6,97	-5,36	-1,76	-6,50	-5,65	-0,05	0,47	-0,29
	2	-2,54	-7,55	-6,41	-2,45	-6,99	-6,48	0,09	0,56	-0,07
	3	-2,60	-7,44	-6,36	-2,46	-6,88	-6,36	0,14	0,56	0,00
	4	-2,50	-7,20	-6,11	-2,33	-6,62	-6,09	0,17	0,58	0,02
	5	-2,55	-7,24	-6,18	-2,36	-6,66	-6,20	0,19	0,58	-0,02
	6	-2,45	-7,23	-6,20	-2,26	-6,63	-6,18	0,19	0,60	0,02
	7	-1,85	-6,81	-5,73	-1,67	-6,17	-5,68	0,18	0,64	0,05
	Média	-2,14	-7,10	-5,87	-2,05	-6,56	-5,94	0,09	0,55	-0,08
D80(%)	0	44,9	18,7	25,8	43,9	20,1	24,4	-1,0	1,4	-1,4
	1	40,3	16,8	22,5	40,0	18,3	21,4	-0,3	1,5	-1,1
	2	36,8	14,9	18,6	36,2	16,7	18,4	-0,6	1,7	-0,2
	3	36,5	15,3	18,8	36,2	17,0	18,8	-0,3	1,7	0,0
	4	36,0	16,0	19,7	36,9	17,9	19,7	0,9	1,9	0,0
	5	35,7	15,9	19,4	36,8	17,8	19,4	1,1	1,9	0,0
	6	36,2	15,9	19,3	37,3	17,8	19,4	1,1	1,9	0,1
	7	39,5	17,3	21,1	40,5	19,5	21,3	1,0	2,2	0,2
	Média	38,2	16,3	20,7	38,5	18,1	20,3	0,2	1,8	-0,3

Paredes de Vidro

Sala Suggia Teto		Sala Suggia Teto horizontal			Sala Suggia Teto inclinado			Sala Suggia Diferença		
Característica	Oitavas	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo
EDT(s)	0	2,98	2,35	2,87	2,04	2,47	2,81	-0,94	0,12	-0,06
	1	3,40	2,64	3,22	2,31	2,84	3,41	-1,09	0,20	0,19
	2	3,77	3,04	3,61	2,77	3,37	3,84	-1,00	0,33	0,23
	3	3,73	3,01	3,62	2,80	3,48	3,99	-0,93	0,47	0,37
	4	3,57	2,90	3,56	2,73	3,49	4,01	-0,84	0,59	0,45
	5	3,58	2,91	3,58	2,75	3,52	4,03	-0,83	0,61	0,45
	6	3,59	2,90	3,64	2,74	3,45	3,93	-0,85	0,55	0,29
	7	3,39	2,66	3,33	2,54	3,24	3,75	-0,85	0,58	0,42
	Média	3,50	2,80	3,43	2,58	3,23	3,72	-0,92	0,43	0,29
RT(s)	0	2,06	1,91	2,23	2,04	1,84	1,97	-0,02	-0,07	-0,26
	1	2,03	1,98	2,26	2,28	2,06	2,06	0,25	0,08	-0,20
	2	2,12	2,07	2,03	2,49	2,25	2,00	0,37	0,18	-0,03
	3	2,07	2,09	1,96	2,54	2,28	1,95	0,47	0,19	-0,01
	4	2,07	2,04	1,86	2,56	2,25	1,97	0,49	0,21	0,11
	5	2,00	2,04	1,89	2,65	2,24	1,97	0,65	0,20	0,08
	6	2,03	2,07	1,98	2,51	2,25	1,93	0,48	0,18	-0,05
	7	2,04	2,05	2,02	2,42	2,20	2,02	0,38	0,15	0,00
	Média	2,05	2,03	2,03	2,44	2,17	1,98	0,38	0,14	-0,05
C50(dB)	0	-0,88	-6,39	-4,59	-0,62	-3,07	-3,68	0,26	3,32	0,91
	1	-1,71	-6,97	-5,36	-1,54	-3,93	-4,50	0,17	3,04	0,86
	2	-2,54	-7,55	-6,41	-2,39	-4,80	-5,44	0,15	2,75	0,97
	3	-2,60	-7,44	-6,36	-2,53	-4,90	-5,38	0,07	2,54	0,98
	4	-2,50	-7,20	-6,11	-2,45	-4,73	-5,11	0,05	2,47	1,00
	5	-2,55	-7,24	-6,18	-2,49	-4,77	-5,13	0,06	2,47	1,05
	6	-2,45	-7,23	-6,20	-2,43	-4,75	-5,22	0,02	2,48	0,98
	7	-1,85	-6,81	-5,73	-2,04	-4,31	-4,92	-0,19	2,50	0,81
	Média	-2,14	-7,10	-5,87	-2,06	-4,41	-4,92	0,07	2,70	0,95
D80(%)	0	44,9	18,7	25,8	46,5	33,0	30,0	1,6	14,3	4,2
	1	40,3	16,8	22,5	41,3	28,8	26,2	1,0	12,0	3,7
	2	36,8	14,9	18,6	36,6	24,9	22,2	-0,2	9,9	3,6
	3	36,5	15,3	18,8	35,8	24,4	22,5	-0,7	9,2	3,7
	4	36,0	16,0	19,7	36,2	25,2	23,6	0,2	9,2	3,9
	5	35,7	15,9	19,4	36,0	25,0	23,5	0,3	9,1	4,1
	6	36,2	15,9	19,3	36,4	25,1	23,1	0,2	9,2	3,8
	7	39,5	17,3	21,1	38,5	27,1	24,4	-1,0	9,8	3,3
	Média	38,2	16,3	20,7	38,4	26,7	24,4	0,2	10,3	3,8

Teto

Teatro S. João

Teatro S. João Cadeiras		Teatro S. João Cadeiras Têxtil			Teatro S. João Cadeiras madeira			Teatro S. João Diferença		
Característica	Oitavas	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo
EDT(s)	0	5,90	3,96	4,47	5,82	4,34	4,88	-0,08	0,38	0,41
	1	5,90	4,15	4,50	5,76	4,58	4,95	-0,14	0,42	0,45
	2	5,61	3,83	4,32	5,52	4,49	4,94	-0,09	0,67	0,62
	3	5,27	3,61	4,14	5,37	4,40	4,94	0,10	0,79	0,79
	4	4,96	3,27	3,89	5,22	4,24	4,84	0,26	0,98	0,95
	5	5,27	3,51	4,04	5,42	4,51	5,02	0,15	1,00	0,99
	6	5,66	3,86	4,27	5,68	4,75	5,21	0,02	0,89	0,94
	7	5,91	4,24	4,50	5,91	5,11	5,48	0,00	0,87	0,98
	Média	5,56	3,80	4,27	5,59	4,55	5,03	0,03	0,75	0,77
RT(s)	0	3,61	3,25	2,57	3,08	2,93	2,35	-0,53	-0,32	-0,21
	1	3,58	3,18	2,50	2,91	2,96	2,12	-0,67	-0,23	-0,38
	2	3,65	3,18	2,52	2,78	2,85	2,08	-0,86	-0,32	-0,44
	3	3,55	3,07	2,52	2,69	2,82	2,02	-0,86	-0,25	-0,50
	4	3,67	3,06	2,49	2,71	2,76	2,07	-0,96	-0,30	-0,42
	5	3,68	3,14	2,47	2,59	2,75	1,98	-1,09	-0,39	-0,49
	6	3,73	3,23	2,46	2,46	2,77	1,90	-1,28	-0,45	-0,55
	7	3,60	3,18	2,39	2,29	2,68	1,74	-1,31	-0,49	-0,65
	Média	3,63	3,16	2,49	2,69	2,81	2,03	-0,95	-0,34	-0,46
C50(dB)	0	-0,79	1,89	-2,93	-1,63	1,02	-3,01	-0,83	-0,87	-0,08
	1	-1,03	1,58	-3,42	-2,63	0,17	-4,35	-1,60	-1,41	-0,92
	2	-0,79	1,76	-3,31	-3,04	-0,19	-4,93	-2,25	-1,95	-1,62
	3	-0,48	1,99	-3,09	-3,30	-0,47	-5,32	-2,82	-2,46	-2,23
	4	-0,09	2,33	-2,72	-3,29	-0,43	-5,32	-3,20	-2,76	-2,59
	5	-0,25	2,19	-2,83	-3,61	-0,81	-5,75	-3,36	-3,00	-2,93
	6	-0,60	1,88	-3,20	-3,98	-1,10	-6,16	-3,38	-2,99	-2,96
	7	-1,19	1,33	-3,90	-4,71	-1,83	-7,08	-3,53	-3,17	-3,19
	Média	-0,65	1,87	-3,17	-3,27	-0,46	-5,24	-2,62	-2,33	-2,07
D80(%)	0	41,5	55,6	24,3	37,8	46,9	26,3	-3,7	-8,7	1,9
	1	39,9	53,8	21,8	32,5	41,7	20,7	-7,5	-12,0	-1,1
	2	41,1	54,7	21,9	30,5	39,6	18,5	-10,6	-15,1	-3,4
	3	42,6	55,9	22,5	29,2	38,0	17,2	-13,4	-17,9	-5,3
	4	44,7	57,8	23,7	29,3	38,1	17,2	-15,4	-19,6	-6,5
	5	43,8	57,3	23,4	27,8	36,2	15,8	-16,0	-21,1	-7,6
	6	42,0	55,7	22,1	26,2	34,7	14,7	-15,8	-21,0	-7,4
	7	38,8	52,6	19,3	23,0	31,0	12,2	-15,8	-21,5	-7,2
	Média	41,8	55,4	22,4	29,5	38,3	17,8	-12,3	-17,1	-4,6

Cadeiras

Teatro S. João Ordens		Teatro S. João Plateia com Ordens			Teatro S. João Plateia sem Ordens			Teatro S. João Diferença		
Característica	Oitavas	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo
EDT(s)	0	5,90	3,96	4,47	5,59	4,54	5,04	-0,31	0,58	0,57
	1	5,90	4,15	4,50	5,64	4,57	5,09	-0,26	0,42	0,59
	2	5,61	3,83	4,32	5,37	4,34	4,87	-0,24	0,51	0,55
	3	5,27	3,61	4,14	5,23	4,14	4,58	-0,04	0,53	0,44
	4	4,96	3,27	3,89	5,07	3,88	4,30	0,11	0,62	0,41
	5	5,27	3,51	4,04	5,17	4,01	4,43	-0,10	0,50	0,40
	6	5,66	3,86	4,27	5,20	4,06	4,48	-0,46	0,21	0,21
	7	5,91	4,24	4,50	4,98	3,71	4,16	-0,93	-0,52	-0,35
	Média	5,56	3,80	4,27	5,28	4,16	4,62	-0,28	0,36	0,35
RT(s)	0	3,61	3,25	2,57	2,39	2,64	2,26	-1,22	-0,61	-0,31
	1	3,58	3,18	2,50	2,30	2,60	2,19	-1,29	-0,58	-0,31
	2	3,65	3,18	2,52	2,33	2,63	2,29	-1,32	-0,55	-0,23
	3	3,55	3,07	2,52	2,40	2,62	2,38	-1,15	-0,45	-0,14
	4	3,67	3,06	2,49	2,45	2,65	2,50	-1,22	-0,41	0,01
	5	3,68	3,14	2,47	2,47	2,66	2,40	-1,21	-0,48	-0,07
	6	3,73	3,23	2,46	2,45	2,63	2,38	-1,28	-0,59	-0,07
	7	3,60	3,18	2,39	2,50	2,60	2,45	-1,10	-0,57	0,07
	Média	3,63	3,16	2,49	2,41	2,63	2,36	-1,22	-0,53	-0,13
C80(dB)	0	-0,79	1,89	-2,93	-1,04	-1,27	-4,64	-0,25	-3,16	-1,71
	1	-1,03	1,58	-3,42	-1,35	-1,50	-4,91	-0,32	-3,08	-1,49
	2	-0,79	1,76	-3,31	-1,09	-1,27	-4,64	-0,30	-3,03	-1,33
	3	-0,48	1,99	-3,09	-0,71	-0,98	-4,27	-0,23	-2,97	-1,19
	4	-0,09	2,33	-2,72	-0,27	-0,62	-3,82	-0,18	-2,96	-1,10
	5	-0,25	2,19	-2,83	-0,38	-0,79	-4,02	-0,13	-2,98	-1,19
	6	-0,60	1,88	-3,20	-0,46	-0,86	-4,09	0,14	-2,74	-0,89
	7	-1,19	1,33	-3,90	0,16	-0,32	-3,64	1,34	-1,65	0,25
	Média	-0,65	1,87	-3,17	-0,64	-0,95	-4,25	0,01	-2,82	-1,08
D50(%)	0	41,5	55,6	24,3	40,3	26,4	17,0	-1,2	-29,2	-7,3
	1	39,9	53,8	21,8	38,5	25,3	16,2	-1,4	-28,5	-5,6
	2	41,1	54,7	21,9	39,8	26,0	17,0	-1,3	-28,7	-4,9
	3	42,6	55,9	22,5	41,8	27,2	18,2	-0,8	-28,8	-4,3
	4	44,7	57,8	23,7	44,2	28,6	19,7	-0,5	-29,2	-4,0
	5	43,8	57,3	23,4	43,6	28,0	19,1	-0,3	-29,3	-4,3
	6	42,0	55,7	22,1	43,2	27,7	18,9	1,2	-28,1	-3,2
	7	38,8	52,6	19,3	46,5	29,6	20,5	7,7	-23,0	1,2
	Média	41,8	55,4	22,4	42,2	27,3	18,3	0,4	-28,1	-4,1

Ordens

Teatro S. João Palco		Teatro S. João Caixa Palco Alta			Teatro S. João Caixa Palco Baixa			Teatro S. João Diferença		
Característica	Oitavas	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo
EDT(s)	0	5,90	3,96	4,47	4,00	4,17	4,30	-1,90	0,21	-0,17
	1	5,90	4,15	4,50	4,06	4,30	4,36	-1,83	0,15	-0,14
	2	5,61	3,83	4,32	3,81	4,13	4,17	-1,80	0,30	-0,15
	3	5,27	3,61	4,14	3,64	3,93	3,93	-1,63	0,32	-0,21
	4	4,96	3,27	3,89	3,38	3,68	3,71	-1,58	0,42	-0,17
	5	5,27	3,51	4,04	3,50	3,79	3,83	-1,77	0,28	-0,20
	6	5,66	3,86	4,27	3,59	3,86	3,92	-2,07	0,00	-0,35
	7	5,91	4,24	4,50	3,37	3,67	3,80	-2,55	-0,57	-0,70
	Média	5,56	3,80	4,27	3,67	3,94	4,01	-1,89	0,14	-0,26
RT(s)	0	3,61	3,25	2,57	2,49	2,28	1,99	-1,11	-0,96	-0,58
	1	3,58	3,18	2,50	2,47	2,29	1,96	-1,11	-0,90	-0,54
	2	3,65	3,18	2,52	2,49	2,28	2,00	-1,15	-0,90	-0,52
	3	3,55	3,07	2,52	2,47	2,22	2,01	-1,08	-0,85	-0,51
	4	3,67	3,06	2,49	2,44	2,16	2,03	-1,23	-0,90	-0,45
	5	3,68	3,14	2,47	2,47	2,18	2,04	-1,21	-0,96	-0,43
	6	3,73	3,23	2,46	2,48	2,25	2,03	-1,25	-0,97	-0,42
	7	3,60	3,18	2,39	2,47	2,20	2,01	-1,13	-0,98	-0,37
	Média	3,63	3,16	2,49	2,47	2,23	2,01	-1,16	-0,93	-0,48
C80(dB)	0	-0,79	1,89	-2,93	-2,03	0,38	-4,91	-1,24	-1,51	-1,98
	1	-1,03	1,58	-3,42	-2,29	0,08	-5,45	-1,26	-1,50	-2,02
	2	-0,79	1,76	-3,31	-2,04	0,39	-5,21	-1,24	-1,37	-1,89
	3	-0,48	1,99	-3,09	-1,69	0,80	-4,90	-1,21	-1,19	-1,81
	4	-0,09	2,33	-2,72	-1,25	1,26	-4,42	-1,16	-1,07	-1,69
	5	-0,25	2,19	-2,83	-1,36	1,12	-4,56	-1,10	-1,08	-1,74
	6	-0,60	1,88	-3,20	-1,45	1,07	-4,74	-0,85	-0,82	-1,54
	7	-1,19	1,33	-3,90	-1,12	1,35	-4,49	0,07	0,02	-0,59
	Média	-0,65	1,87	-3,17	-1,65	0,80	-4,83	-1,00	-1,06	-1,66
D50(%)	0	41,5	55,6	24,3	34,7	45,2	19,6	-6,8	-10,4	-4,7
	1	39,9	53,8	21,8	33,3	43,5	17,4	-6,6	-10,3	-4,4
	2	41,1	54,7	21,9	34,4	45,1	18,0	-6,6	-9,6	-3,9
	3	42,6	55,9	22,5	36,1	47,3	19,1	-6,5	-8,6	-3,4
	4	44,7	57,8	23,7	38,4	49,9	20,8	-6,3	-7,9	-2,9
	5	43,8	57,3	23,4	37,9	49,5	20,3	-6,0	-7,8	-3,1
	6	42,0	55,7	22,1	37,4	49,2	19,9	-4,5	-6,5	-2,2
	7	38,8	52,6	19,3	39,3	50,3	20,6	0,4	-2,2	1,3
	Média	41,8	55,4	22,4	36,4	47,5	19,5	-5,4	-7,9	-2,9

Caixa de Palco

Anexo 3 – Resultados das experiências realizadas sobre o Auditório Fernando Távora

Anfiteatro Cadeiras		AFT Bancos Madeira			AFT Bancos Têxtil			AFT Diferença		
Características	Oitavas	Frete	Meio	Fundo	Frete	Meio	Fundo	Frete	Meio	Fundo
EDT(s)	0	2,19	2,05	2,23	2,09	2,16	2,08	-0,10	0,11	-0,15
	1	2,25	2,10	2,29	2,81	2,85	2,81	0,56	0,74	0,52
	2	2,07	1,96	2,13	3,21	3,24	3,22	1,15	1,28	1,10
	3	1,86	1,81	1,96	3,48	3,51	3,51	1,63	1,70	1,55
	4	1,67	1,65	1,78	3,51	3,54	3,54	1,84	1,89	1,76
	5	1,69	1,66	1,81	3,73	3,74	3,76	2,04	2,08	1,95
	6	1,77	1,71	1,86	3,85	3,85	3,87	2,08	2,14	2,01
	7	1,77	1,73	1,88	3,89	3,90	3,92	2,12	2,16	2,03
	Média	1,91	1,84	1,99	3,32	3,35	3,34	1,41	1,51	1,34
RT(s)	0	2,15	2,00	2,01	2,02	1,96	2,01	-0,14	-0,04	0,01
	1	2,21	2,02	2,05	2,18	2,11	2,14	-0,03	0,09	0,09
	2	2,17	1,98	2,02	2,25	2,15	2,17	0,08	0,17	0,15
	3	2,11	1,95	1,96	2,27	2,17	2,18	0,16	0,22	0,22
	4	2,07	1,88	1,93	2,27	2,17	2,17	0,19	0,29	0,24
	5	2,13	1,90	1,95	2,29	2,18	2,18	0,16	0,28	0,23
	6	2,14	1,93	1,96	2,30	2,18	2,18	0,16	0,25	0,22
	7	2,08	1,90	1,92	2,29	2,18	2,17	0,21	0,28	0,25
	Média	2,13	1,95	1,97	2,23	2,14	2,15	0,10	0,19	0,18
C50(dB)	0	0,49	-0,36	-0,46	0,53	-0,73	-0,52	0,04	-0,37	-0,06
	1	0,53	-0,48	-0,69	-1,35	-2,52	-2,40	-1,89	-2,04	-1,72
	2	1,14	-0,05	-0,29	-2,25	-3,39	-3,38	-3,38	-3,34	-3,08
	3	1,79	0,45	0,19	-2,82	-3,94	-4,00	-4,61	-4,39	-4,19
	4	2,48	1,02	0,75	-2,89	-3,99	-4,11	-5,38	-5,01	-4,86
	5	2,49	1,05	0,73	-3,31	-4,41	-4,53	-5,80	-5,47	-5,26
	6	2,28	0,88	0,56	-3,53	-4,64	-4,73	-5,81	-5,51	-5,29
	7	2,11	0,70	0,35	-3,64	-4,75	-4,90	-5,75	-5,44	-5,26
	Média	1,66	0,40	0,14	-2,41	-3,55	-3,57	-4,07	-3,95	-3,71
D80(%)	0	44,0	35,4	35,0	44,1	34,9	37,1	0,1	-0,5	2,1
	1	44,4	34,9	34,0	34,7	26,7	28,0	-9,7	-8,2	-6,0
	2	47,7	37,0	35,9	30,4	23,2	23,7	-17,3	-13,8	-12,2
	3	51,2	39,4	38,3	27,9	21,1	21,1	-23,4	-18,3	-17,2
	4	54,9	42,2	41,2	27,5	20,9	20,6	-27,4	-21,3	-20,5
	5	55,0	42,3	41,2	25,8	19,4	19,2	-29,3	-22,9	-22,0
	6	53,9	41,4	40,2	24,8	18,6	18,5	-29,1	-22,8	-21,8
	7	53,0	40,6	39,1	24,4	18,3	17,8	-28,6	-22,3	-21,2
	Média	50,5	39,1	38,1	29,9	22,9	23,3	-20,6	-16,3	-14,9

Pequeno Paredes		AFT			AFT			AFT		
Característica	Oitavas	Paredes Reboco			Madeira			Têxtil		
		Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo
EDT(s)	0	2,19	2,05	2,23	1,36	1,37	1,48	1,00	1,03	1,05
	1	2,25	2,10	2,29	1,16	1,18	1,30	0,81	0,79	0,80
	2	2,07	1,96	2,13	1,08	1,11	1,24	0,72	0,67	0,66
	3	1,86	1,81	1,96	1,01	1,04	1,16	0,65	0,57	0,53
	4	1,67	1,65	1,78	0,94	0,96	1,06	0,57	0,46	0,41
	5	1,69	1,66	1,81	0,89	0,89	0,99	0,50	0,40	0,35
	6	1,77	1,71	1,86	0,89	0,89	0,99	0,50	0,40	0,35
	7	1,77	1,73	1,88	0,92	0,94	1,02	0,55	0,45	0,40
	Média	1,91	1,84	1,99	1,03	1,05	1,16	0,66	0,60	0,57
RT(s)	0	2,15	2,00	2,01	1,62	1,71	1,75	1,29	1,35	1,48
	1	2,21	2,02	2,05	1,54	1,52	1,55	1,00	1,06	1,43
	2	2,17	1,98	2,02	1,56	1,50	1,52	0,88	0,93	1,35
	3	2,11	1,95	1,96	1,56	1,45	1,47	0,74	0,84	1,25
	4	2,07	1,88	1,93	1,53	1,39	1,40	0,68	0,77	1,19
	5	2,13	1,90	1,95	1,46	1,35	1,34	0,66	0,73	1,17
	6	2,14	1,93	1,96	1,40	1,34	1,34	0,66	0,73	1,17
	7	2,08	1,90	1,92	1,40	1,35	1,36	0,68	0,76	1,15
	Média	2,13	1,95	1,97	1,51	1,45	1,47	0,82	0,90	1,27
C80(dB)	0	0,49	-0,36	-0,46	2,29	1,67	2,09	4,49	3,85	3,99
	1	0,53	-0,48	-0,69	3,42	2,80	3,11	6,73	6,01	6,11
	2	1,14	-0,05	-0,29	3,81	3,23	3,53	8,02	7,30	7,39
	3	1,79	0,45	0,19	4,26	3,77	3,98	9,22	8,55	8,66
	4	2,48	1,02	0,75	4,79	4,42	4,58	10,43	9,80	9,90
	5	2,49	1,05	0,73	5,22	5,01	5,09	11,43	10,86	10,93
	6	2,28	0,88	0,56	5,25	5,04	5,10	11,45	10,85	10,95
	7	2,11	0,70	0,35	4,95	4,61	4,79	10,60	10,00	10,10
	Média	1,66	0,40	0,14	4,25	3,82	4,03	9,04	8,40	8,50
D50(%)	0	44,0	35,4	35,0	51,8	46,3	49,29	62,04	57,9	58,4
	1	44,4	34,9	34,0	57,8	52,1	54,60	72,30	68,4	68,7
	2	47,7	37,0	35,9	59,8	54,4	56,90	77,09	73,9	74,3
	3	51,2	39,4	38,3	62,0	57,2	59,40	81,06	78,5	79,2
	4	54,9	42,2	41,2	64,6	60,4	62,56	84,41	82,5	83,3
	5	55,0	42,3	41,2	66,7	63,3	65,22	86,88	85,6	86,4
	6	53,9	41,4	40,2	66,8	63,4	65,34	86,95	85,6	86,4
	7	53,0	40,6	39,1	65,4	61,2	63,43	84,95	83,1	83,8
	Média	50,5	39,1	38,1	61,8	57,3	59,6	79,5	76,9	77,5

Paredes

Anfiteatro Planta		AFT Bancos Têxtil			AFT Experiência 1		AFT Experiência 2		AFT Experiência 3	
Característica	Oitavas	Frente	Meio	Fundo	Meio	Diferença	Meio	Diferença	Meio	Diferença
EDT(s)	0	2,09	2,16	2,08	2,58	0,42	1,92	-0,23	1,60	-0,56
	1	2,81	2,85	2,81	2,46	-0,39	1,84	-1,01	1,51	-1,34
	2	3,21	3,24	3,22	2,15	-1,09	1,64	-1,61	1,35	-1,90
	3	3,48	3,51	3,51	1,90	-1,61	1,44	-2,07	1,18	-2,33
	4	3,51	3,54	3,54	1,70	-1,83	1,27	-2,27	1,04	-2,50
	5	3,73	3,74	3,76	1,73	-2,01	1,25	-2,49	0,99	-2,75
	6	3,85	3,85	3,87	1,79	-2,06	1,28	-2,57	1,02	-2,83
	7	3,89	3,90	3,92	1,79	-2,11	1,33	-2,57	1,08	-2,81
	Média	3,32	3,35	3,34	2,01	-1,34	1,50	-1,85	1,22	-2,13
RT(s)	0	2,02	1,96	2,01	2,13	0,17	2,08	0,12	1,77	-0,19
	1	2,18	2,11	2,14	2,10	-0,01	2,07	-0,04	1,71	-0,39
	2	2,25	2,15	2,17	1,98	-0,17	1,96	-0,19	1,59	-0,56
	3	2,27	2,17	2,18	1,90	-0,27	1,87	-0,30	1,46	-0,71
	4	2,27	2,17	2,17	1,86	-0,30	1,79	-0,37	1,33	-0,84
	5	2,29	2,18	2,18	1,91	-0,28	1,84	-0,34	1,30	-0,89
	6	2,30	2,18	2,18	1,93	-0,25	1,86	-0,32	1,34	-0,84
	7	2,29	2,18	2,17	1,89	-0,29	1,79	-0,39	1,35	-0,83
	Média	2,23	2,14	2,15	1,96	-0,17	1,91	-0,23	1,48	-0,66
C50(dB)	0	0,53	-0,73	-0,52	-0,54	0,19	0,98	1,71	1,83	2,56
	1	-1,35	-2,52	-2,40	-0,35	2,17	1,25	3,77	2,12	4,64
	2	-2,25	-3,39	-3,38	0,38	3,77	1,95	5,34	2,86	6,25
	3	-2,82	-3,94	-4,00	1,10	5,04	2,64	6,58	3,62	7,56
	4	-2,89	-3,99	-4,11	1,80	5,79	3,34	7,33	4,42	8,41
	5	-3,31	-4,41	-4,53	1,80	6,21	3,47	7,89	4,72	9,14
	6	-3,53	-4,64	-4,73	1,58	6,21	3,31	7,95	4,57	9,20
	7	-3,64	-4,75	-4,90	1,45	6,19	3,10	7,85	4,15	8,89
	Média	-2,41	-3,55	-3,57	0,90	4,45	2,51	6,05	3,54	7,08
D80(%)	0	44,1	34,9	37,1	38,8	3,90	40,2	5,23	46,7	11,78
	1	34,7	26,7	28,0	39,9	13,21	41,4	14,68	48,1	21,37
	2	30,4	23,2	23,7	43,9	20,68	44,8	21,61	51,7	28,49
	3	27,9	21,1	21,1	47,7	26,66	48,1	27,02	55,3	34,20
	4	27,5	20,9	20,6	51,5	30,67	51,5	30,59	58,9	38,07
	5	25,8	19,4	19,2	51,7	32,30	52,1	32,68	60,1	40,71
	6	24,8	18,6	18,5	50,5	31,91	51,3	32,65	59,4	40,77
	7	24,4	18,3	17,8	49,6	31,37	50,3	32,04	57,6	39,30
	Média	29,9	22,9	23,3	46,7	23,84	47,4	24,56	54,7	31,84

Anfiteatro Planta

Anfiteatro Planta		AFT Bancos Têxtil			AFT Experiência 4		AFT Experiência 5		AFT Experiência 6	
Característica	Oitavas	Frente	Meio	Fundo	Meio	Diferença	Meio	Diferença	Meio	Diferença
EDT(s)	0	2,09	2,16	2,08	1,56	-0,60	1,63	-0,52	1,50	-0,65
	1	2,81	2,85	2,81	1,48	-1,36	1,55	-1,30	1,41	-1,44
	2	3,21	3,24	3,22	1,33	-1,91	1,37	-1,87	1,23	-2,01
	3	3,48	3,51	3,51	1,19	-2,31	1,21	-2,30	1,09	-2,41
	4	3,51	3,54	3,54	1,07	-2,47	1,06	-2,48	0,97	-2,57
	5	3,73	3,74	3,76	1,02	-2,72	1,01	-2,73	0,93	-2,81
	6	3,85	3,85	3,87	1,04	-2,81	1,04	-2,81	1,05	-2,80
	7	3,89	3,90	3,92	1,11	-2,78	1,11	-2,78	1,11	-2,79
	Média	3,32	3,35	3,34	1,23	-2,12	1,25	-2,10	1,16	-2,18
RT(s)	0	2,02	1,96	2,01	1,73	-0,23	1,82	-0,14	1,77	-0,19
	1	2,18	2,11	2,14	1,69	-0,42	1,75	-0,36	1,71	-0,40
	2	2,25	2,15	2,17	1,58	-0,57	1,60	-0,55	1,58	-0,57
	3	2,27	2,17	2,18	1,44	-0,73	1,43	-0,74	1,44	-0,73
	4	2,27	2,17	2,17	1,32	-0,84	1,27	-0,90	1,33	-0,83
	5	2,29	2,18	2,18	1,29	-0,89	1,24	-0,94	1,33	-0,85
	6	2,30	2,18	2,18	1,29	-0,89	1,25	-0,93	1,36	-0,82
	7	2,29	2,18	2,17	1,34	-0,84	1,30	-0,88	1,35	-0,83
	Média	2,23	2,14	2,15	1,46	-0,68	1,46	-0,68	1,48	-0,65
C50(dB)	0	0,53	-0,73	-0,52	1,87	2,60	1,67	2,40	2,28	3,01
	1	-1,35	-2,52	-2,40	2,19	4,71	1,99	4,51	2,62	5,14
	2	-2,25	-3,39	-3,38	2,91	6,30	2,72	6,12	3,40	6,79
	3	-2,82	-3,94	-4,00	3,68	7,62	3,48	7,42	4,19	8,13
	4	-2,89	-3,99	-4,11	4,45	8,45	4,24	8,23	5,00	8,99
	5	-3,31	-4,41	-4,53	4,75	9,16	4,51	8,93	5,30	9,71
	6	-3,53	-4,64	-4,73	4,60	9,24	4,36	9,00	5,14	9,78
	7	-3,64	-4,75	-4,90	4,18	8,93	3,97	8,72	4,71	9,45
	Média	-2,41	-3,55	-3,57	3,58	7,13	3,37	6,92	4,08	7,63
D80(%)	0	44,1	34,9	37,1	46,8	11,85	48,5	13,52	51,1	16,18
	1	34,7	26,7	28,0	48,2	21,50	49,9	23,20	52,9	26,14
	2	30,4	23,2	23,7	51,7	28,57	53,5	30,36	56,8	33,60
	3	27,9	21,1	21,1	55,3	34,21	57,1	36,06	60,6	39,54
	4	27,5	20,9	20,6	58,8	37,93	60,6	39,77	64,3	43,47
	5	25,8	19,4	19,2	60,0	40,58	61,8	42,39	65,6	46,23
	6	24,8	18,6	18,5	59,2	40,59	61,1	42,42	65,0	46,34
	7	24,4	18,3	17,8	57,5	39,19	59,4	41,11	63,0	44,74
	Média	29,9	22,9	23,3	54,7	31,80	56,5	33,60	59,9	37,03

Anfiteatro Planta (Continuação)

Anfiteatro Corte		AFT			AFT		AFT		AFT	
Característica	Oitavas	Bancos têxtil			Experiência 1		Experiência 2		Experiência 3	
		Frete	Meio	Fundo	Meio	Diferença	Meio	Diferença	Meio	Diferença
EDT(s)	0	2,19	2,05	2,23	1,16	-0,89	1,06	-0,99	1,14	-0,91
	1	2,25	2,10	2,29	1,42	-0,68	1,30	-0,81	1,45	-0,66
	2	2,07	1,96	2,13	1,62	-0,35	1,46	-0,50	1,64	-0,33
	3	1,86	1,81	1,96	1,75	-0,06	1,58	-0,23	1,78	-0,03
	4	1,67	1,65	1,78	1,78	0,13	1,59	-0,06	1,81	0,15
	5	1,69	1,66	1,81	1,69	0,03	1,49	-0,17	1,71	0,04
	6	1,77	1,71	1,86	1,65	-0,06	1,46	-0,25	1,66	-0,05
	7	1,77	1,73	1,88	1,69	-0,04	1,49	-0,24	1,71	-0,02
	Média	1,91	1,84	1,99	1,59	-0,24	1,43	-0,41	1,61	-0,23
RT(s)	0	2,15	2,00	2,01	1,21	-0,79	1,21	-0,79	1,25	-0,75
	1	2,21	2,02	2,05	1,46	-0,56	1,46	-0,56	1,47	-0,54
	2	2,17	1,98	2,02	1,60	-0,38	1,64	-0,34	1,63	-0,35
	3	2,11	1,95	1,96	1,72	-0,23	1,74	-0,21	1,72	-0,23
	4	2,07	1,88	1,93	1,78	-0,10	1,79	-0,09	1,75	-0,13
	5	2,13	1,90	1,95	1,74	-0,16	1,77	-0,13	1,70	-0,20
	6	2,14	1,93	1,96	1,71	-0,22	1,74	-0,20	1,68	-0,25
	7	2,08	1,90	1,92	1,72	-0,18	1,70	-0,20	1,70	-0,20
	Média	2,13	1,95	1,97	1,62	-0,33	1,63	-0,31	1,61	-0,33
C80(dB)	0	0,49	-0,36	-0,46	2,81	3,17	3,63	3,99	3,57	3,93
	1	0,53	-0,48	-0,69	1,32	1,80	2,27	2,75	2,09	2,57
	2	1,14	-0,05	-0,29	0,49	0,54	1,55	1,60	1,28	1,33
	3	1,79	0,45	0,19	0,01	-0,44	1,17	0,72	0,81	0,36
	4	2,48	1,02	0,75	-0,09	-1,11	1,15	0,13	0,75	-0,27
	5	2,49	1,05	0,73	0,24	-0,81	1,52	0,47	1,09	0,04
	6	2,28	0,88	0,56	0,37	-0,51	1,66	0,78	1,25	0,37
	7	2,11	0,70	0,35	0,24	-0,46	1,48	0,78	1,09	0,39
	Média	1,66	0,40	0,14	0,67	0,27	1,80	1,40	1,49	1,09
D50(%)	0	44,0	35,4	35,0	51,0	15,6	55,5	20,1	55,9	20,5
	1	44,4	34,9	34,0	43,3	8,4	48,6	13,7	48,4	13,5
	2	47,7	37,0	35,9	39,1	2,1	44,9	7,9	44,2	7,2
	3	51,2	39,4	38,3	36,7	-2,7	42,9	3,5	41,7	2,3
	4	54,9	42,2	41,2	36,2	-6,0	42,7	0,6	41,3	-0,8
	5	55,0	42,3	41,2	37,9	-4,4	44,5	2,3	43,1	0,8
	6	53,9	41,4	40,2	38,6	-2,8	45,2	3,8	43,8	2,4
	7	53,0	40,6	39,1	37,90	-2,66	44,35	3,80	43,1	2,5
	Média	50,5	39,1	38,1	40,1	0,95	46,1	6,95	45,2	6,0

Anfiteatro Corte

Anfiteatro Corte		AFT			AFT		AFT		AFT	
Característica	Oitavas	Bancos têxtil			Experiência 4		Experiência 5		Experiência 6	
		Frete	Meio	Fundo	Meio	Diferença	Meio	Diferença	Meio	Diferença
EDT(s)	0	2,19	2,05	2,23	2,35	0,30	1,08	-0,97	1,14	-0,91
	1	2,25	2,10	2,29	2,45	0,34	1,37	-0,74	1,40	-0,71
	2	2,07	1,96	2,13	2,28	0,32	1,56	-0,41	1,55	-0,41
	3	1,86	1,81	1,96	2,11	0,30	1,68	-0,13	1,64	-0,17
	4	1,67	1,65	1,78	1,91	0,26	1,70	0,05	1,64	-0,02
	5	1,69	1,66	1,81	1,93	0,26	1,60	-0,06	1,54	-0,12
	6	1,77	1,71	1,86	1,99	0,28	1,56	-0,15	1,51	-0,20
	7	1,77	1,73	1,88	2,01	0,28	1,60	-0,14	1,56	-0,18
	Média	1,91	1,84	1,99	2,13	0,29	1,52	-0,32	1,50	-0,34
RT(s)	0	2,15	2,00	2,01	2,08	0,08	1,24	-0,76	1,18	-0,82
	1	2,21	2,02	2,05	2,12	0,10	1,58	-0,44	1,45	-0,57
	2	2,17	1,98	2,02	2,06	0,08	1,77	-0,21	1,60	-0,39
	3	2,11	1,95	1,96	2,02	0,07	1,88	-0,07	1,69	-0,26
	4	2,07	1,88	1,93	1,95	0,07	1,94	0,06	1,72	-0,16
	5	2,13	1,90	1,95	1,98	0,08	1,93	0,03	1,67	-0,23
	6	2,14	1,93	1,96	2,02	0,08	1,90	-0,04	1,64	-0,29
	7	2,08	1,90	1,92	1,97	0,07	1,85	-0,05	1,66	-0,24
	Média	2,13	1,95	1,97	2,02	0,08	1,76	-0,19	1,57	-0,37
C80(dB)	0	0,49	-0,36	-0,46	-0,90	-0,54	3,86	4,22	2,74	3,10
	1	0,53	-0,48	-0,69	-1,10	-0,62	2,35	2,83	1,40	1,88
	2	1,14	-0,05	-0,29	-0,71	-0,66	1,52	1,57	0,69	0,74
	3	1,79	0,45	0,19	-0,22	-0,67	1,07	0,62	0,33	-0,12
	4	2,48	1,02	0,75	0,35	-0,67	1,03	0,02	0,33	-0,68
	5	2,49	1,05	0,73	0,33	-0,73	1,40	0,34	0,71	-0,35
	6	2,28	0,88	0,56	0,15	-0,73	1,54	0,66	0,84	-0,04
	7	2,11	0,70	0,35	0,03	-0,67	1,37	0,67	0,66	-0,04
	Média	1,66	0,40	0,14	-0,26	-0,66	1,77	1,37	0,96	0,56
D50(%)	0	44,0	35,4	35,0	35,7	0,3	59,7	24,2	49,2	13,8
	1	44,4	34,9	34,0	34,7	-0,2	52,3	17,4	42,5	7,6
	2	47,7	37,0	35,9	36,6	-0,4	48,1	11,1	38,9	2,0
	3	51,2	39,4	38,3	39,0	-0,4	45,8	6,4	37,1	-2,3
	4	54,9	42,2	41,2	41,8	-0,4	45,6	3,4	37,0	-5,2
	5	55,0	42,3	41,2	41,6	-0,7	47,5	5,2	38,7	-3,6
	6	53,9	41,4	40,2	40,7	-0,7	48,2	6,8	39,4	-2,0
	7	53,0	40,6	39,1	40,2	-0,4	47,3	6,8	38,7	-1,8
	Média	50,5	39,1	38,1	38,8	-0,3	49,31	10,17	40,20	1,06

Anfiteatro Corte

Secção Anfiteatro + Sala Plana

Anfiteatro + Sala Plana - Cadeiras		AFT Bancadas Madeira			AFT Cadeiras Têxtil			AFT Diferença		
Características	Oitavas	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo	Frente	Meio	Fundo
EDT(s)	0	2,56	2,74	2,69	2,07	2,13	2,13	-0,49	-0,61	-0,56
	1	3,27	3,38	3,30	2,18	2,25	2,31	-1,09	-1,13	-1,00
	2	3,62	3,69	3,62	2,10	2,17	2,21	-1,51	-1,52	-1,41
	3	3,87	3,90	3,84	1,99	2,08	2,08	-1,88	-1,82	-1,76
	4	3,91	3,94	3,88	1,83	1,95	1,92	-2,08	-1,99	-1,96
	5	4,06	4,09	4,03	1,80	1,96	1,91	-2,25	-2,13	-2,12
	6	4,11	4,14	4,08	1,83	1,99	1,93	-2,27	-2,15	-2,15
	7	4,06	4,10	4,04	1,84	1,97	1,93	-2,22	-2,13	-2,11
	Média	3,68	3,75	3,68	1,96	2,06	2,05	-1,72	-1,69	-1,63
RT(s)	0	2,19	2,05	2,23	2,00	2,11	2,15	-0,19	0,07	-0,07
	1	2,16	2,09	2,24	2,09	2,20	2,17	-0,07	0,11	-0,06
	2	2,13	2,07	2,19	2,09	2,17	2,16	-0,04	0,10	-0,03
	3	2,09	2,05	2,13	2,06	2,14	2,13	-0,03	0,08	0,00
	4	2,07	2,05	2,10	1,98	2,08	2,08	-0,09	0,03	-0,02
	5	2,07	2,04	2,08	2,02	2,11	2,10	-0,06	0,07	0,02
	6	2,07	2,04	2,07	2,03	2,13	2,14	-0,04	0,09	0,08
	7	2,07	2,04	2,05	1,98	2,07	2,07	-0,09	0,03	0,02
	Média	2,11	2,05	2,13	2,03	2,13	2,13	-0,08	0,07	-0,01
C50(dB)	0	-2,15	-1,48	-1,06	-0,21	-0,21	0,30	1,94	1,27	1,37
	1	-4,04	-3,24	-2,86	-0,58	-0,54	-0,10	3,46	2,70	2,76
	2	-5,04	-4,14	-3,83	-0,35	-0,26	0,18	4,69	3,88	4,01
	3	-5,68	-4,75	-4,49	0,03	0,16	0,58	5,71	4,91	5,07
	4	-5,83	-4,88	-4,66	0,54	0,69	1,14	6,37	5,57	5,80
	5	-6,18	-5,24	-5,02	0,73	0,85	1,29	6,91	6,09	6,31
	6	-6,32	-5,39	-5,17	0,64	0,77	1,18	6,96	6,16	6,36
	7	-6,37	-5,38	-5,26	0,46	0,61	1,03	6,83	6,00	6,29
	Média	-5,20	-4,31	-4,05	0,16	0,26	0,70	5,36	4,57	4,75
D80(%)	0	28,4	31,4	32,9	36,2	36,7	42,5	7,8	5,3	9,5
	1	20,5	23,5	24,6	34,5	35,0	40,2	13,9	11,5	15,6
	2	17,0	20,0	20,7	35,5	36,4	41,4	18,5	16,4	20,7
	3	15,0	17,8	18,2	37,4	38,5	43,3	22,4	20,6	25,1
	4	14,5	17,4	17,7	40,0	41,1	46,0	25,5	23,8	28,3
	5	13,6	16,2	16,5	41,1	42,0	46,7	27,5	25,8	30,2
	6	13,2	15,8	16,1	40,6	41,6	46,1	27,4	25,8	30,0
	7	13,0	15,7	15,6	39,5	40,6	45,2	26,5	24,9	29,5
	Média	16,9	19,7	20,3	38,1	39,0	43,9	21,2	19,3	23,6

Anfiteatro + Sala Plana Cadeiras

Anfiteatro + Sala plana - Paredes		AFT Paredes Reboco			AFT Paredes Madeira			AFT Paredes Têxtil		
Característica	Oitavas	Frete	Meio	Fundo	Frete	Meio	Fundo	Frete	Meio	Fundo
EDT(s)	0	2,14	2,14	2,20	1,38	1,42	1,45	0,90	0,95	0,85
	1	2,26	2,22	2,32	1,53	1,59	1,58	0,65	0,78	0,60
	2	2,19	2,13	2,25	1,57	1,69	1,64	0,47	0,61	0,42
	3	2,10	2,02	2,13	1,57	1,74	1,66	0,39	0,48	0,33
	4	1,98	1,90	1,99	1,52	1,74	1,62	0,32	0,40	0,28
	5	1,98	1,89	1,99	1,40	1,66	1,56	0,26	0,31	0,24
	6	2,00	1,91	2,03	1,35	1,60	1,54	0,26	0,31	0,24
	7	1,99	1,90	1,99	1,38	1,55	1,51	0,31	0,38	0,28
	Média	2,08	2,02	2,11	1,46	1,62	1,57	0,45	0,53	0,40
RT(s)	0	2,01	2,12	2,04	1,53	1,52	1,55	1,01	1,02	1,25
	1	2,12	2,16	2,06	1,64	1,63	1,68	0,83	0,87	1,12
	2	2,11	2,11	2,04	1,72	1,67	1,78	0,72	0,74	0,82
	3	2,11	2,05	2,02	1,74	1,69	1,83	0,64	0,66	0,67
	4	2,08	2,01	1,98	1,72	1,68	1,84	0,59	0,62	0,59
	5	2,13	2,05	2,02	1,71	1,67	1,83	0,53	0,58	0,52
	6	2,16	2,06	2,06	1,68	1,65	1,80	0,52	0,58	0,51
	7	2,07	2,00	1,98	1,66	1,63	1,72	0,57	0,61	0,56
	Média	2,10	2,07	2,02	1,67	1,64	1,75	0,67	0,71	0,76
C80(dB)	0	-0,34	-0,16	-0,38	1,63	1,29	2,06	6,12	5,10	6,61
	1	-0,71	-0,39	-0,74	1,15	0,64	1,54	7,83	6,73	8,57
	2	-0,46	-0,04	-0,52	1,10	0,43	1,48	9,57	8,33	10,54
	3	-0,09	0,43	-0,16	1,24	0,46	1,65	11,32	9,95	12,55
	4	0,41	1,03	0,35	1,57	0,70	1,99	13,11	11,67	14,68
	5	0,55	1,20	0,46	2,10	1,17	2,56	15,05	13,44	16,81
	6	0,45	1,12	0,34	2,21	1,31	2,71	15,15	13,54	16,95
	7	0,32	0,89	0,22	2,00	1,17	2,50	13,60	12,19	15,21
	Média	0,02	0,51	-0,05	1,62	0,90	2,06	11,47	10,12	12,74
D50(%)	0	38,8	36,4	35,8	45,9	46,0	47,59	67,26	62,8	71,17
	1	37,0	35,1	34,9	43,6	42,7	45,04	73,85	70,3	78,63
	2	38,2	36,7	35,9	43,5	41,8	44,95	79,46	76,6	84,55
	3	40,2	39,0	37,6	44,4	42,1	46,05	84,06	82,1	89,09
	4	42,9	41,8	40,2	46,3	43,5	48,08	87,82	86,7	92,50
	5	43,8	42,6	40,6	49,5	46,2	51,38	90,92	90,4	95,01
	6	43,2	42,2	40,0	49,7	46,9	53,14	91,07	90,5	95,10
	7	42,4	41,0	39,2	48,5	45,8	50,52	88,58	87,7	93,05
	Média	40,8	39,4	38,0	46,4	44,4	48,3	82,9	80,9	87,4

Anfiteatro + Sala plana – Paredes

Anfiteatro + Sala plana – Paredes		Anfiteatro Fernando Tá-vora Bancadas Madeira			AFT Experiência 1		AFT Experiência 2		AFT Experiência 3	
Característica	Oitavas	Frente	Meio	Fundo	Meio	Diferença	Meio	Diferença	Meio	Diferença
EDT(s)	0	2,07	2,13	2,13	2,83	-0,70	2,39	-0,26	2,17	-0,04
	1	2,18	2,25	2,31	2,69	-0,44	2,25	0,00	1,99	0,26
	2	2,10	2,17	2,21	2,36	-0,19	2,05	0,12	1,76	0,41
	3	1,99	2,08	2,08	2,17	-0,09	1,87	0,21	1,54	0,54
	4	1,83	1,95	1,92	2,00	-0,05	1,73	0,22	1,33	0,62
	5	1,80	1,96	1,91	2,04	-0,08	1,73	0,23	1,27	0,69
	6	1,83	1,99	1,93	2,07	-0,08	1,73	0,26	1,29	0,69
	7	1,84	1,97	1,93	1,96	0,01	1,71	0,26	1,34	0,63
	Média	1,96	2,06	2,05	2,26	-0,20	1,93	0,13	1,59	0,47
RT(s)	0	2,00	2,11	2,15	2,13	-0,01	2,08	0,03	2,09	0,03
	1	2,09	2,20	2,17	2,11	0,09	2,02	0,18	2,02	0,19
	2	2,09	2,17	2,16	2,09	0,08	1,91	0,26	1,91	0,27
	3	2,06	2,14	2,13	2,11	0,03	1,86	0,28	1,79	0,34
	4	1,98	2,08	2,08	2,17	-0,09	1,82	0,26	1,74	0,34
	5	2,02	2,11	2,10	2,21	-0,10	1,84	0,27	1,71	0,40
	6	2,03	2,13	2,14	2,17	-0,04	1,87	0,26	1,73	0,41
	7	1,98	2,07	2,07	2,09	-0,02	1,82	0,25	1,71	0,36
	Média	2,03	2,13	2,13	2,13	-0,01	1,90	0,22	1,84	0,29
C50(dB)	0	-0,21	-0,21	0,30	-0,91	0,70	1,07	-1,27	0,28	-0,49
	1	-0,58	-0,54	-0,10	-0,40	-0,14	-0,58	0,04	0,82	-1,36
	2	-0,35	-0,26	0,18	0,47	-0,73	0,23	-0,49	1,73	-1,99
	3	0,03	0,16	0,58	1,29	-1,13	1,05	-0,89	2,60	-2,44
	4	0,54	0,69	1,14	2,12	-1,43	1,85	-1,16	3,45	-2,76
	5	0,73	0,85	1,29	2,36	-1,52	2,05	-1,20	3,76	-2,91
	6	0,64	0,77	1,18	2,21	-1,44	1,83	-1,06	3,62	-2,85
	7	0,46	0,61	1,03	2,02	-1,41	1,70	-1,08	3,24	-2,62
	Média	0,16	0,26	0,70	1,14	-0,89	1,15	-0,89	2,44	-2,18
D80(%)	0	36,2	36,7	42,5	33,7	3,02	33,0	3,73	35,9	0,82
	1	34,5	35,0	40,2	36,2	-1,15	35,3	-0,31	38,5	-3,53
	2	35,5	36,4	41,4	40,5	-4,13	39,5	-3,13	52,8	-16,47
	3	37,4	38,5	43,3	44,6	-6,14	43,8	-5,32	47,0	-8,51
	4	40,0	41,1	46,0	48,7	-7,57	48,0	-6,89	50,9	-9,82
	5	41,1	42,0	46,7	49,9	-7,84	49,2	-7,20	52,2	-10,21
	6	40,6	41,6	46,1	49,0	-7,45	48,6	-6,98	51,7	-10,16
	7	39,5	40,6	45,2	48,0	-7,42	47,1	-6,44	49,9	-9,29
	Média	38,1	39,0	43,9	43,8	-4,84	43,1	-4,07	47,4	-8,40

Anfiteatro + Sala plana – Planta

Anfiteatro + Sala plana – Planta		AFT			AFT		AFT		AFT	
		Bancadas Madeira			Experiência 4		Experiência 5		Experiência 6	
Característica	Oitavas	Frete	Meio	Fundo	Meio	Diferença	Meio	Diferença	Meio	Diferença
EDT(s)	0	2,07	2,13	2,13	2,42	-0,29	2,25	0,12	2,27	-0,14
	1	2,18	2,25	2,31	2,25	0,00	2,10	-0,15	2,09	0,16
	2	2,10	2,17	2,21	1,99	0,18	1,87	-0,30	1,83	0,35
	3	1,99	2,08	2,08	1,76	0,33	1,64	-0,44	1,59	0,49
	4	1,83	1,95	1,92	1,57	0,39	1,45	-0,50	1,37	0,58
	5	1,80	1,96	1,91	1,53	0,43	1,40	-0,56	1,32	0,64
	6	1,83	1,99	1,93	1,54	0,45	1,41	-0,58	1,34	0,64
	7	1,84	1,97	1,93	1,53	0,43	1,44	-0,53	1,38	0,59
	Média	1,96	2,06	2,05	1,82	0,24	1,70	-0,37	1,65	0,41
RT(s)	0	2,00	2,11	2,15	1,89	0,22	1,96	-0,15	2,02	0,09
	1	2,09	2,20	2,17	1,86	0,35	1,90	-0,30	1,96	0,24
	2	2,09	2,17	2,16	1,79	0,38	1,79	-0,38	1,91	0,27
	3	2,06	2,14	2,13	1,77	0,37	1,72	-0,42	1,86	0,28
	4	1,98	2,08	2,08	1,83	0,25	1,64	-0,44	1,94	0,14
	5	2,02	2,11	2,10	1,80	0,31	1,65	-0,46	1,88	0,23
	6	2,03	2,13	2,14	1,81	0,32	1,65	-0,48	1,87	0,27
	7	1,98	2,07	2,07	1,78	0,29	1,64	-0,43	1,81	0,27
	Média	2,03	2,13	2,13	1,82	0,31	1,74	-0,38	1,90	0,22
C50(dB)	0	-0,21	-0,21	0,30	-0,10	-0,11	-1,01	-0,80	-0,96	0,75
	1	-0,58	-0,54	-0,10	0,42	-0,95	-0,60	-0,06	-0,51	-0,02
	2	-0,35	-0,26	0,18	1,24	-1,49	0,37	0,63	0,25	-0,51
	3	0,03	0,16	0,58	2,07	-1,91	1,25	1,09	1,01	-0,85
	4	0,54	0,69	1,14	2,86	-2,17	2,05	1,36	1,74	-1,05
	5	0,73	0,85	1,29	3,15	-2,30	2,21	1,36	1,93	-1,08
	6	0,64	0,77	1,18	3,00	-2,23	2,27	1,50	1,79	-1,02
	7	0,46	0,61	1,03	2,77	-2,16	1,94	1,33	1,52	-0,91
	Média	0,16	0,26	0,70	1,93	-1,67	1,06	0,80	0,85	-0,59
D80(%)	0	36,2	36,7	42,5	35,2	1,53	31,2	-5,54	34,5	2,25
	1	34,5	35,0	40,2	37,8	-2,83	33,7	-1,29	36,6	-1,62
	2	35,5	36,4	41,4	42,1	-5,77	37,9	1,54	40,6	-4,27
	3	37,4	38,5	43,3	46,6	-8,13	42,3	3,82	44,6	-6,14
	4	40,0	41,1	46,0	50,8	-9,72	46,4	5,26	48,4	-7,30
	5	41,1	42,0	46,7	52,5	-10,49	48,0	5,99	49,4	-7,35
	6	40,6	41,6	46,1	51,7	-10,16	47,3	5,77	48,6	-7,04
	7	39,5	40,6	45,2	50,1	-9,50	45,7	5,08	47,2	-6,63
	Média	38,1	39,0	43,9	45,9	-6,88	41,6	2,58	43,8	-4,76

Anfiteatro + Sala plana – Planta (Continuação)

Anfiteatro + Sala Plana - Corte		AFT			AFT		AFT		AFT	
Característica	Oitavas	Bancos têxtil			Experiência 1		Experiência 2		Experiência 3	
		Frente	Meio	Fundo	Meio	Diferença	Meio	Diferença	Meio	Diferença
EDT(s)	0	2,14	2,14	2,20	2,47	0,33	2,16	0,02	2,22	0,08
	1	2,26	2,22	2,32	2,35	0,12	2,28	0,06	2,36	0,14
	2	2,19	2,13	2,25	2,05	-0,08	2,19	0,06	2,25	0,12
	3	2,10	2,02	2,13	1,84	-0,18	2,05	0,03	2,10	0,07
	4	1,98	1,90	1,99	1,63	-0,27	1,90	0,00	1,91	0,01
	5	1,98	1,89	1,99	1,62	-0,27	1,90	0,00	1,89	-0,01
	6	2,00	1,91	2,03	1,67	-0,24	1,92	0,01	1,93	0,02
	7	1,99	1,90	1,99	1,69	-0,21	1,90	0,00	1,94	0,03
	Média	2,08	2,02	2,11	1,92	-0,10	2,04	0,02	2,07	0,06
RT(s)	0	2,01	2,12	2,04	1,90	-0,22	2,00	-0,12	1,97	-0,15
	1	2,12	2,16	2,06	1,86	-0,29	2,05	-0,10	2,04	-0,12
	2	2,11	2,11	2,04	1,80	-0,31	2,03	-0,08	2,02	-0,09
	3	2,11	2,05	2,02	1,74	-0,31	1,99	-0,05	1,99	-0,05
	4	2,08	2,01	1,98	1,63	-0,38	1,99	-0,01	1,92	-0,09
	5	2,13	2,05	2,02	1,63	-0,42	2,02	-0,03	1,93	-0,12
	6	2,16	2,06	2,06	1,65	-0,40	2,03	-0,03	1,94	-0,11
	7	2,07	2,00	1,98	1,67	-0,34	1,98	-0,02	1,92	-0,09
	Média	2,10	2,07	2,02	1,74	-0,33	2,01	-0,05	1,97	-0,10
C80(dB)	0	-0,34	-0,16	-0,38	-1,33	-1,17	-0,69	-0,53	-0,25	-0,09
	1	-0,71	-0,39	-0,74	-0,98	-0,59	-1,03	-0,64	-0,57	-0,18
	2	-0,46	-0,04	-0,52	-0,19	-0,14	-0,85	-0,81	-0,34	-0,30
	3	-0,09	0,43	-0,16	0,55	0,12	-0,56	-0,99	0,02	-0,41
	4	0,41	1,03	0,35	1,27	0,25	-0,15	-1,18	0,50	-0,53
	5	0,55	1,20	0,46	1,36	0,15	-0,14	-1,34	0,62	-0,59
	6	0,45	1,12	0,34	1,18	0,06	-0,24	-1,35	0,52	-0,60
	7	0,32	0,89	0,22	0,98	0,09	-0,28	-1,17	0,42	-0,47
	Média	0,02	0,51	-0,05	0,36	-0,15	-0,49	-1,00	0,11	-0,40
D50(%)	0	38,8	36,4	35,8	30,5	-5,93	30,1	-6,33	33,0	-3,46
	1	37,0	35,1	34,9	32,2	-2,90	28,7	-6,40	31,5	-3,63
	2	38,2	36,7	35,9	36,1	-0,63	29,6	-7,14	32,6	-4,10
	3	40,2	39,0	37,6	39,9	0,89	30,9	-8,05	34,4	-4,56
	4	42,9	41,8	40,2	43,7	1,86	32,9	-8,97	36,7	-5,10
	5	43,8	42,6	40,6	44,3	1,65	33,0	-9,66	37,3	-5,31
	6	43,2	42,2	40,0	43,3	1,05	32,5	-9,73	36,8	-5,39
	7	42,4	41,0	39,2	42,0	1,00	32,1	-8,90	36,1	-4,97
	Média	40,8	39,4	38,0	39,0	-0,37	31,2	-8,15	34,8	-4,56

Anfiteatro + Sala Plana - Corte

Anfiteatro + Sala Plana - Corte		AFT			AFT		AFT		AFT	
Característica	Oitavas	Bancos têxtil			Experiência 4		Experiência 5		Experiência 6	
		Frete	Meio	Fundo	Meio	Diferença	Meio	Diferença	Meio	Diferença
EDT(s)	0	2,14	2,14	2,20	2,40	0,26	2,72	0,58	2,62	0,48
	1	2,26	2,22	2,32	2,28	0,05	2,89	0,67	2,71	0,49
	2	2,19	2,13	2,25	2,03	-0,10	2,77	0,64	2,57	0,44
	3	2,10	2,02	2,13	1,82	-0,21	2,60	0,58	2,39	0,36
	4	1,98	1,90	1,99	1,64	-0,26	2,38	0,48	2,19	0,29
	5	1,98	1,89	1,99	1,63	-0,26	2,40	0,51	2,18	0,29
	6	2,00	1,91	2,03	1,68	-0,23	2,46	0,54	2,24	0,32
	7	1,99	1,90	1,99	1,70	-0,20	2,41	0,51	2,20	0,30
	Média	2,08	2,02	2,11	1,90	-0,12	2,58	0,56	2,39	0,37
RT(s)	0	2,01	2,12	2,04	2,07	-0,05	2,05	-0,07	2,00	-0,12
	1	2,12	2,16	2,06	2,04	-0,11	2,10	-0,06	2,01	-0,14
	2	2,11	2,11	2,04	1,93	-0,18	2,10	-0,01	2,00	-0,11
	3	2,11	2,05	2,02	1,83	-0,22	2,07	0,02	1,95	-0,10
	4	2,08	2,01	1,98	1,77	-0,24	2,02	0,01	1,90	-0,11
	5	2,13	2,05	2,02	1,80	-0,25	2,08	0,03	1,89	-0,16
	6	2,16	2,06	2,06	1,81	-0,25	2,09	0,03	1,90	-0,16
	7	2,07	2,00	1,98	1,78	-0,22	2,03	0,03	1,90	-0,10
	Média	2,10	2,07	2,02	1,88	-0,19	2,07	0,00	1,94	-0,13
C80(dB)	0	-0,34	-0,16	-0,38	-1,62	-1,46	-1,07	-0,90	-2,03	-1,87
	1	-0,71	-0,39	-0,74	-1,29	-0,90	-1,37	-0,98	-2,29	-1,90
	2	-0,46	-0,04	-0,52	-0,55	-0,51	-1,07	-1,03	-2,03	-1,99
	3	-0,09	0,43	-0,16	0,15	-0,28	-0,65	-1,08	-1,62	-2,05
	4	0,41	1,03	0,35	0,80	-0,22	-0,10	-1,13	-1,15	-2,18
	5	0,55	1,20	0,46	0,86	-0,35	0,01	-1,19	-1,10	-2,30
	6	0,45	1,12	0,34	0,68	-0,44	-0,12	-1,24	-1,20	-2,32
	7	0,32	0,89	0,22	0,47	-0,42	-0,21	-1,10	-1,21	-2,10
	Média	0,02	0,51	-0,05	-0,06	-0,57	-0,57	-1,08	-1,58	-2,09
D50(%)	0	38,8	36,4	35,8	25,1	-11,36	30,5	-5,89	27,2	-9,27
	1	37,0	35,1	34,9	26,5	-8,65	29,2	-5,90	26,0	-9,18
	2	38,2	36,7	35,9	29,7	-7,00	30,5	-6,19	27,0	-9,72
	3	40,2	39,0	37,6	33,0	-5,98	32,4	-6,53	28,7	-10,31
	4	42,9	41,8	40,2	36,3	-5,54	35,0	-6,86	30,8	-11,02
	5	43,8	42,6	40,6	36,7	-5,92	35,4	-7,22	31,0	-11,63
	6	43,2	42,2	40,0	35,8	-6,44	34,8	-7,37	30,5	-11,67
	7	42,4	41,0	39,2	34,6	-6,41	34,4	-6,62	30,4	-10,64
	Média	40,8	39,4	38,0	32,2	-7,16	32,8	-6,57	28,9	-10,43

Anfiteatro + Sala Plana - Corte