Acústica 2008
20 - 22 de Outubro , Coimbra, Portugal
Universidade de Coimbra

UTILIZAÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS RESSOADORES PARA O TRATAMENTO ACÚSTICO DE SALAS

Aline Lisot[1], Paulo F. Soares[2], Carlos A. M. Tamanini[3], Gustavo B. Coelho[4]

[1,2,3,4] Universidade Estadual de Maringá – UEM
(alinelisot@gmail.com, pfsoares@uem.br, camtamanini@uem.br, gustavobcoelho@hotmail.com)

Resumo
O presente trabalho é um estudo relativo à utilização de blocos cerâmicos ressoadores para o tratamento acústico de um auditório da Universidade Estadual de Maringá, cidade de Maringá, estado do Paraná, Brasil. Os blocos foram desenvolvidos na mesma universidade e dimensionados com freqüência de oscilação em torno de 200 Hz. Primeiramente determinou-se o tempo de reverberação da sala por freqüência em banda de oitava. Esta medição foi efetuada utilizando o método impulsivo com coleta de dados através do software Dirac 3.1®. Após, reproduziu-se a sala no software EASE 4.1® e fez-se a simulação do seu comportamento acústico, ocorrendo a repetição dos dados medidos. Por fim, ainda no software EASE 4.1®, revestiu-se parte das paredes com os blocos ressoadores e repetiu-se a simulação. Verificou-se que o emprego dos blocos proporcionaria tempos de reverberação menores em relação à situação inicial, principalmente nas freqüências em torno de 200 Hz.

Palavras-chave: Ressoadores de Helmholtz, absorção sonora, tempo de reverberação, simulação, tratamento acústico.

Abstract
The present paper is a study on the use of ceramic blocks resonators for the acoustic treatment of an auditorium at Universidade Estadual de Maringá, city of Maringá, state of Paraná, Brazil. The blocks were developed in the same university and scaled with oscillation frequency around 200 Hz. First it was determined the reverberation time of the room in the octave band spectrum. This measurement was made using the impulsive method with collecting data through software Dirac 3.1®. After that, the room was reproduced in the software EASE 4.1® and was made up the simulation of their acoustic behavior, occurring repetition of the measured data. Finally, even in the software EASE 4.1®, took up part of the walls with resonators and was repeated the simulation. It was verified that the employment of the blocks can provide better reverberation times comparing with the original situation, especially at the frequencies around 200 Hz.

Keywords: Helmholtz resonators, sound absorption, reverberation time, simulation, acoustic treatment.

1 Introdução

A qualidade acústica de uma sala é definida por uma série de parâmetros objetivos e subjetivos. Dentre estes se destaca o tempo de reverberação com um parâmetro objetivo de relevância ao se falar do tratamento acústico de salas. Neste trabalho questões referentes ao isolamento acústico de salas não serão abordadas.

O ser humano em seu dia-a-dia freqüenta ambientes acusticamente poluídos e acaba por se expor constantemente à ação do ruído em seu organismo. Caso a exposição ao ruído seja excessiva, pode ocasionar desde distúrbios no sono, má compreensão da palavra falada, propensão à irritabilidade e até, em casos extremos, a perda da audição. O tratamento de salas pode trazer maior conforto acústico aos ouvintes sem, no entanto, eliminar a necessidade de isolamento.

O tempo de reverberação relaciona-se ao fato de se absorver ou difundir o som em salas e desta forma adaptar a quantidade de reflexões ao uso a que se destina o ambiente. No que se refere a materiais absorvedores pode-se trabalhar no controle de reflexões nas médias e altas freqüências com materiais porosos e fibrosos e também no controle de baixas freqüências com dispositivos específicos. Este estudo abordou a utilização de blocos cerâmicos ressoadores que reproduzem ressoadores de Helmholtz para a absorção de baixas freqüências. Os ressoadores são peças que têm a capacidade de absorver sons em freqüências específicas, conforme o seu dimensionamento.

O procedimento utilizado neste estudo dividiu-se em três etapas. Na primeira mediu-se o tempo de reverberação da sala por meio do método impulsivo utilizando o software Dirac 3.1® para coleta de dados. Após fez-se a simulação da sala no software EASE 4.1® para comparação dos tempos de reverberação medidos. Por fim inseriu-se uma área com característica de absorção sonora de ressoadores de Helmholtz e repetiu-se a simulação para verificar o efeito no tempo de reverberação da sala.

2 Acústica de salas

O projeto acústico de ambientes ainda pode ser considerado um desafio para arquitetos e engenheiros civis. A qualidade acústica de uma sala depende da sua forma e volume, assim como da forma irregular e difusora das superfícies [1]. A acústica de salas preocupa-se, especificamente, com dois aspectos [2]:

- Isolamento contra o ruído: onde podemos ter o objetivo de isolar o ambiente interno contra ruídos externos e dos ruídos produzidos no próprio interior da edificação (por exemplo, salas de aula), e ainda isolar o ruído interno para que este não incomode a vizinhança;
- Controle de sons no interior do recinto: nos locais onde é importante uma comunicação sonora, o projeto acústico deve propiciar uma distribuição homogênea do som, preservando a inteligibilidade da comunicação e evitando problemas acústicos comuns, como ecos, ressonâncias, reverberação excessiva, etc.

A sala em questão é uma sala de aula do Departamento de Música da Universidade Estadual de Maringá que também é utilizada como auditório. Muitos fatores, inclusive a escolha da técnica construtiva, técnicas pedagógicas, e tecnologias de amplificação, podem afetar as condições acústicas em uma sala de aula. Especificamente neste projeto é necessário que se faça o controle do ruído de fundo, que se garanta a inteligibilidade da palavra falada além de assegurar a reverberação necessária para a boa interpretação de peças musicais.

No que se refere ao ruído de fundo, salienta-se que este compete com a fala ou a música executada. Quanto mais intenso este ruído, mais intenso deverá ser o sinal emitido para que possa ser ouvido e entendido. O ruído de fundo, quando excedendo o limite tolerado, deve ser administrado através de decisões construtivas adequadas. Deve-se lembrar que quanto maior a densidade (peso por área) do

obstáculo ao som, maior será o isolamento. Assim, as paredes de tijolos maciços ou de concreto e de grande espessura apresentam as maiores atenuações; as paredes de tijolos vazados atenuam menos; as lajes maciças de concreto atenuam mais que as lajes de tijolos vazados [2]. Estas variações na atenuação refletem a maior capacidade dos corpos de massa mais concentrada em atenuar o ruído. A utilização de sistema de condicionamento de ar nas salas também deve ser considerada ao se tratar de ruído de fundo. Fontes de ruído como ventiladores, compressores, devem ser tratadas com medidas de controle por isolação e atenuação da vibração além de ser observada a intensidade de ruído produzida pelo produto. Acrescenta-se que este é um ponto importante no projeto acústico de salas, mas não foi abordado em detalhes nesta pesquisa.

Se durante a propagação de uma onda sonora no ar, esta encontrar uma barreira (uma parede revestida com material de consistência rígida, por exemplo), acontecerá a reflexão da onda e ela retornará como uma onda sonora refletida. Num ambiente fechado ocorrem muitas reflexões do som, fazendo com que os ouvintes escutem o som direto da fonte e os vários sons refletidos. Isso pode causar um prolongamento na duração do som e, possivelmente distorções do som emitido.

A partir disso define-se *tempo de reverberação* (T_{60}) como o tempo necessário para que o nível sonoro do recinto caia 60 dB após cessar-se a emissão de sons [3]

A. NBR - 12179 - (NB-101) – *Norma para tratamento acústico em recintos fechados* [4] e a NBR 10.152 – *Avaliação do ruído ambiente em recintos de edificações visando o conforto dos usuários* [5], estabelecem as bases fundamentais para a execução de tratamentos acústicos em recintos fechados. Conforme o "gráfico para determinação do tempo ótimo de reverberação" da NBR 12179 [5], tem-se que, para salas destinadas à "palavra falada" com volume em torno de 260 m^3, o tempo de ótimo de reverberação é de aproximadamente 0,5 segundos e, para "salas de concerto" este tempo é de 0,8 segundos. Esses valores referem-se à freqüência de 500 Hz. Considerando a sala de uso misto (sala-de-aula e sala de concertos) busca-se uma situação intermediária, ou seja, tempos de reverberação que atendam às duas situações satisfatoriamente.

3 Ressoadores de Helmholtz

Hermann Ludwing Ferdinand von Helmholtz (1821-1894) foi quem primeiro executou experimentos com objetos esféricos, de tamanho graduado, com um pescoço e um buraco para aproximar do ouvido e escutar o resultado da experiência. Foi ele quem conseguiu estimar a energia para cada freqüência por meio da intensidade do som em diferentes ressoadores.

O ressoador de Helmholtz é um sistema absorvedor baseado na propriedade de dissipar energia em torno de uma freqüência de ressonância a qual é função das características geométricas do sistema [6]. Consiste de uma passagem de ar que se movimenta e está conectada com uma quantidade de ar presa num volume. Esse volume pode ter infinitas formas: concha, garrafa, estrutura de um instrumento musical, superfícies de paredes perfuradas. Quando o ar interior desses ressoadores entra em vibração para certa freqüência de ressonância, pode dissipar a energia sonora transformando-a em energia mecânica, sob forma de atrito e funcionando, então, como absorvedor de som [7].

Para estimar a freqüência de oscilação do ar nos ressoadores de Helmholtz (Figura 1), apresenta-se a Equação 1 [8].

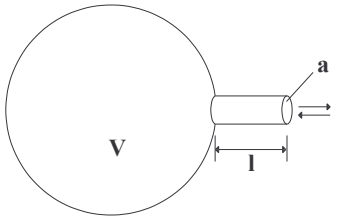

Figura 1 – Ressoador de Helmholtz [8]

$$f = \frac{c}{2 * \pi} \sqrt{\frac{a}{Vl}} \tag{1}$$

Onde *f* é a freqüência do ressoador [Hz], *a* é a área do gargalo [m2], *l* é comprimento do gargalo [m], *V* é o volume do ressoador [m3], *c* é a velocidade do som no ar [m/s].

3.1 Desenvolvimento dos ressoadores de Helmholtz

O ressoador de Helmholtz utilizado nesta pesquisa foi dimensionado com o intuito de absorver freqüências mais graves entre 125 e 250 Hz e foi produzido em escala 1:5.
Sabe-se que utilizar modelos para estudos na área de acústica implica em assumir riscos quanto à qualidade dos resultados obtidos. Mesmo sabendo que os resultados não são fiéis à realidade entende-se que dão uma boa perspectiva do desempenho das peças em questão.
Por ocasião do estudo da forma do ressoador buscou-se formar um conjunto de uma passagem de ar suficientemente longa associada a um volume de ar interno que atendesse a esta necessidade. Além destas características determinou-se também a modulação que deveria ser seguida no assentamento dos ressoadores. As dimensões finais em centímetros da peça cerâmica em escala são apresentadas na Figura 2, juntamente com uma imagem da peça finalizada.

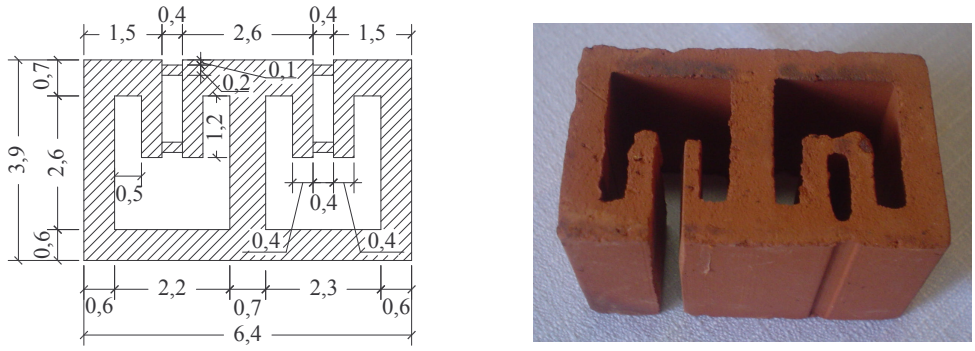

Figura 2 – Ressoador de Helmholtz em escala 1:5

Observando a Figura 2, vê-se que é possível criar dois ressoadores em uma única peça. No entanto, optou-se por fazer a abertura de somente um ressoador e assentar as peças intercalando estas aberturas. Esta conformação de construção da barreira permite um volume maior no interior do ressoador e, desta forma, pode-se atingir a freqüência de oscilação desejada. O volume considerado para o cálculo da freqüência de oscilação dos ressoadores é o ilustrado por cada um dos retângulos desenhados na Figura 3.

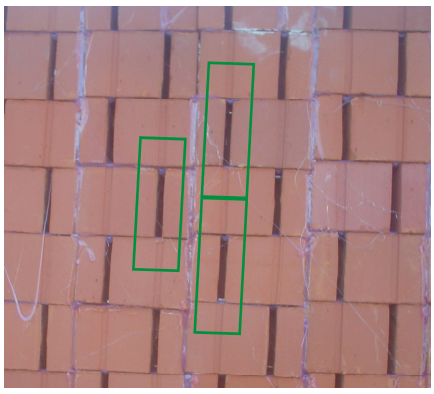

Figura 3 – Volume do ressoador

Desta forma calculou-se a freqüência de oscilação do conjunto por meio da Equação 1 considerando a velocidade do ar à 20ºC:

$$f = \frac{344}{2 * \pi}\sqrt{\frac{0{,}004}{0{,}0008 * 0{,}019}} = 888{,}2Hz$$

Como a peça está na escala 1:5, também se deve considerar esta escala para os comprimentos de onda. Sabe-se que para o protótipo (barreira acústica em tamanho real) tem-se $\lambda_p = c/f_p$ e, para o modelo (barreira acústica na escala 1:5), $\lambda_m = c/f_m$. Se a escala do modelo é 1:5, então se pode afirmar o seguinte:

$$\frac{1}{5} = \frac{\lambda_m}{\lambda_p} \Rightarrow \frac{1}{5} = \frac{c}{f_m} * \frac{1}{c/f_p} = \frac{f_p}{f_m} \therefore f_p = \frac{f_m}{5}$$

Portanto a freqüência calculada deve ser dividida por 5 (cinco), o que significa que se estará aumentando cinco vezes o comprimento de onda da onda sonora e desta forma ter-se-á a freqüência de oscilação do protótipo. Logo, a freqüência de oscilação de um ressoador de Helmholtz cerâmico em tamanho real seria de 177,6Hz, valor este que se encontra dentro da faixa de interesse para o ruído de tráfego monitorado.

3.2 Determinação do coeficiente de absorção sonora de Sabine

Determinou-se o coeficiente de absorção sonora de Sabine das peças desenvolvidas conforme a ISO 354 (Acoustics – Measurement of sound absorption in a reverberation room, 2003). O método deve ser aplicado em câmara reverberante, a qual tem as superfícies construídas de forma a maximizar o som refletido, com o intuito de gerar um campo difuso.
Após as medições de tempo de reverberação na câmara reverberante, fez-se o cálculo do coeficiente de absorção sonora de Sabine. Também se fez referência à escala dos ressoadores ao considerar os comprimentos de onda. Foram testados dois tipos de painel na câmara reverberante: um com as juntas sem vedação e outro com vedação. Utilizam-se neste trabalho os valores obtidos a partir do painel com as juntas vedadas. No Gráfico 1 apresentam-se os coeficientes de absorção sonora de Sabine para os ressoadores em tamanho real.

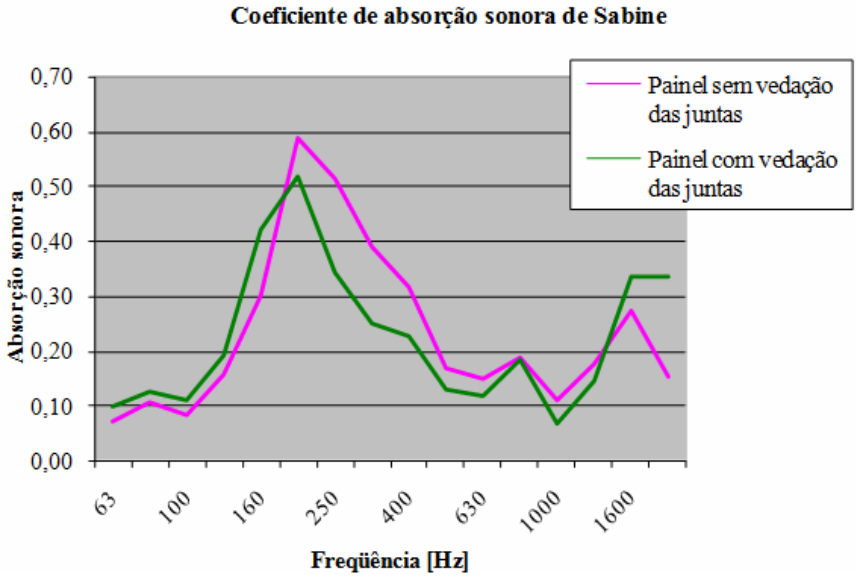

Gráfico 1 – Coeficientes de absorção sonora de Sabine para ressoadores em tamanho real

Observa-se no Gráfico 1 que em torno da freqüência de 200 Hz ocorre um aumento significativo da absorção sonora dos ressoadores sendo isso mais acentuado para o painel de ressoadores sem vedação das juntas. Esta freqüência aproxima-se bastante daquela calculada quando do dimensionamento do ressoador em escala. Isto significa que os ressoadores trabalham conforme esperado. Esta variação entre o valor da freqüência de pico de absorção calculada e medida pode ser atribuída às variações nas dimensões dos ressoadores bem como a falhas na montagem do painel.
Chama-se a atenção para um acréscimo de absorção sonora dos ressoadores nas freqüências em torno de 1600Hz. Acredita-se que este acréscimo deva-se à formação de um segundo volume na região do ressoador análoga ao "gargalo da garrafa" conforme ilustra a parte listrada da Figura 4 e, conseqüentemente, verifica-se uma segunda freqüência de oscilação do sistema.

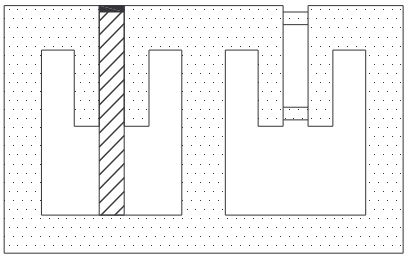

Figura 4 – Ressoador de Helmholtz: formação de um segundo volume

Efetuando-se o cálculo da freqüência de oscilação deste volume e considerando-se o comprimento do novo gargalo muito pequeno, um milímetro, como se pode observar na Figura 5 a parte pintada de preto, chega-se ao exposto a seguir.

$$f = \frac{344}{2 * \pi} \sqrt{\frac{0{,}004}{0{,}0002 * 0{,}001}} = 7742{,}9Hz$$

$$\Rightarrow \frac{7742{,}9Hz}{5} = 1548{,}6Hz$$

Observa-se que, como o comprimento do "gargalo" é mínimo, a Equação 1 empregada para o cálculo da freqüência crítica foi utilizada, neste exemplo, de forma aproximada. No entanto, este é um ponto a ser avaliado com mais detalhes já que seria de grande valia poder-se dimensionar uma única peça que tivesse a absorção sonora acentuada em duas freqüências, com, por exemplo, uma baixa e outra média freqüência.

4 Métodos e resultados

A sala analisada é um auditório do Departamento de Música da Universidade Estadual de Maringá, cidade de Maringá, estado do Paraná, Brasil. Além de servir como auditório esta sala também é utilizada como sala-de-aula. Dividiram-se os procedimentos desta pesquisa em três etapas: medida do tempo de reverberação da sala; simulação da sala no ambiente do software EASE 4.1® na situação atual e simulação com a inserção de uma área de absorção com características conforme os coeficientes de absorção sonora de Sabine dos ressoadores de Helmholtz. A seguir apresentam-se os procedimentos adotados em cada etapa bem como os resultados obtidos.

4.1 Medida do tempo de reverberação

Para a medida do tempo de reverberação da sala utilizou-se o método impulsivo, que consiste da elevação do Nível de Pressão Sonora (NPS) por meio de um impulso sonoro e subseqüente medida do tempo necessário para o decaimento de 60 dB. O impulso foi gerado estourando-se bexigas e a coleta de dados foi feita com um microfone omnidirecional da Beringher de ½" conectado ao software Dirac 3.1®. Coletaram-se dados de tempo de reverberação em três situações: com "janelas e cortinas fechadas", com "janelas fechadas e cortinas abertas" e com "janelas e cortinas abertas". Para cada situação estouravam-se as bexigas próximo ao local onde localiza-se a fonte sonora por ocasião dos concertos ou o professor durante as aulas e, o microfone omnidirecional era posicionado no centro da sala, sendo adotadas quatro orientações (frente, direita, fundo e esquerda) para cada situação. A Figura 5 ilustra a situação do microfone omnidirecional voltado para frente com as janelas e cortinas fechadas e uma bexiga sendo estourada.

Figura 5 – Microfone omnidirecional voltado para frente com cortinas e janelas fechadas e bexiga sendo estourada

A Tabela 1 traz os resultados obtidos por meio destas medições.

Tabela 1 – Tempos de reverberação medidos

Situação	Freq. [Hz]	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
Janela fechada cortina aberta	**Tempo de reverberação [s]**	0,57	0,93	1,05	1,38	1,42	1,52	1,22	1,25	1,08	1,17
Janela aberta cortina aberta		0,61	0,72	0,94	1,12	1,16	1,23	1,02	1,10	0,95	1,01
Janela fechada cortina fechada		0,68	1,05	0,98	1,21	1,25	1,28	1,02	1,05	0,89	0,97

4.2 Simulação do tempo de reverberação na situação atual

O software EASE 4.1® permite que se criem situações, sejam elas reais ou de projeto, e, em uma locação virtual, se descreva o comportamento de ondas sonoras no meio criado. Foi utilizado nesta

pesquisa para a simulação do desempenho de salas quanto ao seu tempo de reverberação. Na primeira abordagem efetuada simulou-se a sala nas três situações descritas no item 4.1 e compararam-se os tempos de reverberação obtidos com os medidos, os quais foram apresentados na Tabela 1.
No ambiente do software inseriu-se o volume referente à sala analisada. Conferiu-se a cada componente do volume (piso, teto, paredes) as características de absorção conforme o material utilizado na construção. Também se inseriram portas, janelas, cortinas, tapete e cadeiras. A Figura 6 traz uma ilustração da sala já inserida no software.

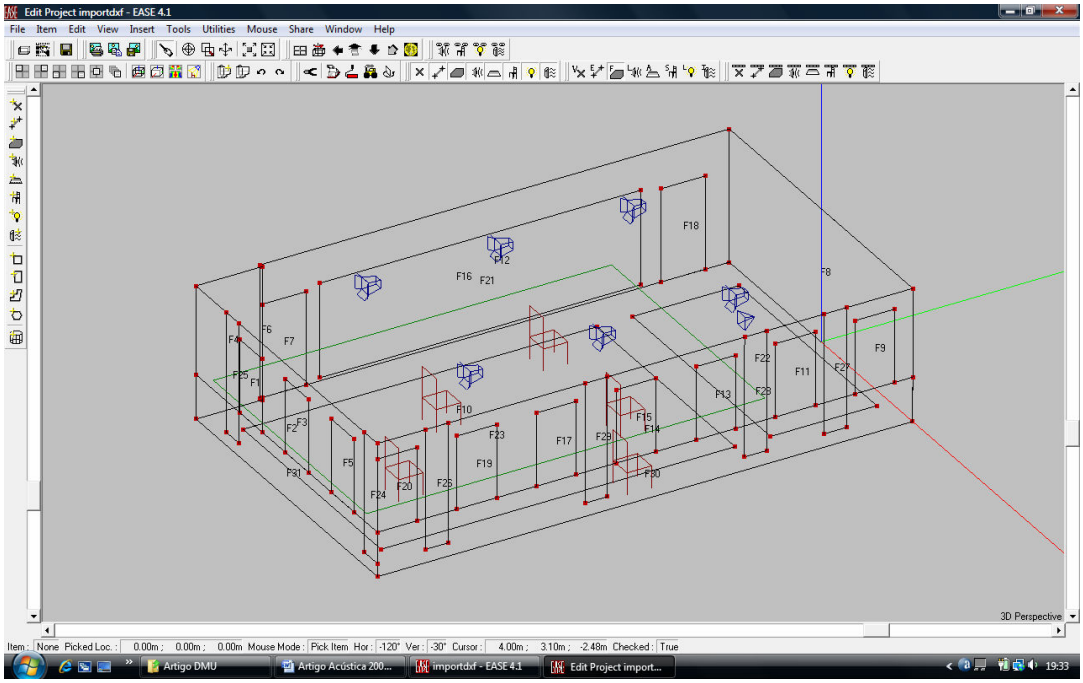

Figura 6 – Sala analisada no ambiente do software EASE 4.1®

Na Tabela 2 apresentam-se os valores de tempo de reverberação obtidos nas simulações da sala na situação atual.

Tabela 2 – Tempos de reverberação simulação – sala na situação atual

Situação	Freq. [Hz]		125	250	500	1k	2k	4k	8k
Janela fechada cortina aberta	Tempo de reverberação [s]	Sabine	1,32	1,66	1,63	1,42	1,25	1,18	0,85
		Eyring	1,25	1,58	1,55	1,35	1,18	1,13	0,82
Janela aberta cortina aberta		Sabine	1,08	1,26	1,16	1,04	0,94	0,90	0,69
		Eyring	1,01	1,18	1,09	0,97	0,87	0,84	0,65
Janela fechada cortina fechada		Sabine	1,41	1,84	1,68	1,39	1,10	0,89	0,69
		Eyring	1,35	1,77	1,61	1,32	1,04	0,83	0,65

Comparando os dados da Tabela 2 com os da Tabela 1, verifica-se que existe uma proximidade entre os dados medidos e os simulados. É provável que as diferenças observadas ocorram devido a detalhes da mobília e a pequenas diferenças entre os coeficientes de absorção sonora dos materiais utilizados na construção e na simulação da sala.

4.3 Simulação do tempo de reverberação com a inserção de ressoadores

O objetivo principal desta pesquisa é a demonstração da eficiência dos ressoadores de Helmholtz desenvolvidos no condicionamento acústico de salas. Com este fim fez-se, no ambiente do software EASE 4.1®, a inserção de áreas de ressoadores de Helmholtz. Estas áreas foram posicionadas sob as janelas com um metro de altura e por toda extensão das paredes do fundo da sala e de uma das laterais, totalizando 19 m². A Tabela 3 traz os resultados obtidos a partir das simulações efetuadas com a inserção dos ressoadores de Helmholtz na sala avaliada.

Tabela 3 – Tempos de reverberação simulação – sala com ressoadores de Helmholtz

Situação	Freq. [Hz]		125	250	500	1k	2k	4k	8k
Janela fechada cortina aberta	**Tempo de reverberação [s]**	**Sabine**	1,30	1,36	1,55	1,42	1,09	1,19	0,85
		Eyring	1,22	1,29	1,47	1,35	1,02	1,13	0,82
Janela aberta cortina aberta		**Sabine**	1,07	1,08	1,12	1,04	0,85	0,90	0,69
		Eyring	1,00	1,00	1,05	0,97	0,78	0,84	0,65
Janela fechada cortina fechada		**Sabine**	1,39	1,48	1,59	1,39	0,98	0,89	0,69
		Eyring	1,32	1,42	1,53	1,32	0,91	0,84	0,65

5 Análise dos resultados

Faz-se a análise dos resultados por meio da comparação entre os gráficos de tempo de reverberação calculados pelo software EASE 4.1® utilizando a equação de Sabine.
Nas Figuras 7, 8 e 9 encontram-se respectivamente os gráficos da sala para as situações "com janelas fechadas e cortinas abertas", "janelas e cortinas abertas" e "janelas e cortinas fechadas". Em cada uma das figuras o gráfico da esquerda refere-se à sala na situação atual e, o gráfico da direita, refere-se à sala com ressoadores de Helmholtz.

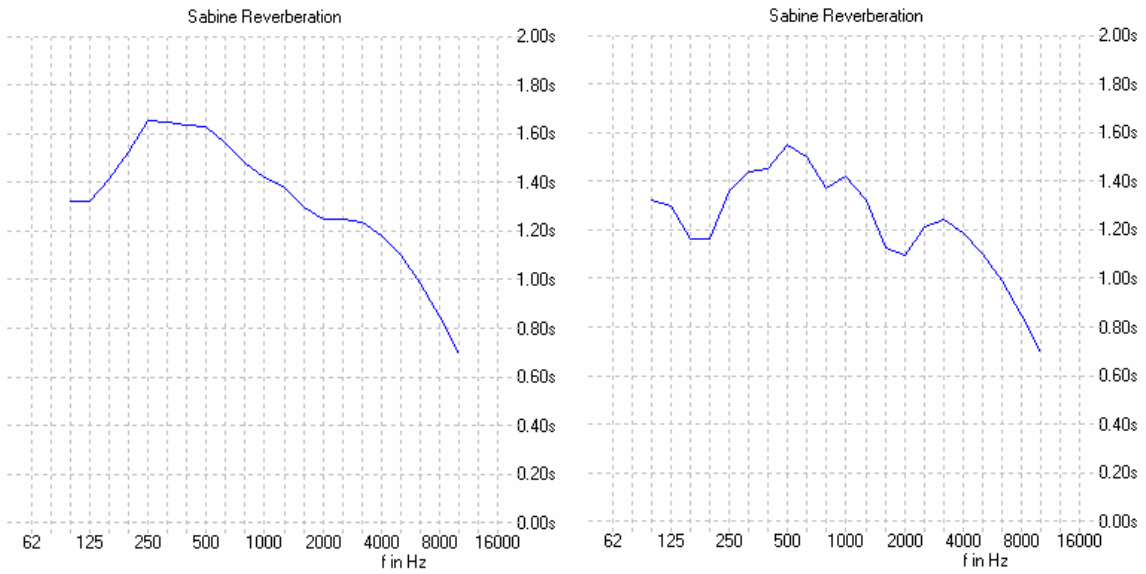

Figura 7 – Tempo de reverberação – "janelas fechadas e cortinas abertas"

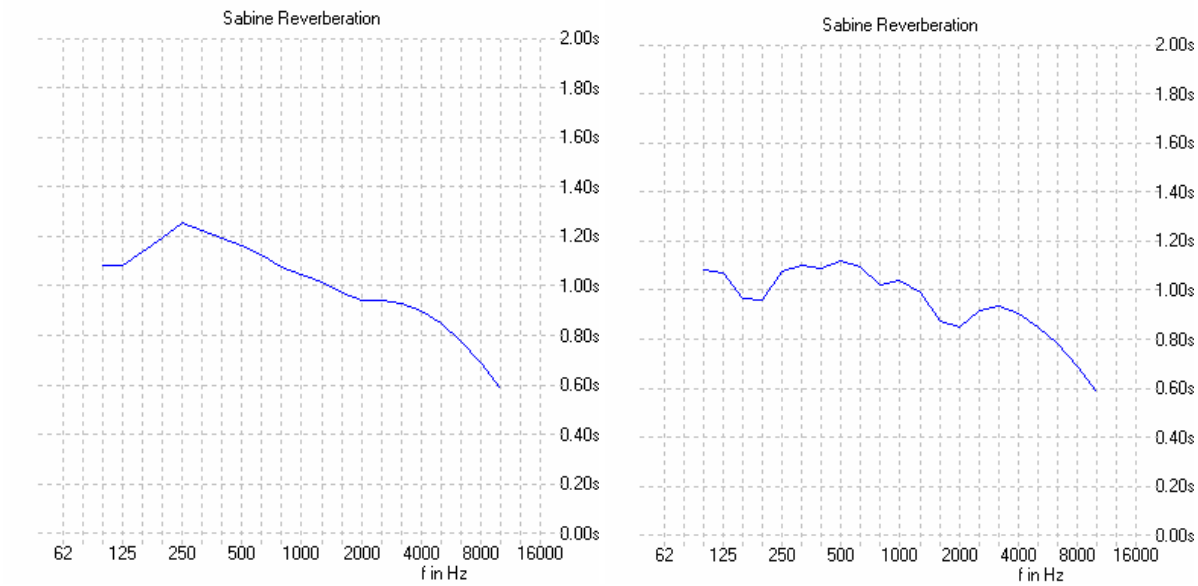

Figura 8 – Tempo de reverberação – "janelas e cortinas abertas"

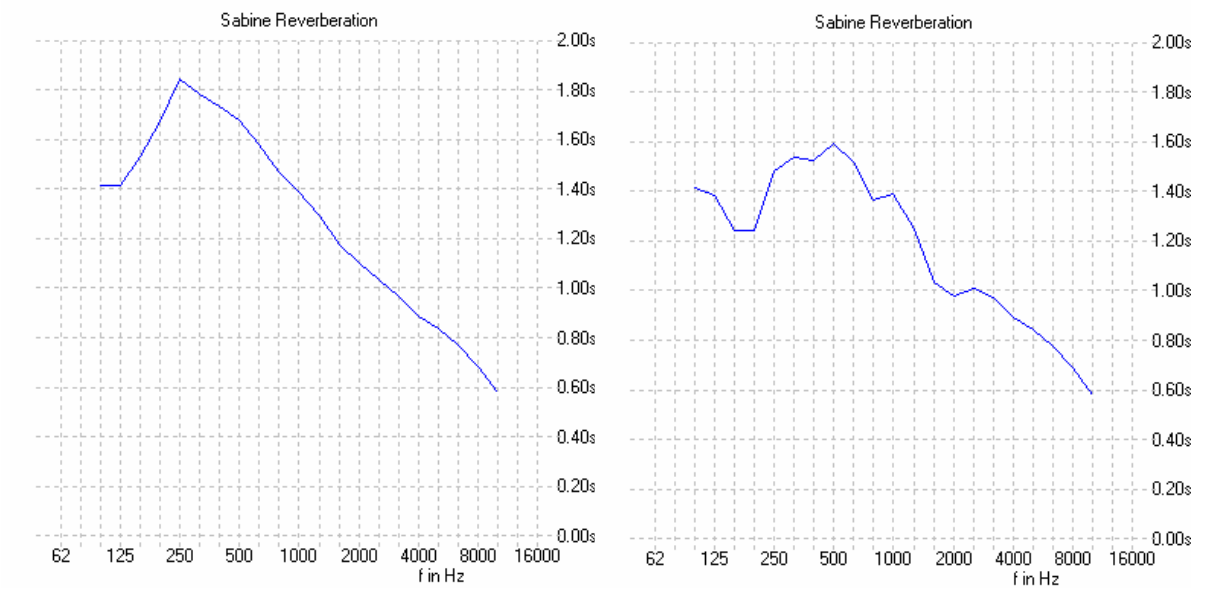

Figura 9 – Tempo de reverberação – "janelas e cortinas fechadas"

As Figuras 7, 8 e 9 confirmam os dados apresentados nas Tabelas 2 e 3. Pela análise destas figuras e das tabelas mencionadas verifica-se a grande diminuição do tempo de reverberação após a aplicação dos ressoadores de Helmholtz, justamente em torno das freqüências de maior absorção das peças em questão: 200 e 1600 Hz. Estes números são o resultado do grande aumento de absorção sonora proporcionada pelos ressoadores.

Como a sala é destinada à palavra falada e também a concertos, sugere-se a variação da disposição dos materiais já empregados na sala para variar o tempo de reverberação até atingir-se o desejado. Primeiramente, se a sala for utilizada para concertos, podem-se manter as janelas e as cortinas abertas para que se tenha uma maior absorção e, conforme os gráficos de Figura 8, menores tempos de reverberação. Desta forma se atinge um valor próximo aos 0,8 segundos indicados pela NBR 12179

para 500 Hz. Destaca-se que mesmo sendo uma sala de aula, esta é destinado ao ensino da música, portanto atingir-se tempos de reverberação para uma sala de concertos já é satisfatório para esta análise.

6 Conclusões

O trabalho teve como propósito investigar a sala em questão quanto ao seu tempo de reverberação e também avaliar qual a interferência da utilização de ressoadores de Helmholtz como painéis verticais. Os resultados obtidos foram satisfatórios e confirmaram as características de absorção sonora elevada dos ressoadores em torno das freqüências de 200 e 1600 Hz.

Verificou-se, no entanto, pela comparação dos dados obtidos com os valores recomendados por norma, que ainda é possível trabalhar a utilização de materiais absorventes na sala para aproximar o tempo de reverberação ao desejado de acordo com a sua utilização. Ainda assim, foi possível perceber a grande variação do tempo de reverberação proporcionada pelos ressoadores.

Observa-se que é possível melhorar a absorção da sala com uma área de ressoadores maior do que a utilizada e também com a inserção de materiais absorventes porosos ou fibrosos no interior dos ressoadores para obter melhor absorção nas freqüências mais altas.

Salienta-se que esta pesquisa encontra-se ainda em andamento. Entre as etapas a ser desenvolvidas, destacam-se medições *in loco* após a construção dos painéis verticais de ressoadores de Helmholtz. Além disso, com o objetivo de tornar a sala adequada ao seu uso, também será feito um estudo sobre o isolamento acústico com vistas a criar um ambiente com ruído de fundo propício e também não permitir que o ruído gerado no interior da sala interfira em ambientes vizinhos.

Referências

[1] Souza, L. C. L. de; Almeida, M. G. de; Bragança, L. *Bê-á-bá da acústica arquitetônica:* ouvindo a Arquitetura, EdUFSCar, São Carlos, 2006.

[2] Fernandes, J. C. *Acústica e Ruídos,* Apostila, UNESP, Bauru, 2002.

[3] Bistafa, S. R. *Acústica aplicada ao controle do ruído*, Edgard Blücher, São Paulo, 2006.

[4] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR 12179 (NB-101) – Norma para Tratamento Acústico em Recintos Fechados,* Brasil, 1992.

[5] Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR 10.152 - Avaliação do ruído ambiente em recintos de edificações visando o conforto dos usuários* (Projeto 02:135.01-004), Brasil, 1987.

[6] Santos, J. L. P. dos. *Estudo do potencial tecnológico de materiais alternativos em absorção sonora*. Editora da UFSM, Santa Maria, 2005.

[7] Silva, P. *Acústica arquitetônica & condicionamento de ar*. 4ª edição. EDTAL – Empresa Acústica Ltda, Belo Horizonte, 2002.

[8] Henrique, L. L. *Acústica Musical*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2002. 1130p.