

ADEQUAÇÃO ACÚSTICA PARA RETROFIT DE EDIFICAÇÕES DE PATRIMÔNIO HISTÓRICO FERROVIÁRIO

Rodrigo L. C. Françalacci¹, Stelamaris R. Bertoli²

^{1,2}Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
{rodrigo.françalacci@gmail.com, rolla@fec.unicamp.br}

Resumo

O aumento do número de construções antigas abandonadas ou subutilizadas torna o *retrofit* uma prática importante e crescente no ramo da Arquitetura e da Construção Civil para aproveitamento desses espaços. Dentre os principais alvos de *retrofit* no Brasil, estão os patrimônios históricos ferroviários, que muitas vezes são utilizados como salas destinadas a múltiplos usos. Um dos desafios enfrentados durante o processo de adequação destes espaços é o baixo desempenho acústico que estas construções geralmente apresentam. Este trabalho estudou formas de adequar o desempenho acústico de uma edificação para as diversas funções que os prédios de patrimônio ferroviário podem assumir. Os parâmetros do desempenho avaliados foram: Tempo de Reverberação, Tempo de Decaimento Inicial, Definição, Clareza, Nível Sonoro Relativo e Índice de Transmissão da Fala. Os critérios de avaliação dos parâmetros foram adotados considerando as dimensões dos prédios de patrimônio ferroviário brasileiro. Como objeto de estudo para propostas de adequação foi utilizado o anfiteatro “Isaltino Casemiro” localizado em uma cidade brasileira empregando simulação acústica com o software ODEON.

Palavras-chave: retrofit, patrimônio histórico, desempenho acústico.

Abstract

The increase in the number of old buildings that are abandoned or underutilized indicates the need for retrofit processes in Civil Engineering and Architecture to adapt buildings for new functions. Brazil has a significant railway heritage stock often used for cultural and community functions such as lectures, plays, cinema, and musical events. One of the challenges faced during an adaptation process of such buildings is the low acoustic performance that they usually present. This article presents the results of a study on ways to optimize the acoustic performance for the new functions for heritage buildings. Performance evaluations used the following parameters: Reverberation Time, Initial Decay Time, Definition, Clarity, Relative Sound Level in addition to the Speech Transmission Index (STI). The dimensions of Brazilian heritage buildings were used to optimize the criteria for evaluating the parameters. The “Isaltino Casemiro” Amphitheater located in the city of Porto Ferreira, in the State of São Paulo Brazil, was the study object to propose adaptations for various new functions, through acoustic simulations using the ODEON software.

Keywords: retrofit, historical heritage, acoustic performance

PACS no. 43.55.Br

1 Introdução

No final do século XIX e início do século XX, o uso das ferrovias foi muito marcante na história do Brasil, principalmente pela prosperidade de diversas regiões devido a “era do café”. Os órgãos públicos perceberam a importância dos elementos associados à ferrovia brasileira e na década de 1980, para preservar o patrimônio ferroviário foi criado o programa PRESERVE (Programa de Preservação do Patrimônio Histórico do Ministério dos Transportes, 1980-1988). Desde então diversas leis foram editadas visando criar um inventário e proteger este patrimônio. Percebeu-se, no entanto, que a forma mais eficiente de proteger uma construção desse tipo é dar um novo uso a ela, reintegrá-la ao convívio cotidiano e utilizando-as para funções que envolvem a cultura. O retrofit é uma prática importante e crescente no ramo da Arquitetura e da Construção Civil para aproveitamento desses espaços.

No Brasil, um dos exemplos de prédios de valor histórico que vêm sendo utilizados para fins culturais é o Anfiteatro Isaltino Casemiro, localizado na cidade de Porto Ferreira, no Estado de São Paulo. No contexto da era da ferrovia, construído no ano de 1880, esse prédio funcionou como um armazém de mercadorias, fazendo parte da história do café que trouxe muito progresso para a cidade de Porto Ferreira. Em 2006, o armazém foi reformado e inaugurado pela primeira vez para desempenhar a função de anfiteatro, e recebeu o nome do seu patrono, Isaltino Casemiro. Recentemente, as autoridades da cidade estão voltando sua atenção para o edifício e passaram a utilizar o espaço para eventos artísticos e palestras. A partir de 2014, quando foi feita uma revitalização para garantir maior conforto e também para adaptar o local às novas leis vigentes, tornou-se perceptível que a qualidade acústica do anfiteatro não era adequada às novas funções, e por isso o uso deste espaço para apresentações que envolvem música ou teatro passou a ser cada vez menor. Atualmente aproximadamente 43% do uso do espaço destinam-se a palestras ou reuniões que a prefeitura faz com moradores dos bairros da cidade. A ideia original de que o espaço fosse utilizado para fins culturais, entretanto, fez com que este objetivo ficasse comprometido devido a qualidade acústica do ambiente e como consequência o anfiteatro continua subutilizado.

Motivados por essa problemática, o Anfiteatro Isaltino Casemiro tornou-se objeto de estudo deste trabalho, cujo objetivo foi avaliar seu potencial acústico de maneira que seja possível utilizá-lo tanto para as atividades de fala quanto como para as atividades de música e apresentar propostas de adequação para torná-lo uma sala de múltiplo uso.

2 Caracterização do espaço físico

A primeira etapa para explorar as potencialidades acústicas de uma sala está no reconhecimento do espaço a ser estudado, o que envolveu conhecer sua geometria e os materiais que o compõe. A arquitetura do Anfiteatro Isaltino Casemiro reflete o momento histórico de seu nascimento, o ano de 1880, e da sua função como parte do complexo ferroviário do interior paulista. O destino original da construção era servir como um armazém de mercadorias, portanto, a arquitetura não é rica em detalhes quando comparada com as estações de passageiros, contudo, o prédio foi nitidamente construído para suportar as intempéries do tempo, uma prova disso é justamente o fato do esqueleto de sua estrutura (paredes, madeiramento e telhado) ainda hoje existir. A Figura 1a mostra a visão dos arredores do anfiteatro, próximo da mata ciliar, por onde passa o rio Mogi Guaçu, e da avenida principal da cidade. A configuração do espaço é retangular (caixa de sapatos), com 61,5m de comprimento e 10m de largura, o que resulta numa área interna total de 615m². O telhado é composto basicamente por uma estrutura de madeira coberta com telhas francesas de barro, estrutura esta que ainda existe nos dias de hoje. Nas obras da revitalização realizadas em 2014, foi adicionado um forro de PVC. O forro foi instalado a 4 metros do chão assim, estabelecendo um volume interno de 2460m³. As paredes externas são feitas de tijolo maciço de espessura 28cm, sem reboco, mas com uma camada de tinta para

proteção dos tijolos, interna e externamente. O piso do prédio é revestido com piso cerâmico na cor branca, com exceção do palco, que foi executado em cimento com uma camada de tinta. A Figura 1b apresenta a visão interna do Anfiteatro Isaltino Casemiro após a revitalização de 2014.



Figura 1 – (a) Fotografia aérea do Anfiteatro Isaltino Casemiro (b) Visão interna do Anfiteatro Isaltino Casemiro após a revitalização de 2014.

Ao longo do tempo o prédio passou por algumas transformações para que fosse possível exercer a função de anfiteatro. A Figura 2 mostra a planta baixa com os principais elementos como camarim e palco. O prédio conta com um total de vinte e seis janelas para ventilação, sendo vinte e uma delas de 0,5m² (janelas pequenas) e as outras cinco de 6m² (janelas maiores). A distância entre as janelas maiores é, em média, de 9,41m enquanto a distância entre as janelas menores fica em torno de 4,7m. Uma das janelas de 6m² foi adaptada para ser usada como porta de acesso ao palco. A Figura 3 apresenta a visão em perspectiva dos acessos ao palco

O palco tem área de aproximadamente 110m² e uma elevação de 56cm em relação à área da audiência. Possui seis cortinas espaçadas por uma distância de cerca de 1,80m e é fechado ao fundo também por uma cortina

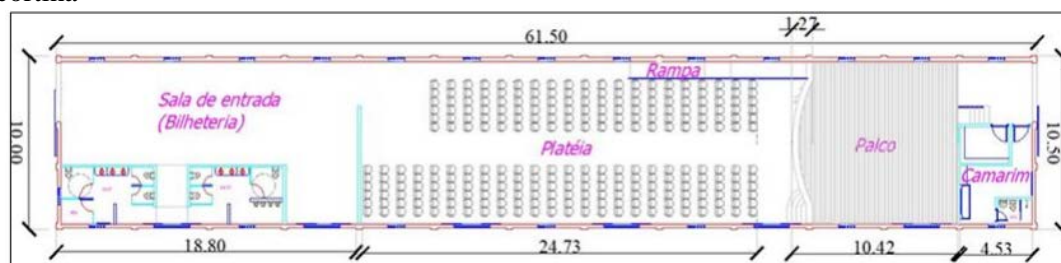


Figura 2 - Planta baixa do Anfiteatro Isaltino Casemiro. (cotas medidas em metros).

A área dedicada ao público é de aproximadamente 250 m² limitada por paredes de alvenaria rebocada e pintada sendo a parede do fundo construída para separar a área da bilheteria e sanitários da área destinada à plateia. Destaca-se que a parede citada possui 3 metros de altura e não toca o forro que está a 4 metros do piso.



Figura 3 - Visão em perspectiva dos pontos de acesso ao palco.

O anfiteatro tem capacidade total para 255 pessoas sentadas. As cadeiras possuem estrutura de ferro e o estofamento é poroso tanto para o encosto quanto para o assento. As cadeiras estão posicionadas a 2,18m do palco, e estão divididas em dois grandes blocos, um à esquerda e um à direita. Entre esses blocos de cadeiras existe um espaço de aproximadamente 2m, espaço este que funciona como um corredor. Existe também outro corredor na lateral da sala que dá acesso à rampa para o palco.

3 Caracterização acústica do espaço físico

A caracterização acústica do Anfiteatro Isaltino Casemiro foi realizada por meio da medição dos parâmetros acústicos: Tempo de Reverberação (T30), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Definição (D50), Índice de Clareza (C80) e Nível Sonoro Relativo (G), em função de frequência em bandas de oitava entre 125Hz e 4000Hz e do parâmetro Índice de Transmissão da Fala (STI). Com exceção deste último, os outros parâmetros estão previstos na norma ISO 3382-1:2009 [1], que foi utilizada como referência para o procedimento de medição

3.1 Medição dos parâmetros acústicos

3.1.1 Procedimento de medição

Para a medição dos parâmetros acústicos foram utilizados dois microfones omnidirecionais de cápsula pequena da marca Behringer modelo ECM8000. Uma fonte omnidirecional da marca Bruel&Kjaer modelo 4292-L ligada a um amplificador Bruel&Kjaer modelo 2734. Utilizou-se também uma interface de áudio USB com dois canais de entrada da marca Presonus modelo Audiobox 44USL conectada a um notebook com o sistema operacional Windows 10. O software de medição acústica empregado foi o Dirac da Bruel&Kjaer.

As medições dos parâmetros acústicos seguiram as recomendações da norma ISO 3382-1 (2009). As áreas avaliadas do edifício foram as regiões de palco e da plateia. A fonte sonora foi posicionada no palco e os microfones (receptores) foram posicionados na plateia. A medição foi realizada com a sala vazia (assentos desocupados) e com todas as cortinas abertas, com exceção da última, pois esta configuração de cortinas é a forma como normalmente o anfiteatro é utilizado. As medições acústicas foram feitas empregando o método da resposta impulsiva e sinal sonoro escolhido foi a varredura exponencial de senos.

No interior da sala foram selecionadas dezoito posições para receptores e três posições para a fonte sonora. O sinal sonoro emitido pela fonte foi gerado três vezes para cada um dos dezoito pontos de medição, uma vez para cada posição de fonte. Dessa forma foram obtidos 54 respostas impulsivas. Na distribuição dos pontos de fonte e receptor, buscou-se certa uniformidade, de forma a retratar de maneira bem abrangente o comportamento sonoro da sala nos diversos setores da plateia. A Figura 4 mostra o arranjo geral dos pontos na sala para a fonte (em vermelho) e para os receptores (em azul).

A partir das respostas impulsivas obtidas, empregando o software Dirac, foram calculados os parâmetros Tempo de Reverberação (T30), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Definição (D50) e Índice de Clareza (C80), todos em função de frequência em bandas de oitava entre 125Hz e 4000Hz. Para o cálculo do Nível Sonoro Relativo (G), foi necessário realizar um procedimento específico conhecido como método alternativo.



Figura 4 - Distribuição da posição dos pontos destinados a fonte Sonora (vermelho) e aos receptores (azul).

3.2 Resultados e análise dos parâmetros acústicos

Os critérios utilizados na análise dos parâmetros acústicos em cada tipo de atividade considerada estão listados na Tabela 1. Os parâmetros D50 e STI não foram utilizados para avaliar atividades envolvendo música, uma vez que ambos estão relacionados à qualidade da fala. Analogamente, o parâmetro C80 não foi considerado para avaliar as atividades de teatro e fala. No entanto, para as atividades de cinema e dança, todos os parâmetros foram examinados, uma vez que estas atividades podem envolver tanto música quanto fala.

Tabela 1 - Critérios adotados para analisar cada parâmetro de acordo o tipo de atividade praticada, onde “-” significa “não aplicável”.

	Tempo de reverberação (T30)	Definição (D50)	Índice de Clareza (C80)	Índice de Transmissão da Fala (STI)	Nível Sonoro Relativo (G)	Ruído Residual (Curva NC)
Música Amplificada	NS 8178:2014	-	Barron (2005)	-	NS 8178:2014	NBR 10152
Música Acústica Forte	NS 8178:2014	-	Barron (2005)	-	NS 8178:2014	NBR 10152
Música Acústica Fraca	NS 8178:2014	-	Barron (2005)	-	NS 8178:2014	NBR 10152
Teatro e Fala	Ballou (2008)	Ballou (2008)	-	>0,45	Barron (2005)	NBR 10152
Cinema e Dança	ABC (2009)	Ballou (2008)	Barron (2005)	>0,45	Barron (2005)	ABC (2009)

Nos gráficos da Figura 5 são apresentados os resultados da média espacial dos pontos receptores em função de frequência referente aos parâmetros (a) EDT e T30, (b) D50, (c) C80 e (d) G, respectivamente, para cada fonte sonora emissora.

Alguns autores indicam como critério de desempenho para os parâmetros EDT e T30, D50, C80 e G a média de seus valores nas frequências 500Hz e 1000Hz, que são conhecidos com EDTmid e T30mid, D50mid, C80mid e Gmid. Nos gráficos da Figura 6 são apresentados os valores de (a) EDTmid e T30mid (b) D50mid, (c) EDTmid versus C80mid e (d) Gmid, todos em função da posição dos receptores para cada fonte sonora.

No gráfico da Figura 7 são apresentados os resultados do STI em função dos pontos receptores para cada uma das três fontes emissoras (F1, F2 e F3).

Os valores encontrados para o parâmetro STI ficaram compreendidos entre 0,71 e 0,58, ou seja, uma variação de 0,13 entre o maior e o menor valor medido. A diferença entre os valores de STI medidos considerando cada fonte emissora é maior para os primeiros quatro pontos receptores. Para estes pontos fica clara a influência da proximidade da fonte.

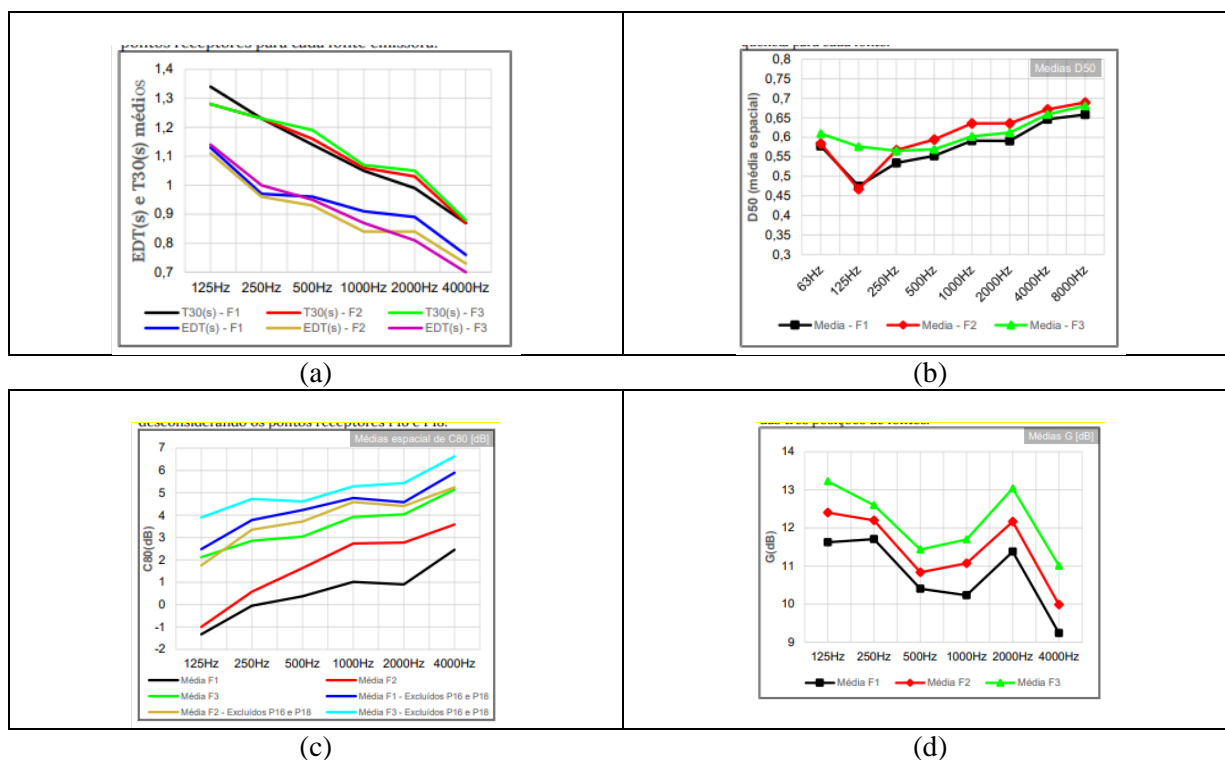


Figura 5 – Média espacial dos pontos receptores referente aos parâmetros EDT e T30, D50, C80 e G para cada fonte Sonora

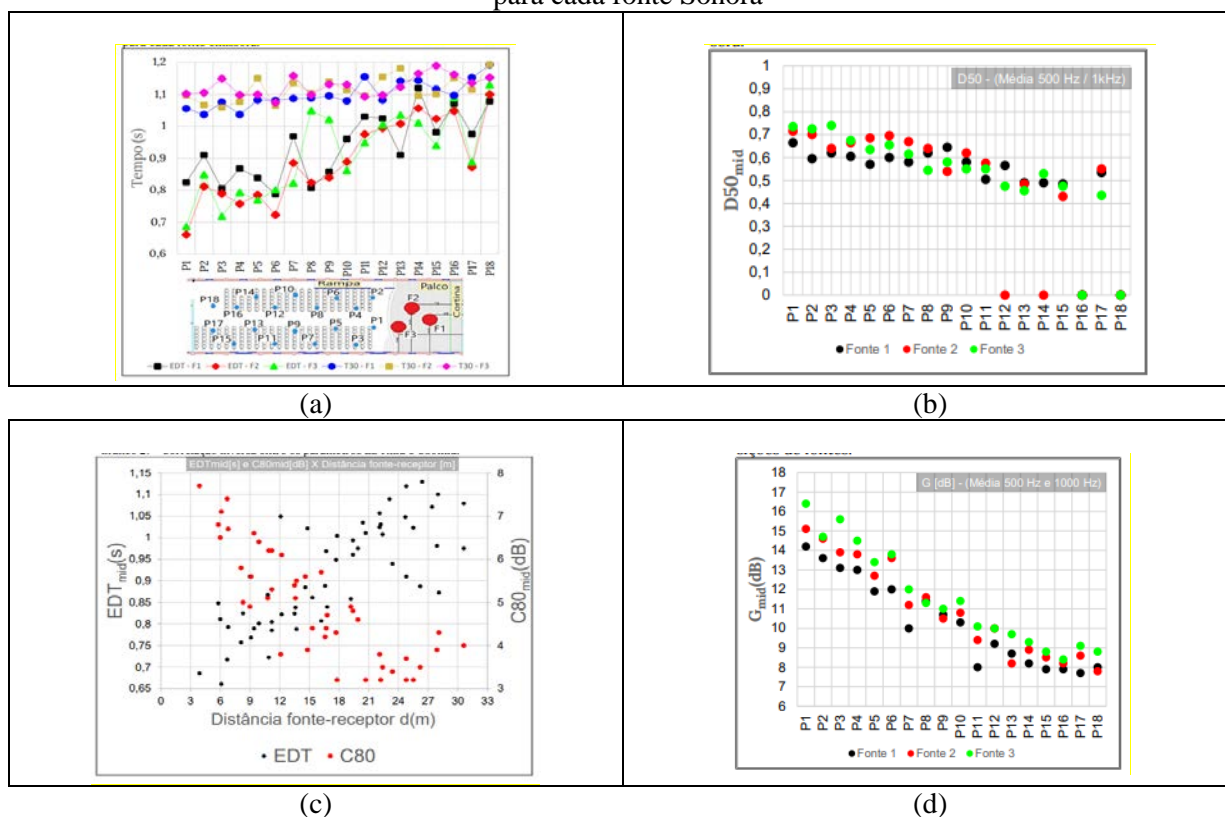


Figura 6 – Valores do EDTmid e T30mid D50mid, C80mid e Gmid em função da posição dos receptores para cada fonte sonora

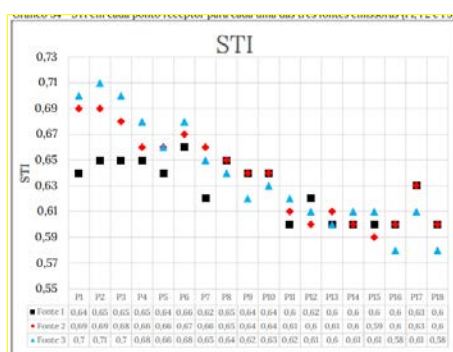


Figura 7 – STI em cada ponto receptor para cada uma das três fontes emissoras (F1, F2 e F3)

O som residual, também conhecido como ruído de fundo, é um parâmetro importante para avaliar a qualidade acústica de uma sala. Os valores globais do nível de ruído de fundo medidos no Anfiteatro são apresentados na Tabela 2 considerando a setorização frente, centro e fundo.

Tabela 2 - Nível global das regiões, da média por região e média total.

	Frente	Centro	Fundos
	dB(A) _{eq}		
1ª Medição	45	46,2	44,3
2ª Medição	44,3	38,7	54,3
3ª Medição	48,6	44,7	44
Média	46	43,2	47,5
Média Total	45,5 dB(A)		

3.3 Análise do Potencial Acústico

Para avaliar o potencial acústico de um ambiente é necessário comparar os resultados dos parâmetros acústicos obtidos durante a medição e os critérios que representem o desempenho acústico. O potencial acústico do Anfiteatro Isaltino Casemiro deve levar em consideração tanto o seu uso atual quanto as propostas de uso futuro em cada uma de suas possíveis funções. As funções desempenhadas pelo anfiteatro entre os anos de 2014 e 2018 foram: Fala (palestras e conferências), Música Acústica, Música Amplificada, Teatro, Cinema e Dança. A maior parte dos eventos (43%) que ocorreram no Anfiteatro foram palestras e conferências, ou seja, atividades envolvendo a fala. No entanto a prefeitura da cidade projeta diversificar o uso do espaço futuramente, aumentando a quantidade de atividades envolvendo música, teatro, dança e cinema. Este trabalho buscou estabelecer critérios distintos de avaliação, de forma a contemplar várias possibilidades de uso. Estes critérios foram baseados na norma norueguesa NS 8178:2014 [2], nas recomendações técnicas para salas de exibição cinematográfica fornecidas pela Associação Brasileira de Cinematografia [3], na norma brasileira NBR 10152 [4] para ruídos em recintos fechados, e também nas análises e estudos feitos por Barron [5] e Ballou [6]. A Tabela 3 resume o desempenho acústico do Anfiteatro em cada atividade considerada neste estudo. É possível notar que a sala satisfaz poucos critérios

Tabela 3 - Resumo do desempenho acústico do Anfiteatro Isaltino Casemiro para cada parâmetro analisado para cada tipo de atividade.

	Música Amplificada	Música Acústica Forte	Música Acústica Fraca	Cinema e Dança	Teatro e Fala
Tempo de reverberação (TR)	NÃO SATISFAZ Critério: $0,70s < T30_{0,5m, 500Hz} < 0,95s$ Resultado: $T30_{0,5m, 500Hz} = 1,11s$	NÃO SATISFAZ Critério: $1,35s < T30_{0,5m, 500Hz} < 1,70s$ Resultado: $T30_{0,5m, 500Hz} = 1,11s$	NÃO SATISFAZ Critério: $1,70s < T30_{0,5m, 500Hz} < 2,10s$ Resultado: $T30_{0,5m, 500Hz} = 1,11s$	NÃO SATISFAZ Critério: $0,45s < T30_{0,5m, 500Hz} < 0,70s$ Resultado: $T30_{0,5m, 500Hz} = 1,11s$ OBS: A variação de T30 com a frequência satisfaz os critérios sugeridos por ABC(2009)	SATISFAZ Critério: $0,88s < T30_{0,5m, 500Hz} < 1,32s$ Resultado: $T30_{0,5m, 500Hz} = 1,11s$ OBS: A variação de T30 com a frequência satisfaz os critérios sugeridos por Balfour(2008)
Definição (D50)	NÃO APLICÁVEL			NÃO SATISFAZ Critério: $D50_{0,5m} > 0,5$ em 60% dos pontos da sala e nenhum ponto com $D50_{0,5m} < 0,3$. Resultado: Em 67% da sala $D50_{0,5m} > 0,5$ Em 14% da sala $D50_{0,5m} < 0,3$ A sala não satisfaz este critério pois apresenta pontos de comportamento anômalo, onde $D50_{0,5m} < 0,3$	
Índice de Clareza (C80)	NÃO SATISFAZ 95% da sala atende o critério $C80_{0,5m} > 10dB$, entretando os pontos onde o critério não foi atendido apresentaram valores extremamente baixos (-10,8dB, -12,5dB, -18,6dB e -46dB). A causa para o comportamento anômalo nestes pontos não pode ser bem definida, no entanto, ficou claro que existe uma forte influência da assimetria da sala.				NÃO APLICÁVEL
Índice de Transmissão de Fala (STI)	NÃO APLICÁVEL			SATISFAZ Critério: Nenhum ponto onde $STI < 0,45$ Resultado: das 54 medições em 51 delas $0,60 < STI < 0,75$ e em 3 delas $0,45 < STI < 0,60$.	
Nível Sonoro Relativo (L)	NÃO SATISFAZ Critério: $7,25dB < G_{med, 0,5m} < 9,75dB$ Resultado: $G_{med, 0,5m} = 10,95s$	NÃO SATISFAZ Critério: $11,25dB < G_{med, 0,5m} < 12,5dB$ Resultado: $G_{med, 0,5m} = 10,95s$	NÃO SATISFAZ Critério: $12,5dB < G_{med, 0,5m} < 13,75dB$ Resultado: $G_{med, 0,5m} = 10,95s$	SATISFAZ Critério: $G_{med, 0,5m}(d) > 10 \log \left(\frac{100}{27} + 2,08e^{-0,05d} \right)$ Onde d é a distância entre a fonte e o receptor. Resultado: Os valores medidos para cada distância fonte-receptor estão satisfazem o critério adotado.	
Ruído Residual (Leve NC)	NÃO SATISFAZ Critério: Idéal: NC25 Aceitável: NC30 Resultado: NC40			NÃO SATISFAZ Critério: $20 < NC < 30$ Resultado: NC40	NÃO SATISFAZ Critério: Idéal: NC25 Aceitável: NC30 Resultado: NC40

4 Proposta de Adequação

Para propor melhorias ao desempenho acústico e atender as atividades de múltiplo uso do Anfiteatro Isaltino Casemiro, o modelo computacional do Anfiteatro foi criado. Esse modelo foi validado empregando o software de simulação acústica ODEON. A partir do modelo computacional validado foram incorporadas modificações do espaço ao modelo e novamente efetuada as simulações acústicas para avaliar as melhorias do desempenho acústico e permitir que o Anfiteatro atenda as atividade de fala e musica tornando-o um espaço multiuso.

4.1 Simulação e validação do modelo computacional

O modelo tridimensional do Anfiteatro Isaltino Casemiro foi criado no programa SketchUp 2016, que foi exportado para o formato de leitura do programa ODEON. Foram adicionadas as três fontes emissoras e os dezoito pontos receptores. Todas as fontes e receptores foram posicionados de forma a coincidir com as posições utilizadas na fase de medição. O reconhecimento das superfícies pelo ODEON foi feito utilizando a estrutura de camadas (layers) criada durante a elaboração do modelo tridimensional no SketchUp. A Figura 8 mostra o modelo utilizado durante a fase de validação

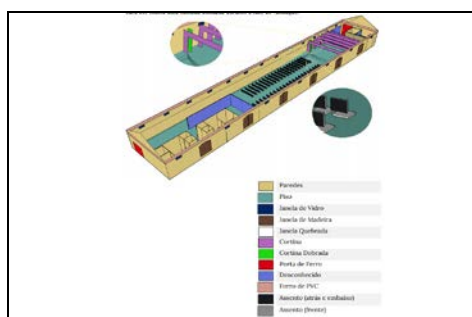


Figura 8 – Modelo de camadas construído no SketchUp 2016 e exportado para o ODEON. Cada cor indica uma camada utilizada durante a fase de validação

O processo de validação do modelo computacional se deu em duas etapas: ajuste inicial e ajuste fino. Na etapa de ajuste inicial, estimou-se um coeficiente de absorção sonora inicial para cada uma das doze superfícies. A primeira estimativa foi feita com base nos dados da literatura, fornecidos pelo próprio ODEON. A superfície identificada como “desconhecida” foi utilizada como primeira variável de ajuste. Para avaliar a precisão do modelo computacional, calculou-se o erro médio ε . O erro médio é a média entre os valores absolutos das diferenças entre os valores de T30 medidos e os valores de T30 simulados. O cálculo é feito com as diferenças expressas em termos do JND do valor medido (5% do valor medido segundo a norma ISO 3382-1). Uma vez calculado o erro médio, é possível calcular o erro médio global ε global, que é a média entre os erros para cada banda de frequência. Idealmente um modelo estaria validado se o valor do erro médio global for menor do que 1 JND, pois isto indica que a diferença é imperceptível para o ouvido humano. Contudo, segundo Brinkmann et al. [7] uma diferença de até 2 JND é tolerável.

O ajuste inicial foi feito variando os coeficientes de absorção sonora manualmente, com o objetivo de reduzir ao máximo o valor do erro médio em cada banda de frequência. Em seguida partiu-se para segunda etapa, o ajuste fino. Esta etapa foi realizada utilizando o “Algoritmo Genético” embutido no software ODEON.

4.2 Adaptação para sala múltiplo uso

Duas intervenções iniciais foram sugeridas para adequar o desempenho acústico do Anfiteatro Isaltino Casemiro: a retirada do forro de PVC e o fechamento das aberturas atrás da área da audiência e do palco, presentes atualmente no Anfiteatro.

A primeira intervenção (retirada do forro de PVC) garante um pé direito mais alto para a sala e, conseqüentemente, reduz a intensidade sonora de algumas frequências de ressonância audíveis na região das baixas frequências. Outro efeito da retirada do forro é a redução do flutter echo, uma vez que, com esta intervenção, a superfície do forro deixa de ficar paralela ao piso do palco. No lugar do forro de PVC, a proposta foi utilizar um forro de madeira acompanhando a estrutura do madeiramento onde se apoiam as telhas

A segunda intervenção proposta foi fechar com paredes rígidas a área que continham as portas de acesso atrás da região da audiência e da região do palco. O principal objetivo desta segunda intervenção é mitigar os efeitos indesejáveis que a assimetria da sala provocava na propagação sonora no interior do auditório. Também a posição dos assentos foi alterada, substituindo o corredor central entre os assentos por dois corredores laterais, já que a área central da sala é acusticamente a área nobre do anfiteatro.

Uma terceira intervenção foi proposta para o Anfiteatro Isaltino Casemiro e leva em conta a projeção de uso deste espaço para múltiplas funções: música acústica fraca e forte, música amplificada, teatro, fala e cinema. Por ser um espaço para múltiplo uso, é importante que exista a possibilidade de modificar as características acústicas da sala (variabilidade acústica) de acordo com a atividade que se deseja realizar. Para isso é preciso buscar formas de influenciar os parâmetros acústicos estudados:

Tempo de Reverberação (T30), Nível Sonoro Relativo (G), Índice de Clareza (C80), Definição (D50) e Índice de Transmissão da Fala (STI). Uma forma de influenciar os valores dos parâmetros acústicos é estabelecer mecanismos para variar a absorção média da sala. A primeira forma proposta para este fim foi a instalação de cortinas defronte à parede que está atrás do palco e defronte à parede que está atrás da audiência. Com a possibilidade de abrir ou fechar as cortinas, é possível variar o coeficiente de absorção da área das paredes localizadas no fundo do palco e da audiência. A segunda forma de modificar o coeficiente de absorção médio da sala é construir um sistema que permita subir ou descer painéis com duas faces, uma reflexiva e a outra com alto coeficiente de absorção sonora. Esse movimento pode ser feito por meio de um eixo de rotação acoplado à aresta formada entre o telhado e as paredes. A ideia é que, enquanto o painel estiver abaixado, a face absorvente fique defronte à parede, e a face reflexiva fique voltada para a região da audiência. Ao subir o painel, a face reflexiva deve ficar defronte ao forro, e a face absorvente ficará voltada para a região da audiência. Esse movimento variará a absorção média da sala, o que consequentemente modificará os valores dos parâmetros acústicos, mantendo o volume da sala. O resultado do sistema descrito pode ser visto na Figura 9, onde é possível ver as cortinas no fundo da audiência bem como os painéis que se movimentarão.

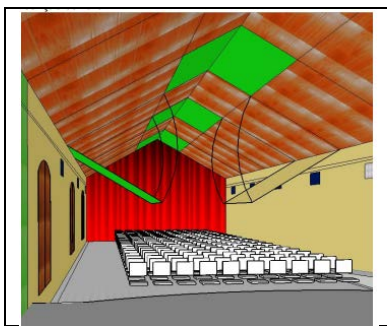


Figura 9 – Modelo do anfiteatro com a instalação de painéis móveis e da cortina no fundo região de audiência. As superfícies em verde indicam material com alto coeficiente de absorção sonora. Para conseguir uma maior variabilidade na absorção sonora da sala foram propostos oito pares de painéis móveis distribuídos entre oito regiões do forro. Na Figura 10, é possível ver as oito regiões escolhidas, onde os painéis de 1 a 6 estão na área da audiência e os painéis 7 e 8 posicionados sobre a área do palco.

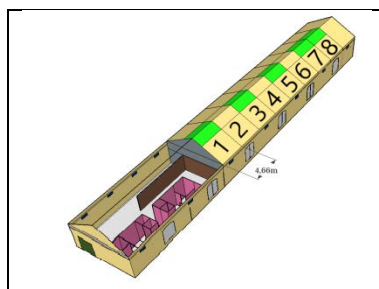
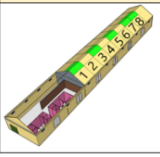
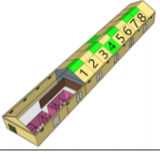
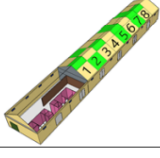
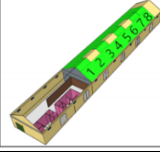


Figura 10 – Forro repartido em oito regiões. Em cada região está um par de painéis móveis. As superfícies em verde indicam alto coeficiente de absorção sonora.

Diversas combinações são possíveis, no entanto, este trabalho buscou mostrar as configurações que satisfaçam os critérios adotados para as atividades de: música acústica fraca e forte, música amplificada, teatro, fala, cinema e dança. Para estudar as configurações apropriadas para cada tipo de atividade, foram feitas simulações com software ODEON. Todas as intervenções simuladas foram feitas sobre o modelo validado. Além disso, nas simulações foram mantidas as dezoito posições de receptores e as três posições de fonte utilizadas na fase de medição e de validação do modelo. Para cada configuração simulada, o software ODEON forneceu dados de Tempo de Reverberação (T30), Índice de Clareza (C80), Definição (D50) e Índice de Transmissão da Fala (STI) para cada uma das 54 combinações de fonte-receptor.

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos para quatro configurações diferentes. A parte central da coluna informa as disposições dos painéis móveis e das cortinas. A imagem à esquerda da coluna ilustra os painéis levantados (representados em verde) para melhor visualização. À direita estão os valores dos parâmetros obtidos respeitando a ordem dos parâmetros proposta.

Tabelas 4 - Resultados obtidos para quatro configurações

CONFIGURAÇÃO 1																							
	<table border="1"> <tr> <td>Painéis Levantados</td> <td>(i) $T30_{mid,sala}$</td> <td>1,69s</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Nenhum</td> <td>(ii) α_m</td> <td>0,1873</td> </tr> <tr> <td>(iii) $G_{mid,sala}$</td> <td>12,94dB</td> </tr> <tr> <td>(iv) $C80_{mid,sala} > -1,6dB$</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Cortina Audiência</td> <td>(v) $C80_{mid,sala}$</td> <td>0,4dB</td> </tr> <tr> <td>ABERTA</td> <td>(vi) $D50_{mid,sala} > 0,5$</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Cortina Palco</td> <td>$D50_{mid,sala} < 0,3$</td> <td>17%</td> </tr> <tr> <td>ABERTA</td> <td>(vii) $STI < 0,45$</td> <td>0%</td> </tr> </table>	Painéis Levantados	(i) $T30_{mid,sala}$	1,69s	Nenhum	(ii) α_m	0,1873	(iii) $G_{mid,sala}$	12,94dB	(iv) $C80_{mid,sala} > -1,6dB$	100%	Cortina Audiência	(v) $C80_{mid,sala}$	0,4dB	ABERTA	(vi) $D50_{mid,sala} > 0,5$	0%	Cortina Palco	$D50_{mid,sala} < 0,3$	17%	ABERTA	(vii) $STI < 0,45$	0%
	Painéis Levantados	(i) $T30_{mid,sala}$	1,69s																				
	Nenhum	(ii) α_m	0,1873																				
		(iii) $G_{mid,sala}$	12,94dB																				
		(iv) $C80_{mid,sala} > -1,6dB$	100%																				
	Cortina Audiência	(v) $C80_{mid,sala}$	0,4dB																				
	ABERTA	(vi) $D50_{mid,sala} > 0,5$	0%																				
Cortina Palco	$D50_{mid,sala} < 0,3$	17%																					
ABERTA	(vii) $STI < 0,45$	0%																					
CONFIGURAÇÃO 2																							
	<table border="1"> <tr> <td>Painéis Levantados</td> <td>(i) $T30_{mid,sala}$</td> <td>1,5s</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Apenas o painel 4</td> <td>(ii) α_m</td> <td>0,2111</td> </tr> <tr> <td>(iii) $G_{mid,sala}$</td> <td>12,29dB</td> </tr> <tr> <td>(iv) $C80_{mid,sala} > -1,6dB$</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Cortina Audiência</td> <td>(v) $C80_{mid,sala}$</td> <td>1,6dB</td> </tr> <tr> <td>FECHADA</td> <td>(vi) $D50_{mid,sala} > 0,5$</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>Cortina Palco</td> <td>$D50_{mid,sala} < 0,3$</td> <td>2%</td> </tr> <tr> <td>ABERTA</td> <td>(vii) $STI < 0,45$</td> <td>0%</td> </tr> </table>	Painéis Levantados	(i) $T30_{mid,sala}$	1,5s	Apenas o painel 4	(ii) α_m	0,2111	(iii) $G_{mid,sala}$	12,29dB	(iv) $C80_{mid,sala} > -1,6dB$	100%	Cortina Audiência	(v) $C80_{mid,sala}$	1,6dB	FECHADA	(vi) $D50_{mid,sala} > 0,5$	0%	Cortina Palco	$D50_{mid,sala} < 0,3$	2%	ABERTA	(vii) $STI < 0,45$	0%
	Painéis Levantados	(i) $T30_{mid,sala}$	1,5s																				
	Apenas o painel 4	(ii) α_m	0,2111																				
		(iii) $G_{mid,sala}$	12,29dB																				
		(iv) $C80_{mid,sala} > -1,6dB$	100%																				
	Cortina Audiência	(v) $C80_{mid,sala}$	1,6dB																				
	FECHADA	(vi) $D50_{mid,sala} > 0,5$	0%																				
Cortina Palco	$D50_{mid,sala} < 0,3$	2%																					
ABERTA	(vii) $STI < 0,45$	0%																					
CONFIGURAÇÃO 3																							
	<table border="1"> <tr> <td>Painéis Levantados</td> <td>(i) $T30_{mid,sala}$</td> <td>1,1s</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">2, 5 e 7</td> <td>(ii) α_m</td> <td>0,2878</td> </tr> <tr> <td>(iii) $G_{mid,sala}$</td> <td>10,5dB</td> </tr> <tr> <td>(iv) $C80_{mid,sala} > -1,6dB$</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Cortina Audiência</td> <td>(v) $C80_{mid,sala}$</td> <td>4,9dB</td> </tr> <tr> <td>FECHADA</td> <td>(vi) $D50_{mid,sala} > 0,5$</td> <td>85%</td> </tr> <tr> <td>Cortina Palco</td> <td>$D50_{mid,sala} < 0,3$</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>FECHADA</td> <td>(vii) $STI < 0,45$</td> <td>0%</td> </tr> </table>	Painéis Levantados	(i) $T30_{mid,sala}$	1,1s	2, 5 e 7	(ii) α_m	0,2878	(iii) $G_{mid,sala}$	10,5dB	(iv) $C80_{mid,sala} > -1,6dB$	100%	Cortina Audiência	(v) $C80_{mid,sala}$	4,9dB	FECHADA	(vi) $D50_{mid,sala} > 0,5$	85%	Cortina Palco	$D50_{mid,sala} < 0,3$	0%	FECHADA	(vii) $STI < 0,45$	0%
	Painéis Levantados	(i) $T30_{mid,sala}$	1,1s																				
	2, 5 e 7	(ii) α_m	0,2878																				
		(iii) $G_{mid,sala}$	10,5dB																				
		(iv) $C80_{mid,sala} > -1,6dB$	100%																				
	Cortina Audiência	(v) $C80_{mid,sala}$	4,9dB																				
	FECHADA	(vi) $D50_{mid,sala} > 0,5$	85%																				
Cortina Palco	$D50_{mid,sala} < 0,3$	0%																					
FECHADA	(vii) $STI < 0,45$	0%																					
CONFIGURAÇÃO 4																							
	<table border="1"> <tr> <td>Painéis Levantados</td> <td>(i) $T30_{mid,sala}$</td> <td>0,88s</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Todos</td> <td>(ii) α_m</td> <td>0,3598</td> </tr> <tr> <td>(iii) $G_{mid,sala}$</td> <td>9,07dB</td> </tr> <tr> <td>(iv) $C80_{mid,sala} > -1,6dB$</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Cortina Audiência</td> <td>(v) $C80_{mid,sala}$</td> <td>11,2dB</td> </tr> <tr> <td>FECHADA</td> <td>(vi) $D50_{mid,sala} > 0,5$</td> <td>100%</td> </tr> <tr> <td>Cortina Palco</td> <td>$D50_{mid,sala} < 0,3$</td> <td>0%</td> </tr> <tr> <td>FECHADA</td> <td>(vii) $STI < 0,45$</td> <td>0%</td> </tr> </table>	Painéis Levantados	(i) $T30_{mid,sala}$	0,88s	Todos	(ii) α_m	0,3598	(iii) $G_{mid,sala}$	9,07dB	(iv) $C80_{mid,sala} > -1,6dB$	100%	Cortina Audiência	(v) $C80_{mid,sala}$	11,2dB	FECHADA	(vi) $D50_{mid,sala} > 0,5$	100%	Cortina Palco	$D50_{mid,sala} < 0,3$	0%	FECHADA	(vii) $STI < 0,45$	0%
	Painéis Levantados	(i) $T30_{mid,sala}$	0,88s																				
	Todos	(ii) α_m	0,3598																				
		(iii) $G_{mid,sala}$	9,07dB																				
		(iv) $C80_{mid,sala} > -1,6dB$	100%																				
	Cortina Audiência	(v) $C80_{mid,sala}$	11,2dB																				
	FECHADA	(vi) $D50_{mid,sala} > 0,5$	100%																				
Cortina Palco	$D50_{mid,sala} < 0,3$	0%																					
FECHADA	(vii) $STI < 0,45$	0%																					

Comparando os valores dos parâmetros acústicos em cada uma das quatro configurações com os critérios estabelecidos na Tabela 3, é possível notar que a variabilidade na absorção média da sala ampliou as possibilidades de adequação do espaço para as diversas atividades propostas. Assim indica-se a Configuração 1 para a prática de Música Acústica Fraca, a Configuração 2 para Música Acústica Forte, Configuração 3 para a Teatro e Fala e a Configuração 4 é a que mais se aproxima dos critérios adotados para atividades envolvendo Música Amplificada, Cinema e Dança.

5 Conclusões

A principal motivação para a escolha deste anfiteatro como objeto de estudo foi o fato de se tratar de uma construção de valor histórico que fez parte da história da ferrovia na cidade de Porto Ferreira–SP, tendo participado do Ciclo do Café, período de forte crescimento econômico para o Brasil.

Conhecer o potencial acústico do Anfiteatro Isaltino Casemiro e propor melhorias levando em conta a sua condição de sala de mutiplos usos (música, fala, teatro, cinema e dança) foi uma etapa importante do estudo do espaço.

A grande dificuldade encontrada para avaliar os dados dos diversos parâmetros acústicos dessa sala foi a falta de critérios para salas de menor porte como o Anfiteatro Isaltino Casemiro, uma vez que a maior parte dos estudos existentes envolvendo estes parâmetros estão voltados para salas de grande

porte. Dessa forma, a demanda por estudos dedicados a buscar critérios objetivos para prédios de menor porte é muito grande, visto que estas construções representam a maior parte dos casos de patrimônio ferroviário. A norma norueguesa NS 8178:2014 é uma alternativa válida para a adoção de critérios objetivos para os parâmetros de Tempo de Reverberação e Nível Sonoro Relativo em salas de menor porte. A norma leva em conta tanto salas de apresentação quanto salas de ensaio, além de fazer distinção entre três tipos de música: música acústica forte, música acústica fraca e música amplificada. Contudo, a norma NS 8178:2014 não estabelece nenhum critério para situações envolvendo fala.

Na condição atual o Anfiteatro Isaltino Casemiro não satisfaz os critérios de avaliação adotados neste trabalho para a maior parte das atividades analisadas (música acústica fraca e forte, música amplificada, teatro, fala, cinema e dança). O nível de pressão sonora do ruído residual (ruído de fundo) ultrapassa os valores recomendados para todas as atividades. A proximidade da sala com a avenida principal da cidade é um dos motivos.

A variabilidade acústica foi explorada durante a etapa de simulação acústica como uma ferramenta de adequação do espaço para multiuso. No modelo simulado, as duas principais intervenções foram o fechamento das aberturas responsáveis pela assimetria da sala e a substituição do forro PCV por um forro de madeira acompanhando o madeiramento onde se apoiam as telhas. A terceira intervenção proposta foi para produzir variabilidade acústica por meio de painéis móveis e cortinas, sendo a absorção sonora o elemento de variabilidade. A simulação acústica utilizando o programa ODEON mostrou que as intervenções propostas ampliam as possibilidades de adequação do ambiente para diversas funções.

A importância de propor melhorias e buscar soluções para prédios antigos com valor histórico está no fato de que, o baixo desempenho destes prédios é a principal causa de abandono e subuso. Nesse ponto, o desempenho acústico em específico, é de extrema importância para construções pertencentes ao espólio ferroviário brasileiro, visto que existe uma forte tendência das prefeituras direcionarem o uso destes prédios para atividades envolvendo cultura, que em sua grande parte envolvem som, ou fala, música, cinema ou dança.

O “*retrofit*” vem como forma de sincronizar um edifício com o seu novo momento histórico, e se manifesta através da atualização destes prédios. As soluções para melhorias no desempenho acústico são uma forma atualizar os prédios de valor histórico que tiveram o seu uso direcionado para atividades envolvendo culturais envolvendo o som. Nesse sentido a simulação acústica é uma ferramenta importante para resgatar o uso destes prédios, garantindo o seu uso e consequentemente a sua preservação tanto física quanto no imaginário da população.

Referências

- [1] ISO 3382-1:2009 *Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 1: Performance spaces*. International Standardization Organization, Geneva, 2009.
- [2] NS 8178:2014, *Acoustic criteria for rooms and spaces for music rehearsal and performance.*, Standards Norway, Oslo, 2014.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CINEMATOGRAFIA. ABC. *Projeto de recomendação técnica ABC: arquitetura de salas de exibição*. 2009. Disponível em: Acessado em: 8 nov. 2019.
- [4] NBR 10152 – *Acustica – Níveis de pressão sonora em ambientes interno e externos a edificações*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2017.
- [5] BARRON, Mike. Using the standard on objective measures for concert auditoria, ISO 3382, to give reliable results. *Acoust. Sci. & Tech*, v. 26, 2, 2005
- [6] BALLOU, Glen. *Handbook for sound engineers*. 4. ed. [S. l.]: Focal Press, Burlington USA, 2008.
- [7] BRINKMANN, Fabian et al. A round robin on room acoustical simulation, *JASA*, vol 145, 2019.