

AValiação DA PERFORMANCE ACÚSTICA DE UM AUDITÓRIO MULTIUSO NA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

CORREIA, Ludmila de Araujo¹; COELHO, Fabiana Curado²; MACIEL, Cândida de Almeida²; PIRES, Jhennyfer Loyane Gama³

(1) Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - Universidade de Brasília/ UNICEUB/ UDF;
(2) Síntese Acústica Arquitetônica; (3) Centro Universitário EuroAmericano - UniEuro

RESUMO

Auditórios de uso múltiplo caracterizam-se por abrigarem programas funcionais diversos, tais como palestras, apresentações musicais, aulas, entre outros. Como seria impossível atender a todas as diferentes demandas acústicas, a diversidade de soluções adotadas permite uma maior flexibilidade e atendimento aos diferentes usos. Em um ambiente universitário, no qual as demandas são bastante mutáveis, tal flexibilidade é essencial, e pode ser melhor atendida a partir de um projeto que considere aspectos de isolamento e, especialmente, de condicionamento acústico. Segundo a ABNT NBR 12.179:1992, o tratamento acústico de um recinto fechado deve ter um tempo de reverberação adequado à sua finalidade, calculado de acordo com o volume e os materiais utilizados. Diversos estudos de avaliação acústica de recintos fechados determinam outros parâmetros para caracterização sonora de um ambiente, como: clareza, definição, STI, entre outros. Este trabalho tem por objetivo avaliar a performance acústica de um auditório multiuso localizado na Universidade de Brasília, utilizando diferentes parâmetros propostos na normatização e na bibliografia. Foram avaliados o memorial de cálculo do projeto, simulação no software EASE e resultados das medições sonoras. As análises demonstraram que a boa integração entre projeto acústico e arquitetônico pode favorecer significativamente a qualidade sonora de um espaço, gerando menor dependência do projeto de sonorização para obtenção de boa performance do mesmo.

Palavras-chave: Acústica arquitetônica; Parâmetros de qualidade acústica; Condicionamento acústico; Acústica de auditórios.

ABSTRACT

Multi-purpose auditoriums are characterized as a shelter for a diversity of functional programs, such as lectures, musical presentations, classes, and others. Knowing that it would be impossible to cater all the different acoustic demands, the diversity of solutions adopted allow a larger flexibility and a better service to the different uses. In a university environment, in which the demands are quite changeable, such flexibility is essential, and can be better assisted with a project one that considers the isolation aspects and, especially, those of acoustic conditioning. According to ABNT NBR 12179:1992, the acoustic treatment of an enclosure must have an adequate reverberation time for its purpose, calculated per the volume and materials. Many studies of acoustic evaluation of closed spaces determine other parameters for sound characterization of an environment, such as: clarity, definition, STI, and others. This work pretends to evaluate the acoustic performance of a multipurpose auditorium located at the University of Brasília, with the focus being on the architectural characteristics of the environment, using different parameters proposed in standardization and bibliography. These were evaluated the project's memorial of calculation, simulation in EASE software and the results of the sound measurements. The analyzes demonstrated that the good integration between acoustic and architectural

design can significantly favor the sound quality of a space, generating less dependence of the electronic sound design for the good performance of the same.

Keywords: Architectural acoustics; Acoustic quality parameters; Acoustic conditioning; Auditorium Acoustics.

1. INTRODUÇÃO

O estudo acústico de salas permite entender como uma fonte sonora se propaga em um recinto fechado e atinge a plateia, a depender da função do espaço. Aspectos como as diferentes dimensões, formas e materiais devem ser cuidadosamente analisados para identificar como interferem no comportamento do som, em busca da solução mais interessante arquitetônica e acusticamente.

Auditórios de uso múltiplo caracterizam-se por abrigarem programas funcionais diversos, incluindo atividades para palavra falada (palestras, aulas) e música (apresentações musicais, concertos). Cada demanda acústica apresenta requisitos específicos, que devem ser levados em consideração desde o início da definição do espaço até a especificação de materiais. Considerando que seria impossível atender de forma ideal a todas as demandas acústicas, é necessário encontrar um meio termo que atenda de forma satisfatória aos diferentes usos. Em um ambiente institucional como de universidade, no qual as demandas são bastante mutáveis, a diversidade de soluções adotadas permite uma maior flexibilidade, possível a partir de um projeto que considere aspectos de isolamento e, especialmente, de condicionamento acústico.

Este trabalho apresenta uma avaliação da performance acústica de um auditório multiuso localizado na Universidade de Brasília, utilizando diferentes parâmetros propostos na normatização e na bibliografia.

2. ACÚSTICA GEOMÉTRICA EM AUDITÓRIOS MULTIUSO

Conforme observa Brandão (2016), o estudo de salas deve ser realizado a partir das teorias que mais se adequam a cada contexto. Uma das maneiras de se identificar o melhor método a ser adotado é o cálculo da Frequência de Schroeder, a qual determinará se no ambiente em estudo os modelos matemáticos mais recomendados são aqueles baseados na acústica ondulatória ou na acústica geométrica e estatística. Se a frequência de Schroeder estiver abaixo do limite das frequências em estudo, pode-se adotar as teorias geométrica e estatística.

A acústica geométrica permite considerar o desenho da sala, incluindo paredes inclinadas, superfícies irregulares entre outros, utilizando-se, frequentemente, softwares que buscam simular a realidade projetada, como o EASE (2016). Já a teoria estatística permite fazer estimativas iniciais do tempo de reverberação e definir com maior segurança os materiais e respectivas áreas a serem utilizados no tratamento acústico. Além disso, é matematicamente simples e de implementação prática e barata. Apesar de não levar em conta a geometria do ambiente, pode ser o ponto de partida para a modelagem por meio da acústica geométrica (BRANDÃO, 2016). No processo de concepção acústica deve-se considerar a avaliação dos resultados obtidos, seja por meio de simulações ainda na etapa de projeto, ou por meio de medições *in loco*, após finalizada sua execução.

2.1 Parâmetros de avaliação acústica de salas

Diversos parâmetros permitem avaliar uma sala quanto à sua performance. Entretanto, apenas alguns deles permitem avaliar a inteligibilidade da palavra falada, principal destinação dos auditórios multiuso. O principal é o Tempo de Reverberação, o qual leva em conta a absorção e área dos materiais superficiais e o volume do espaço. O tempo de reverberação pode ser definido como o intervalo de tempo que o nível de pressão sonora leva para decair 60 dB a partir da interrupção da emissão sonora (ABNT, 1992), obtendo assim o T_{60} . Por ser muito difícil a obtenção de um decaimento do nível de pressão sonora (NPS) de 60 dB em relação ao seu valor máximo, em ensaios acústicos, o T_{20} e o T_{30} são os tempos de reverberação equivalentes mais usuais, por considerarem o decaimento de 20 e 30 dB, respectivamente.

Segundo a ABNT NBR 12.179:1992, o tratamento acústico de um recinto fechado deve ter um tempo de reverberação adequado à sua finalidade. Além disso, avaliação geométrica e sistemas de atenuação sonora devem ser analisados, apesar de a norma não apresentar nenhum método específico a ser utilizado. Conforme observa Ginn (1978), o tempo de reverberação “ótimo” indicado nas curvas de volume x uso servem como um guia, mas podem apresentar uma grande dispersão em relação aos valores previstos. Em projetos de um auditório de uso múltiplo, como destaca Soler (2004), o tempo de reverberação deve levar em conta a multiplicidade de usos e de requisitos acústicos, seja para música ou palavra falada. Sendo assim, quando não é possível a previsão de superfícies móveis que alterem o tempo de reverberação, costuma-se buscar soluções intermediárias, que atendam satisfatoriamente às diferentes demandas, mesmo indicando uma atividade como prioritária.

A ISO 3382-1 apresenta dois métodos de medição do tempo de reverberação para salas de performance, um a partir da resposta impulsiva e outro a partir do ruído interrompido. Ao se emitir um impulso delta de Dirac em uma sala, é possível obter a evolução temporal da pressão sonora em outro ponto da sala, que será a resposta impulsiva da sala, conforme a norma ISO 3382-1. A função delta de Dirac é um objeto matemático que não pode ser fielmente reproduzido, mas impulsos breves oferecem uma aproximação desta função em relação ao sistema acústico de uma sala. O método do ruído interrompido consiste em emitir um ruído de espectro global ou limitado em bandas proporcionais, por tempo suficiente para estabilizar o comportamento acústico da sala e em seguida interromper a emissão da fonte para obter a curva de decaimento do nível de pressão sonora.

Além do tempo de reverberação, que pode ser calculado tanto utilizando-se a teoria estatística quanto métodos baseados em resposta impulsiva, outros parâmetros permitem avaliar a qualidade acústica de uma sala, em sua maioria, derivados da resposta impulsiva. No Anexo A da ISO 3382-1 é apresentada uma metodologia de ensaio com base na resposta impulsiva, que apesar de não integrar o texto da norma, serve para proporcionar a utilização de um método comum, o que contribui para avaliar qual sistema de ensaio permite melhor aplicação e repetibilidade.

Dentre os parâmetros de avaliação de salas, destacamos os relativos à inteligibilidade, que trata da maior ou menor capacidade de distinguir os sons, tanto em se tratando de música quanto da palavra falada. Para entender como o comportamento do som em um recinto fechado afeta a inteligibilidade, é importante entender o que ocorre após emitido um impulso

sonoro. Considerando-se que o primeiro raio sonoro levará um tempo até atingir o receptor, parte do som atingirá o receptor de forma direta e parte chegará após ser refletida em uma ou mais superfícies. Entre o som direto e a primeira reflexão de um raio (reflexão de primeira ordem) há um intervalo de tempo no qual há um pequeno silêncio (*ITDG - Initial Time Delay Gap*). A quantidade de energia que chega diretamente no receptor segue uma linha reta, e depende da potência e direcionalidade da fonte, da distância percorrida, e da absorção do ar. Dependendo da quantidade de superfícies (piso, teto, paredes, entre outros) que um raio atinge, ele será denominado como de segunda, terceira, quarta ordem, e assim por diante. A cada reflexão, como o raio percorre uma distância maior e vai sendo absorvido pelas superfícies – com diferentes coeficientes de absorção e espalhamento dos materiais –, a energia carregada diminui, reduzindo também o tempo entre as reflexões (BRANDÃO, 2016; GINN, 1978).

Clareza e Definição são dois parâmetros que indicam a boa inteligibilidade de uma sala, e se referem à “capacidade subjetiva de distinguir sons em sequência” (BRANDÃO, 2016, p. 507). Esses parâmetros consideram que as primeiras reflexões normalmente são integradas ao som direto ao chegarem ao nosso ouvido. Para Ginn (1978), em espaços para música, quanto mais o ouvinte consegue diferenciar os diferentes instrumentos de uma orquestra e os diferentes sons musicais, maior é a definição. Em espaços voltados para palavra falada, a definição depende do quanto os ouvintes recebem o som direto e as primeiras reflexões com força, acima do som reverberante.

Para Brandão (2016), a Definição é mais utilizada para fala e mede, em escala linear, a razão entre a energia das primeiras reflexões e a energia do restante da resposta ao impulso. Valores acima de 0,5 já são considerados satisfatórios, pois indicam que as primeiras reflexões carregam a maior quantidade da energia. Já a Clareza, mais recomendada para avaliação da música, mede em escala decibel a razão entre a energia das primeiras reflexões e a energia da cauda reverberante. Assim, apesar de ser possível obter-se análises de Clareza (C) e Definição (D) tanto para palavra falada quanto para música, considerando-se as primeiras reflexões chegam no período limite de 50 ms para fala e de 80 ms para música, usualmente são utilizados C_{80} para música e D_{50} para fala.

Valle (2009) considera que, para palavra falada, valores de clareza acima de 0 dB indicam uma ótima inteligibilidade, e em salas muito reverberantes, -5 dB já são bastante satisfatórios. Já para música, os valores dependem do tipo de música executada, podendo considerar os valores da Tabela 1 como referência.

Tabela 1: Valores de Clareza indicados conforme o tipo de música.

Tipo de música a ser executada na sala	Valor indicado
Instrumentos de sopro, incluindo órgão, tocando melodias com notas longas	< 0 dB
Música clássica e sinfônica; cordas e corais. Ideal para igrejas tradicionais	0 a +4 dB
Instrumentos de cordas puxadas, música pop. Música religiosa mais moderna, jazz leve, estilos com notas mais rápidas	+2 a + 6 dB
Instrumentos de percussão, <i>rock 'n roll</i> inclusive em igrejas. Adapta-se melhor à música atual	+6 a +10 dB
Salas muito mortas	> 10 dB

Fonte: VALLE, 2009.

O aumento de materiais absorventes está diretamente relacionado aos resultados positivos, provocando uma abrupta redução da energia sonora no espaço interno e uma maior concentração de energia inicial.

Outro parâmetro também utilizado na avaliação é o STI (*Speech Transmission Index*), que se baseia na relação entre a reverberação e o som residual, fazendo com que o sinal recebido pelo ouvinte seja menor que o sinal emitido (BRANDÃO, 2016). Este parâmetro considera uma escala de avaliação da inteligibilidade, em que 0 é totalmente ininteligível e 1 é perfeitamente inteligível, conforme apresentado na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2: Escala de valores de STI

STI	< 0,30	0,30 a 0,45	0,45 a 0,60	0,60 a 0,75	0,75 a 1
IF/100	Ruim	Regular	Aceitável	Bom	Excelente

Fonte: MARROS, 2011; BRANDÃO, 2106; VALLE, 2009

O STI é considerado um parâmetro robusto para a medição de inteligibilidade da fala (IF), e deve ser utilizado sempre que se pretende garantir sua adequabilidade.

3. AVALIAÇÃO ACÚSTICA DO AUDITÓRIO ADUNB - CASA DO PROFESSOR

A avaliação da performance acústica realizada para este trabalho utilizou como estudo de caso um auditório multiuso da Associação dos Docentes da Universidade de Brasília (AdUnB), no Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília (UnB), edifício Casa do Professor. O projeto arquitetônico do edifício foi desenvolvido a partir de concurso realizado em 1999, com execução do edifício em 2003-2004 e do auditório (Figura 1) apenas em 2015-2016.



Figura 1: a) Auditório da AdUnB – Casa do Professor; b) Apresentação da Orquestra Sinfônica da UnB

Fontes: a) <http://www.sintesearquitectura.com.br/>; b) <http://www.noticias.unb.br/publicacoes/69-informe/610-adunb-inaugura-centro-cultural>, Acesso em jan. 2017

O espaço possui 1.460 m², e abriga, além da sala principal com palco de 160 m² e plateia para 520 pessoas, cabine de tradução e de projeção. O auditório destaca-se pela qualidade do projeto desenvolvido e executado, o que tem gerado grande demanda por utilização de seu espaço para palestras, aulas e apresentações culturais, além de visitas de professores e alunos da área de acústica.

Neste sentido, procuramos aferir sua qualidade acústica e verificar se os resultados esperados em projeto foram, de fato, atendidos. Para estudo da performance acústica do auditório foram

avaliados o memorial de cálculo do projeto, a simulação no software EASE e os resultados das medições sonoras.

3.1 Concepção acústica do projeto

No início do projeto de acústica, os projetos de estrutura e de arquitetura estavam bem avançados. O auditório destinava-se prioritariamente para palavra falada, mas como a Universidade de Brasília possui uma carência de espaços de apresentação, vislumbrou-se que o espaço também seria utilizado para apresentações musicais, de teatro e dança, e por isso o palco foi concebido com maior profundidade. Quando as análises acústicas foram iniciadas, alguns fatores já estavam rigidamente estabelecidos, tais como: as dimensões dos ambientes, a conformação retangular da planta e curva de audibilidade da plateia, a proposta estética da uniformidade visual das paredes laterais e o custo final da obra.

O primeiro ponto levantado do projeto foi o volume, para definição do tempo de reverberação (T_{60}) ideal para a banda de 500 Hz, conforme o gráfico apresentado na NBR 12.179. Também foi realizado o cálculo da frequência de Schroeder, a fim de verificar a partir de qual frequência os números de modos acústicos da sala seriam elevados o suficiente para dificultar sua diferenciação (DOAK, 1959, *apud* FERREIRA, 2007, p. 9). Verificou-se que o T_{60} ideal para uma sala de conferência de 3.800 m³ era de aproximadamente um segundo, já uma sala destinada à música teria um T_{60} ideal de 1,3 s. Optou-se então por considerar para essa sala um T_{60} ideal de 1,1 s, pois esse aumento de 10%, ainda estaria dentro do aceitável para a NBR 12.179. Uma sala com essas características teria uma frequência de Schroeder de aproximadamente 34 Hz, o que demonstrava que o estudo acústico geométrico e a análise estatística teriam influência sobre um amplo espectro de frequência.

Em seguida, elaborou-se o estudo geométrico para o direcionamento sonoro das primeiras reflexões. Buscou-se o reforço sonoro nas áreas posteriores ao meio do auditório, por meio de placas reflexivas inclinadas nas paredes laterais e teto (Figura 2).

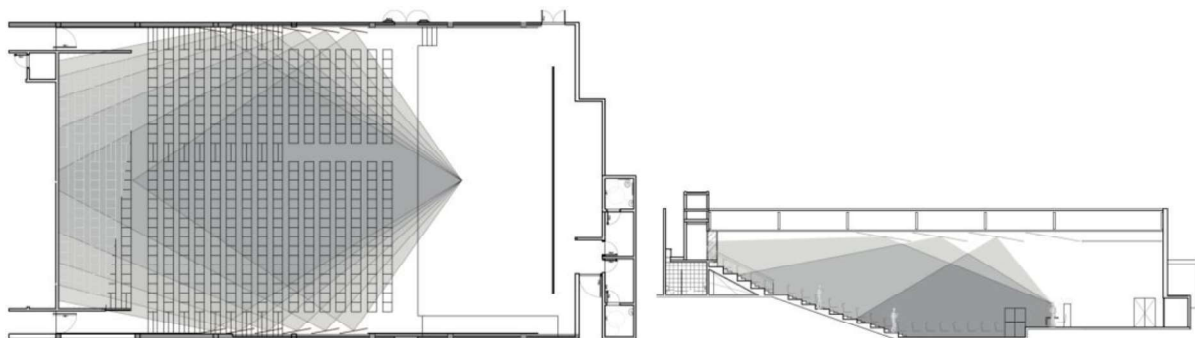


Figura 2: Planta e Corte esquemáticos de estudo geométrico das placas reflexivas

Fonte: Projeto Acústico desenvolvido em 2015

Com base nesse estudo, solicitou-se ao autor do projeto arquitetônico que os painéis inclinados da parede e do teto fossem admitidos no conceito estético da arquitetura. Em contrapartida, a arquitetura solicitou que todas as paredes possuíssem o mesmo acabamento estético. Foi definido que as paredes laterais e do fundo seriam revestidas por um painel em MDF frisado que poderia apresentar perfuração da face posterior, garantindo diferentes absorções acústicas, conforme a necessidade de cada parede e área.

Com a definição dos materiais de acabamento foram realizados os cálculos do T_{60} para verificação da quantidade de materiais necessária para aproximação do T_{60} ideal, considerando ocupação de dois terços da plateia (DOELLE, 1964, p. 152). Os cálculos foram realizados por meio do método de Sabine (ABNT, 1992), entre as frequências centrais de 125 a 4000 Hz, em bandas de oitava. Para as bandas de frequências acima de 500 Hz os valores de T_{60} ideal foram mantidos em 1,1s. Conforme orientação de Gerges (1992), o valor ideal utilizado foi 15% superior para a banda de 250 Hz e 50% superior para a banda de 125 Hz.

A partir do cálculo acústico, o cliente elaborou um orçamento prévio e solicitou redução de custos. Optou-se por substituir o piso vinílico - inicialmente previsto pelo cliente - por carpete. Tal alteração permitiu a retirada do material absorvedor do teto e a garantia da absorção requerida no eixo z, mantendo assim o equilíbrio com os demais eixos (x e y). Verificou-se que nas bandas de frequência acima de 500 Hz, o T_{60} calculado ficou pouco abaixo do T_{60} ideal, e nas demais bandas pouco acima do ideal, resultado considerado satisfatório.

Deu-se, então, sequência ao projeto, com o modelo 3D no software *Sketchup*, priorizando a colocação dos absorvedores de espectro mais amplo nas faces paralelas e dos materiais refletores nas placas de direcionamento sonoro. O modelo foi importado para o software EASE (*Electro-Acoustic Simulator for Engineers*), que teve seu banco de dados de materiais e caixas acústicas alimentado conforme a necessidade do projeto, permitindo a caracterização do espaço de maneira mais precisa.

Ao modelar o campo sonoro de uma sala, Brandão (2016) destaca que o primeiro passo é desenhar a geometria tridimensional de seu interior, para então, definir a distância e ângulos de incidência e reflexão dos diferentes planos entre a fonte e o receptor, a partir dos vetores de posição e normal dos vértices, que devem apontar para dentro da sala. É necessário definir as características e posição das fontes sonoras e receptores, além das propriedades acústicas dos materiais. Em relação às características da fonte, posição em relação ao sistema de coordenadas irá influenciar na resposta ao impulso sala-fonte-receptor. Também devem ser considerados a potência sonora, a direcionalidade e a orientação do eixo principal de radiação das ondas sonoras. Em relação aos receptores, Brandão (2016) classifica-os em pontuais, planos ou cabeças receptoras. Para o auditório em estudo, foi utilizado o plano, considerando a superfície ocupada pela orelha dos ouvintes da plateia.

Após caracterizado o espaço no EASE, foi possível verificar o comportamento da sala em relação aos parâmetros objetivos, derivados da resposta impulsiva da sala, a partir do mapeamento acústico das áreas de audiência (VALLE, 2009). Verificou-se que os parâmetros de Claridade (C_{50}) e Definição (D_{80}) estavam compatíveis com a finalidade da sala, demonstrando que os estudos estatístico e geométrico realizados foram determinantes para os bons resultados alcançados.

3.2 Metodologia de avaliação da performance acústica

No ensaio acústico do auditório realizado *in loco*, utilizou-se a metodologia de resposta impulsiva (MASIERO; IAZZETTA, 2004), possibilitando a avaliação de um maior número de parâmetros acústicos. Foi utilizada uma fonte impulsiva que proporcionou um nível sonoro de

no mínimo de 35 dB acima do nível sonoro residual do ambiente num espectro amplo de frequência.

Conforme apresentado na Figura 3, a fonte foi posicionada em duas regiões do palco (F1 e F2), onde geralmente se posicionam os oradores. Os pontos de microfona foram distribuídos em seis pontos distintos (P1 a P6), sendo dois localizados próximos aos corredores laterais (P1 e P2), dois no centro dos corredores de fileiras (P5 e P6) e os outros dois no eixo central da plateia - um no ponto médio (P4) e outro ao fundo, próximo a cabine de som (P3). Apesar da avaliação a partir do EASE indicar a uniformidade na distribuição do som na sala, decidiu-se por utilizar maior número de pontos de recepção, visando verificar a ocorrência da baixa variação dos parâmetros acústicos nos diferentes blocos de plateia.

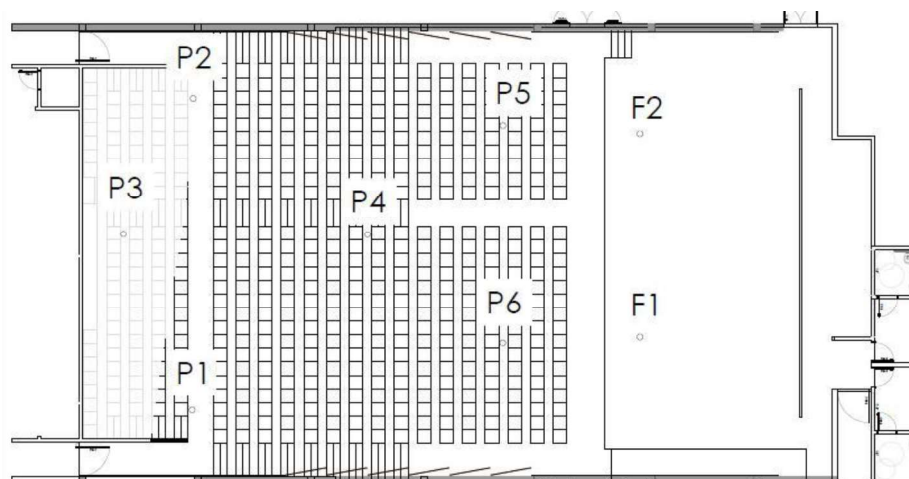


Figura 3: Posições da Fonte e Receptores
Fonte: Projeto Acústico desenvolvido em 2015

Para cada ponto de microfona foram realizados dois disparos de fonte, um em cada ponto (F1 e F2). Os registros das aferições de T_{20} cobriram a faixa de frequência entre 125 e 8.000 Hz em bandas de oitava de frequência. Utilizou-se um microfona modelo MCE 212, fabricante 01dB, acoplado a um medidor integrador de nível sonoro, Blue Solo Premium, classe 1, da mesma fabricante, acionado pelo *software* computacional dBati, que proporciona a avaliação automática da resposta impulsiva.

Os tempos de reverberação de cada curva de decaimento foram identificados, calculando-se o valor médio para expressar o tempo de reverberação do auditório. Os valores de C_{80} e D_{50} , calculados pelo programa dBati, foram analisados com base na resposta impulsiva de cada ponto da sala e comparados com os valores da simulação do EASE na etapa de projeto. Em relação ao STI, vale destacar que a metodologia mais utilizada é a de varreduras logarítmicas por sinais de ruídos modulados espaciais, que demandaria a utilização de um impulso de excitação digital. No método adotado, entretanto, utilizamos impulso analógico, o qual conforme a ISO 3382-1, também pode ser utilizado para obtenção de STI através do pós-processamento da resposta impulsiva, gerados pelo dBati.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores do T_{60} obtidos em ensaio foram bastante compatíveis com os valores simulados e calculados. Todos os valores encontraram-se muito próximos do Tempo Ótimo de Reverberação recomendado para essa atividade e volume (ver Gráfico 1).

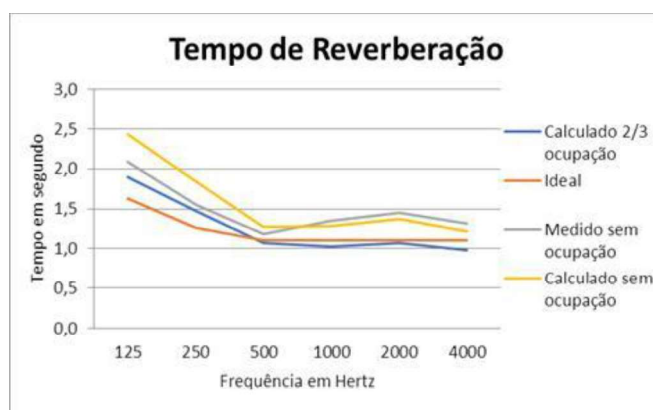


Gráfico 1: Tempo de reverberação medido e calculado

Fonte: Autoras, 2016

Nos parâmetros de qualidade da sala que dependem da resposta impulsiva, os valores já não apresentam a mesma compatibilidade - de maneira geral o resultado do simulado é melhor do que o obtido em ensaio. Isso é completamente compreensível, tendo em vista as condicionantes nem sempre são todas previsíveis, incluindo eventuais interferências de sons residuais.

Tabela 3: Valores recomendados, simulados e ensaiados

	STI			$D_{50} - f 500 \text{ Hz}$			$C_{80} - f 500 \text{ Hz (dB)}$		
	Recomendado	Simulado	Ensaiado	Recomendado	Simulado	Ensaiado	Recomendado	Simulado	Ensaiado
P1	> 0,45	0,67	0,58	> 0,5	0,78	0,43	> 0 dB	4,4	4,6
P2		0,66	0,58		0,78	0,47		4,4	3,5
P3		0,67	0,57		0,78	0,49		4,3	5,1
P4		0,71	0,57		0,81	0,55		5,1	2,8
P5		0,71	0,57		0,86	0,4		5,7	3,0
P6		0,72	0,57		0,83	0,43		6,3	3,3

Fonte: Autoras, 2016

Conforme se observa na Tabela 3, os valores ensaiados em geral foram considerados satisfatórios. O STI esteve sempre na faixa aceitável, o C_{80} adequado para músicas de instrumentos de cordas puxadas, música pop, jazz leve, estilos com notas mais rápidas, predominantemente tocados no espaço. Os valores de D_{50} obtidos nas medições nem sempre estão acima do recomendado, mas sempre aproximam desse valor, não afetando o resultado geral significativamente.

5. CONCLUSÃO

As análises demonstraram que a boa integração entre projeto acústico e arquitetônico pode favorecer significativamente a qualidade sonora de um espaço. A análise de um auditório na Universidade de Brasília permitiu verificar que o tempo de reverberação é um importante parâmetro para garantia da qualidade de um espaço, a depender de sua função. Os cálculos acústicos associados à simulação computacional favorecem a previsão de materiais de forma mais confiável, garantindo resultados *in loco* bastante próximos do previsto. O projeto que considere outros parâmetros subjetivos, como os ligados à inteligibilidade, apesar da divergência entre os valores simulados e ensaiados, tem mais chances de garantir o desempenho desejado, conforme os requisitos recomendados pela bibliografia e normas.

Vale ressaltar que os resultados gerados em um modelo virtual dificilmente serão semelhantes ao cenário real, especialmente no que diz respeito aos parâmetros que dependem da resposta impulsiva, visto que em condições reais as fontes sonoras apresentam características diferentes. A variação entre os resultados simulado e medido é, portanto, totalmente compreensível, devendo ser sempre prevista uma margem de segurança na etapa de projeto.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179**: Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.
- BRANDÃO, Eric. **Acústica de Salas projeto e modelagem**. São Paulo, 2016
- DOELLE, L. **Acoustics in architectural design**. Montreal: McGill University, 1964.
- EASE – Enhanced Acoustic Simulator for Engineers. Berlin: AFMG Technologies, 2016.
- FERREIRA, Ana Rafaela P. C., **Soluções Técnicas para Isolamento Sonoro de Edifícios de Habitação**. Dissertação de mestrado. Lisboa: Universidade Tecnica de Lisboa, 2007.
- GERGES, Samir N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. Florianópolis: S. N. Y. Gerges, 1992.
- GINN, K. B. **Architectural Acoustics**. Naerum, Denmark: Brüel & Kjaer, 1978.
- ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 3382-1**: Acoustics: Measurement of room acoustic parameters – Part 1: Performance spaces, Genova, 2009.
- MARROS, F. **Caracterização Acústica de Salas para Prática e Ensino Musical**. Santa Maria, 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, 2011.
- MASIERO, B. S.; IAZZETTA, F. Estudo e implementação de métodos de medição de resposta impulsiva. In: **I Seminário Música Ciência Tecnologia: Acústica Musical**, São Paulo, 2004.
- SOLER, Carolina. **Contribuição ao processo de projeto de auditórios: avaliação e proposta de procedimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo na Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp). Campinas: Unicamp, 2004.
- VALLE, Sólón do. **Manual prático de Acústica**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Música & Tecnologia, 2009.