

## Verificação da influência da geometria do forro na qualidade acústica do Cine teatro Luz de União da Vitória – PR

## Verification of the lining geometry influence on the acoustic quality of Cine Teatro Luz de União da Vitória – PR

*Edwin Cassio Meyer(1); Maria Fernanda de Oliveira(2); Rafael Ferreira Heissler(3)*

1 Centro Universitário de União da Vitória (UNIUV), União da Vitória/PR, Brasil.

E-mail: prof.edwin@uniuv.edu.br

2 Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo/RS, Brasil.

E-mail: mariaon@unisinos.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5369-688X>

3 Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Unisinos), São Leopoldo/RS, Brasil.

E-mail: rheissler@unisinos.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8152-9640>

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 8, n. 2, p. 183-214, Julho-Dezembro, 2019 - ISSN 2318-1109

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2019.v8i2.3730>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editor-chefe: Marcos L. S. Oliveira

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui/click here!](#)

## Resumo

O presente estudo busca entender, principalmente, a interferência que a geometria do forro do Cine Teatro Luz, localizado na cidade de União da Vitória no Paraná, tem na qualidade acústica, considerando essa geometria incomum nos aspectos relacionados à distribuição sonora, por conta do posicionamento da sua curvatura. O Cine Teatro Luz é um edifício tombado pelo estado como patrimônio e, atualmente, está em processo de restauro. O objetivo deste trabalho consiste em esclarecer qual a influência que o forro original tem sobre a qualidade acústica da sala do Cine Teatro Luz, utilizando os parâmetros acústicos TR, EDT, D50, C80 e STI, em que os resultados desses parâmetros são comparados aos resultados de uma modelagem com uma proposta de forro que proporciona distribuição sonora mais convencional. O método consistiu em utilizar as informações da sala na modelagem computacional, com duas situações de forro: a primeira com o forro original, com curvas longitudinais à sala e, a segunda modelagem, chamada de forro proposto com curvas transversais à sala. Ambas as modelagens foram simuladas no software acústico *CATT-acoustic v9.1b - demo version*, com dados de entrada dos coeficientes de absorção ( $\alpha$ ) e dos coeficientes de espalhamento ( $s$ ), assim como dados de entrada para fonte sonora e posição de receptores. Durante a análise comparativa entre os resultados das modelagens, observou-se a influência de cada forro nos resultados. Pode-se concluir que os resultados apresentados na modelagem com o forro proposto, contribuíram na melhora da qualidade acústica da sala, considerando que a sala é destinada ao multiuso. No entanto, os resultados mostraram que a geometria do forro original pode beneficiar as atividades voltadas à música.

**Palavras chaves:** Acústica de salas. Acústica geométrica. Simulação computacional.

## Abstract

The present study seeks to understand, mainly, the geometry of the Cine Teatro Luz ceiling interference, located in the city of União da Vitória in Paraná, has on acoustic quality, considering this unusual geometry in aspects related to sound distribution, due to the positioning of your curvature. Cine Teatro Luz is a state-listed heritage building and is undergoing restoration. The aim of this paper is to clarify the influence that the original ceiling has on the acoustic quality of the Cine Teatro Luz room, using the acoustic parameters TR, EDT, D50, C80 and STI, in which the results of these parameters are compared to the results of a modeling with a ceiling proposal that provides more conventional sound distribution. The method consisted of using room information in computer modeling, with two ceiling situations: the first with the original ceiling, with longitudinal curves to the room, and the second modeling, called the proposed ceiling with transverse curves to the room. Both models were simulated in the acoustic software *CATT-acoustic v9.1b - demo version*, with input data of absorption coefficients ( $\alpha$ ) and scattering coefficients ( $s$ ), as well as input data for sound source and receiver position. During the comparative analysis between the modeling results, the influence of each liner on the results was observed. It can be concluded that the results presented in the modeling with the proposed ceiling contributed to improve the acoustic quality of the room, considering that the room is intended for multipurpose. However, the results showed that the geometry of the original ceiling can benefit music activities.

**Keywords:** Room acoustics. Geometric acoustics. Computational simulation.

## 1 Introdução

Segundo Brandão (2016), quando se trata de espaços destinados a música, esses começaram a ser construídos muito antes das teorias acústicas que tratam da acústica de salas. No período Barroco, por exemplo, várias salas foram construídas para a ópera, nove só em Veneza, entre 1637 e 1700. Esses edifícios históricos foram construídos com base em antigos projetos que demonstraram qualidade acústica, principalmente no que se refere ao tempo de reverberação. Brandão (2016), salienta que a acústica de salas destinadas à música é desafiadora devido às exigências do público, músicos e maestros.

Para Segura *et al.* (2015), a acústica virtual, aplicada na modelagem computacional de salas com valor histórico, permite que muitas aplicações técnicas e científicas sejam possíveis, na busca da qualificação acústica e estudos específicos destas salas. Rodrigo *et al.* (2015) corrobora com Segura *et al.* (2015) afirmando que, por meio da simulação computacional, é possível reconstruir toda a sonorização do espaço, verificando os parâmetros necessários e, também, conhecer os materiais utilizados, a fim de estudar a interação entre os elementos com a sala e, também, de recuperar o patrimônio acústico da sala.

Bistafa e Tamanini (2008), evidenciam que em salas destinadas à acústica, diversos fatores podem interferir nos resultados acústicos do ambiente. Os autores ainda salientam que o controle desses fatores é fundamental para garantir a qualidade acústica, assim como entender as necessidades acústicas da sala, como, por exemplo, o cinema, que, ao contrário de outras salas, utiliza aparelhos eletroacústicos.

Para Patrício (2018, p. 125) o comportamento acústico assume dois modelos para a sua concepção: “Um relacionado com a descrição global desse comportamento, a partir da resposta associada aos modos da sala” e, no outro, “assente numa descrição estatística, ou seja, numa distribuição específica de energia sonora no espaço fechado”.

Para Carvalho (2010), seja qual for o material encontrado na natureza, ele terá uma resposta acústica. Sendo que, quando da incidência do som em um material, o mesmo gera três situações distintas: uma parcela é transmitida por meio do material, parte é absorvida e o restante é refletido de volta ao ambiente de origem.

Materiais fono-absorventes são divididos em porosos e fibrosos, sistemas de painel de membrana e ressonadores de Helmholtz. Para Brandão (2016), quando se busca um tratamento acústico, se faz necessário considerar o equilíbrio da absorção em função da frequência. Para isso, o projetista deve considerar que, para as altas frequências, o mais indicado são os materiais porosos e fibrosos, para as médias e baixas, os dispositivos baseados em painéis de membrana e ressonadores de Helmholtz.

Desse modo, Brandão (2016) esclarece que, como os materiais porosos tem uma melhor eficiência para as altas frequências e, é pouco efetivo nas baixas frequências, o mais indicado para equilibrar a absorção em todas as frequências é o uso de absorvedores ressonantes, com uso de materiais fono-absorventes.

O painel de membrana é um sistema construído para absorver determinadas frequências. Brandão (2016) explica que este sistema tem uma cavidade lacrada por uma membrana flexível (massa), que vibra sobre um colchão de ar (mola) sempre que estimulada pela ação de uma onda sonora. Também é possível obter um melhor desempenho ao inserir um material fibroso ou poroso no interior do sistema (COX; D'ANTONIO, 2005).

Assilineau (2015) coloca que, para uma boa qualidade acústica de salas, é fundamental que a absorção sonora, não seja demasiada. Para tanto, é necessário um trabalho equilibrado entre a absorção e o espalhamento sonoro, seja especular ou difuso. Assim, quando se pensa em qualidade do som em salas, faz-se necessário o uso dos conceitos de difusão, no qual a distribuição da energia sonora possa envolver por igual todo o espaço, possibilitando assim que esta energia chegue ao receptor de todas as direções (PATRÍCIO, 2018).

Cox e D'Antonio (2005) afirmam que um dos pontos mais significativos na área da acústica de salas, foi à criação do difusor de Schroeder. Os outros modelos de difusores mais simplificados não tinham a possibilidade de dispersar o som de forma previsível, já o difusor de Schroeder, por meio do princípio físico de propagação das ondas sonoras nas ranhuras, que tem diferentes tamanhos e profundidades, sendo posteriormente refletidas novamente ao ambiente, possibilitam uma previsão e direcionamento das ondas sonoras.

Na acústica de sala, a reverberação é um dos fenômenos mais importantes, sendo responsável pela qualidade sonora, a qual depende da quantidade e da qualidade das reflexões em todas as áreas do ambiente (VALLE, 2009).

Segundo Henrique (2014), em uma sala, as múltiplas reflexões sonoras constituem a reverberação do espaço. Um dos parâmetros mais importantes é o Tempo de Reverberação (TR), que consiste no tempo que a energia de um determinado campo sonoro leva para decair 60 dB (BERANEK, 2004).

Segundo Valle (2009), para que o projeto acústico tenha qualidade, além do TR outros parâmetros devem ser considerados e mensurados ainda na etapa de projeto. Brandão (2016) corrobora citando mais alguns parâmetros essenciais a serem estudados, tais como *Early Decay Time* (EDT), claridade aos 80 ms (C80) e definição aos 50 ms (D50) e *Speech Transmission Index* (STI), são parâmetros relacionados à inteligibilidade da fala e da palavra, à qualidade sonora de espaços destinados a música, entre outros.

Segundo Beranek (2004), o receptor ouve por meio das ondas diretas e das indiretas chamadas de reverberação acústica. A reverberação consiste na incitação de ondas sonoras, que serão refletidas por inúmeras vezes nas superfícies até que sua energia seja dissipada (BERANEK, 2004; ASSELINEAU, 2015).

De acordo com De Marco (2002), a geometria da sala, assim como a de seus elementos, deve buscar uma melhor distribuição da energia sonora, por meio da

reflexão especular ou difusa, além de considerar o retorno ao palco de certa quantidade da energia. Assim, para que se obtenha uma boa homogeneidade da distribuição do som, é importante considerar a interrupção nas paredes e no teto, como, por exemplo, uso de painéis no teto e colunas nas paredes, bem como a distribuição correta dos materiais ou mecanismos destinados à absorção acústica.

Para Brandão (2016), os mais diversos formatos podem ser concebidos em planta baixa quando pensados para auditórios. Entretanto, segundo Beranek (2004), o formato mais generalista é o retangular, uma vez que os melhores projetos de salas com qualidade sonora têm sua planta baixa retangular.

O envolvimento é o resultado do som reverberante que promove a sensação de estar rodeado pelo som. Já a espacialidade, é o resultado da diferença de tempo com que as reflexões vindas das laterais chegam ao ouvido (HENRIQUE, 2002).

Em um espaço destinado a fala, é importante considerar que o TR seja adequado a este recinto, por conta desse fator e, ao considerar que a sala destinada à fala tenha um volume relativamente grande, é importante que as reflexões excessivas sejam tratadas por meio de materiais ou sistemas fono-absorventes. Como em algumas destas salas é comum o uso de telas para projeção, a altura do espaço interno é maior, assim as primeiras reflexões podem ser tardias, e um meio de tratá-las é a aplicação de painéis angulados no forro (BRANDÃO, 2016).

As análises para determinação da qualidade acústica de salas podem ser realizadas por meio de ensaios em campo, de cálculos teóricos ou de simulações. Os primeiros estudos a partir de simulações eram realizados em modelos em escala reduzida, ou seja, em maquetes. Segundo Brandão (2016), W. C. Sabine foi o pioneiro nos trabalhos de simulação, utilizando maquetes em escala para a obtenção da visualização do comportamento dos raios sonoros. Um dos métodos consiste em produzir uma fagulha elétrica a uma determinada distância da maquete, enquanto microfones, capazes de perceber frequências ultrassônicas, eram postos no interior da maquete, para que uma onda sonora de uma frequência dada pela escala do modelo fosse captada.

Com o avanço tecnológico, conceitos de simulação e de auralização, começaram a ser reinventados por Schroeder *et al.* (1962). No ano de 1968, o primeiro *software* para a simulação acústica veio a ser desenvolvido por Krokstad *et al.* (1968) (VORLÄNDER, 2008). Devido ao aperfeiçoamento da linguagem da programação, os computadores passaram a ter capacidade de simular uma expressiva variedade de efeitos advindos da propagação de uma onda sonora, utilizando-se de métodos numéricos para poder carregar informações reais do fenômeno físico da acústica para o modelo simulado (TENENBAUM, 2007).

Segundo Wang e Vigeant (2007), os *softwares* utilizados atualmente permitem entradas geométricas com alto índice de detalhamento, propriedades de materiais

diversificados e assimilados pelas superfícies do projeto, localização diferenciada para inúmeros pontos de receptores, assim como a possibilidade de inúmeras posições para as fontes. Na modelagem, muitos algoritmos são utilizados sob uma combinação de métodos para o rastreamento de raios e de fonte, assim, é possível calcular a resposta de uma sala frente à sensação binaural, em uma posição no espaço modelado (WANG; VIGEANT, 2007).

Para Vorlander (2008), a base dos métodos científicos, utilizada na acústica, tem sua origem bem fundamentada na teoria matemática das ondas, métodos estes que são aplicados experimentalmente e, também, por meio da simulação, utilizando *softwares* como ferramenta. Estas simulações são apreciadas após inúmeros resultados de estudos, o que indica um notório progresso no que cabe a simulação acústica por meios matemáticos.

Segundo Brandão (2016), analisando o contexto histórico das simulações de acústica de salas, pode-se dizer que, atualmente, o uso de computação gráfica, aliada a modelos matemáticos, reduziram consideravelmente o tempo despendido para confeccionar modelos tridimensionais detalhados. O autor explica que, ainda que o tempo tenha sido reduzido, uma série de passos deve ser compreendida ao se modelar o campo sonoro de uma sala. Utilizando um *software* destinado ao estudo da acústica, é possível importar esta geometria e, assim, fazer os cálculos necessários. As fontes sonoras dispostas na sala devem ser definidas, bem como suas características e, do mesmo modo, se devem considerar os receptores. Por fim, caracterizar os materiais que compõem o ambiente, considerando seus coeficientes de espalhamento ( $s$ ) e de absorção ( $\alpha$ ).

Para Vorlander (2008), a exportação pura de um projeto geométrico tridimensional para o simulador acústico pode ocasionar inúmeros erros, devido ao alto grau de detalhamento dos elementos construtivos. Por isso, para a acústica, os elementos que não tem dimensões suficientes, comparados ao comprimento de onda, devem ser substituídos por planos com propriedades acústicas de espalhamento e de absorção, este conceito vale também para cadeiras e assentos da plateia.

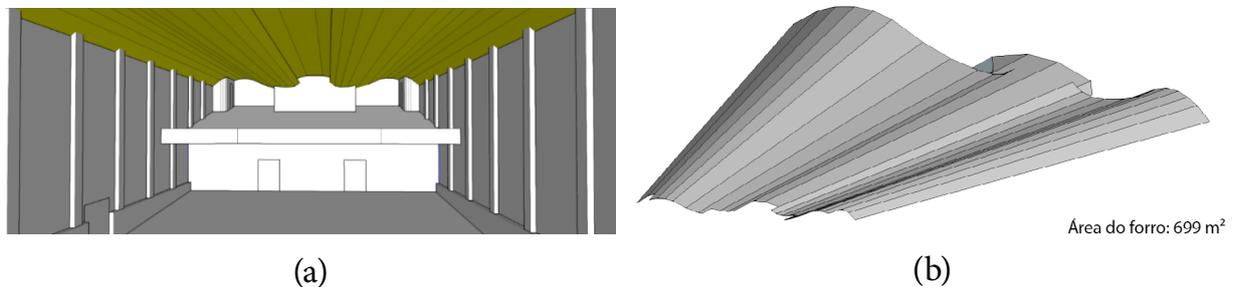
Desse modo, a atual pesquisa busca enfatizar a importância da aplicação do conhecimento técnico e científico da acústica, seja na elaboração de novos projetos ou no entendimento de salas acústicas com valor histórico, como será apresentado neste trabalho.

## 2 Método

O método utilizado deu-se por meio da simulação computacional acústica de um modelo tridimensional, utilizando-se o *software CATT-acoustic 9.1b* para obtenção de resultados. Os dados foram analisados, com o objetivo de compreender e verificar a

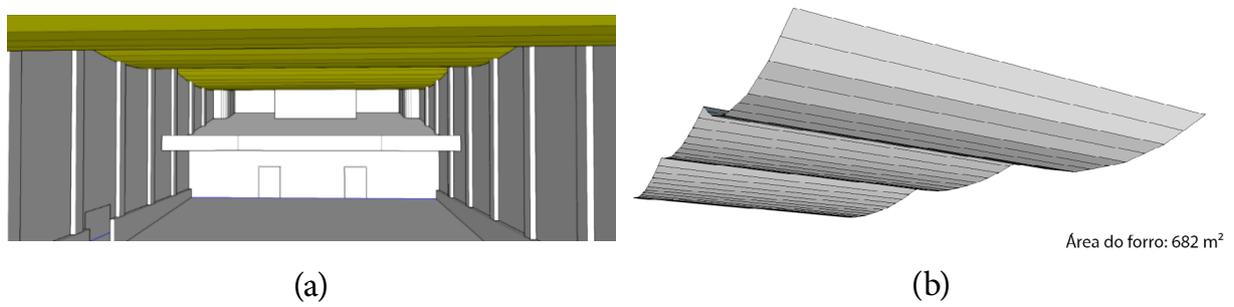
influência que a geometria do forro do Cine Teatro Luz exerce na qualidade acústica da sala. Para isso foram simulados dois modelos, um com a geometria original do forro (Figura 1) e outro com uma nova proposta para a geometria do forro (Figura 2), ambas considerando a sala ocupada.

**Figura 1.** Geometria do forro original: (a) inserção interna e (b) esquema geométrico



Fonte: Autor, 2019.

**Figura 2.** Geometria do forro proposto: (a) inserção interna e (b) esquema geométrico



Fonte: Autor, 2019.

Os parâmetros utilizados na comparação dos resultados simulados foram tempo de reverberação (TR) e decaimento inicial (EDT), utilizados para entender o decaimento do NPS em um determinado período de tempo. Os parâmetros D50 e STI foram utilizados para compreender a definição e inteligibilidade da palavra falada e, a clareza C80, para verificar a clareza musical nas duas simulações. Estes parâmetros foram definidos considerando as limitações do software e, por atenderem o objetivo principal do trabalho, que é entender a influência que o forro original da sala tem sob a qualidade acústica da sala.

Durante as simulações, foram geradas animações para que representem o espalhamento das ondas sonoras quando incididas no forro original e no forro proposto. Na simulação da distribuição dos raios sonoros, foram considerados apenas os planos de cada forro, o original e o proposto. Os dados de entrada definidos foram 1000 raios sonoros com um tempo máximo de 80 ms, este valor foi estabelecido para verificar a incidência dos raios nos primeiros 80 ms propostos no parâmetro clareza C80. O intervalo de tempo foi de 2 ms, os demais dados de entrada foram pré-definidos pelo *software*.

## 2.1 Caracterização do local de estudo

Inaugurado em 6 de outubro de 1951, o Cine Luz, assim como outros cinemas e teatros, foi apresentado como um espaço destinado ao entretenimento, tornando-se um local de encontro muito comum para época, sendo considerado palco da difusão de tendências por conta dos filmes da época (LERNER, 2011).

O Cine Teatro Luz encerrou suas atividades 38 anos depois da sua inauguração. Com o passar do tempo, o cinema foi adaptado para atender palestras e teatros. Sua função como cinema, embora mantivesse o palco de apresentações, retomou após passar por um minucioso processo de reforma (SECRETARIA DO ESTADO DA CULTURA, 2003).

O edifício Cine Teatro Luz tem um espaço interno que segue as tendências da plasticidade *déco*, suas paredes são paralelas entre si, com colunas aparentes e com aparados em alvenaria entre as colunas. As curvas do forro que seguem o eixo longitudinal mostram-se incomuns para salas destinadas à acústica. O material utilizado no forro é de composição acartonada, com camada de ar, podendo atuar como um absorvedor do tipo painel ressoante. A parede do fundo da sala principal é de alvenaria rebocada e pintada, ainda possui duas entradas com portas de madeira.

O palco tem uma elevação de 1,20 m do piso da sala principal e sua composição estrutural é de concreto armado com acabamento em tábua de madeira maciça. Também possui uma divisão no palco tanto horizontal quanto vertical, a qual conta com duas pequenas salas em suas extremidades, construída em gesso cartonado com montantes metálicos. Atualmente, o palco não possui cortina para separar estes dois ambientes. Originalmente, os assentos eram em madeira nobre sem qualquer tipo de estofamento, entretanto, toda a parte da sala principal teve seus assentos substituídos por assentos estofados, mantendo assim somente a parte superior da sala com os assentos originais.

O piso da sala principal tem uma inclinação de 7%, considerando que esta inclinação é em toda a sala principal e sem uso de degraus. A sala principal é considerada acessível conforme critérios da norma NBR 9050. Porém, o acesso ao mezanino é feito apenas por escada.

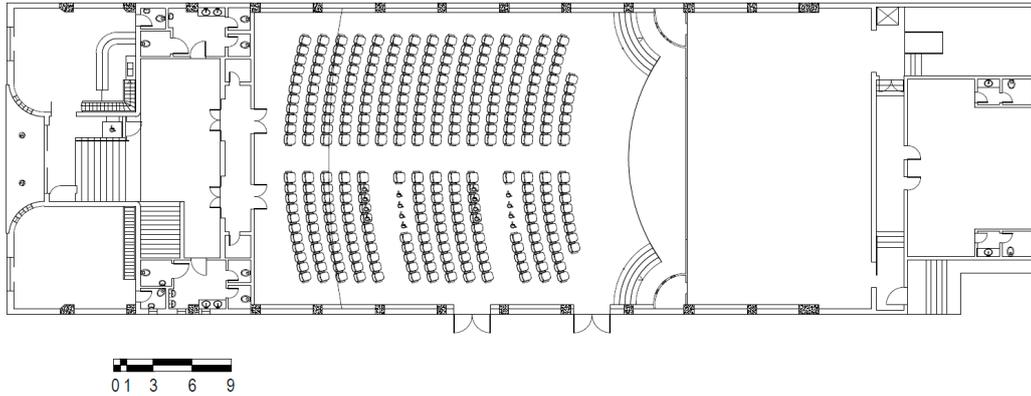
## 2.2 Simulação acústica computacional do Cine Teatro Luz

Para a simulação foi necessário construir um modelo geométrico tridimensional utilizando as informações métricas do local. Na modelagem também são definidos os coeficientes de absorção ( $\alpha$ ) e espalhamento ( $s$ ) de cada material aplicado nas superfícies do interior da sala, assim como, a posição da fonte e dos receptores.

### 2.2.1 Geometria tridimensional

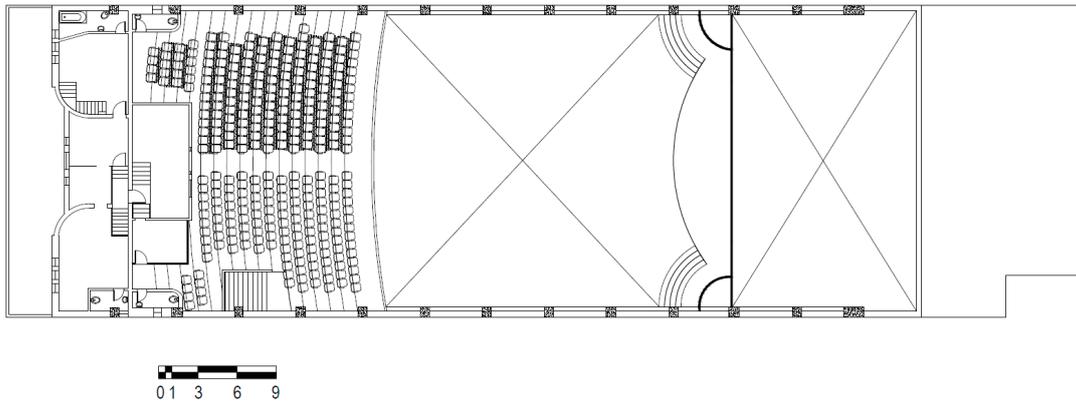
As Figuras 3 a 6 mostram os desenhos técnicos da edificação. A atualização do modelo foi desenvolvida ao longo de dois anos junto ao Escritório Modelo do curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário de União da Vitória, baseado nas medições realizadas no local.

**Figura 3.** Planta baixa da sala principal do Cine Teatro Luz



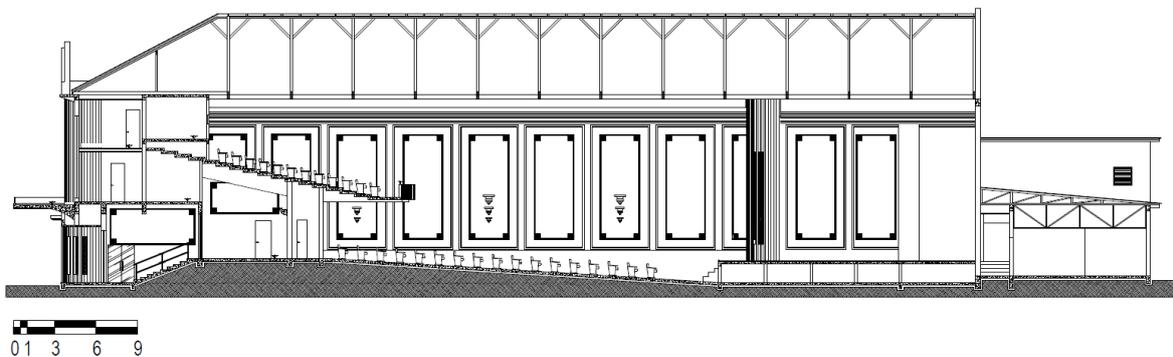
**Fonte:** Construtora de José Isfer. Adaptado pela UNIUV, 2017.

**Figura 4.** Planta baixa do mezanino do Cine Teatro Luz



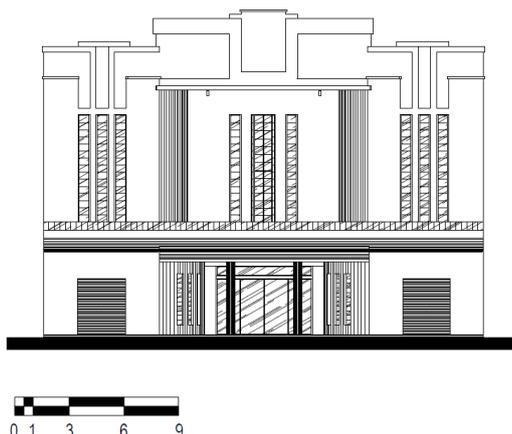
**Fonte:** Construtora de José Isfer. Adaptado pela UNIUV, 2017.

**Figura 5.** Corte longitudinal do Cine Teatro Luz



**Fonte:** Construtora de José Isfer. Adaptado pela UNIUV, 2017.

**Figura 6.** Fachada do Cine Teatro Luz



**Fonte:** Construtora de José Isfer. Adaptado pela UNIUV, 2017.

As características construtivas do espaço interno do Cine Teatro Luz são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 1.** Características construtivas relevantes à simulação acústica

Características construtivas do Cine Teatro Luz	Valores
Volume da sala acústica com o forro original	5.500,00 m <sup>3</sup>
Volume da sala acústica com o forro proposto	5.600,00 m <sup>2</sup>
Área da plateia mezanino	200,71 m <sup>2</sup>
Área da plateia na sala principal	315,82 m <sup>2</sup>
Área do palco	223,85 m <sup>2</sup>
Largura interna da sala	17,50 m
Comprimento interno da sala	45,00 m
Maior altura da sala (frente do palco)	10,18
Menor altura da sala (parte final do mezanino)	2,08
Inclinação da plateia da sala principal	7,22 %
Inclinação da plateia do mezanino	23,58 %
Nº de assentos sala principal	313 lugares
Nº de assentos mezanino	366 lugares

**Fonte:** UNIUV, 2017.

Por meio do *software Sketchup*, desenvolveu-se a geometria tridimensional do Cine Teatro Luz, utilizando informações e as dimensões reais do edifício, apresentadas na Figura 7, Figura 8 e Figura 9. Durante o desenvolvimento, foram considerados os planos que interferem na análise acústica, devido aos coeficientes de absorção ( $\alpha$ ) e espalhamento ( $s$ ), como por exemplo, forro, balcão, elementos decorativos, plateia, entre outros.

**Figura 7.** Geometria tridimensional que mostra a vista do palco para o balcão do Cine Teatro Luz



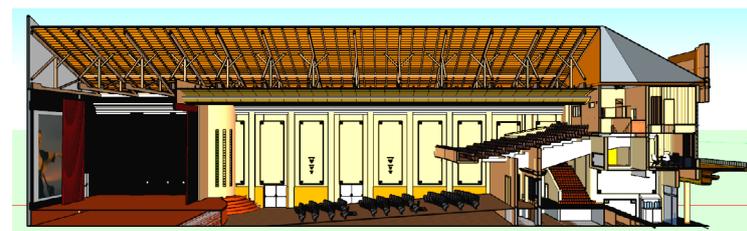
Fonte: UNIUV, 2017.

**Figura 8.** Geometria tridimensional que mostra a vista do balcão para o palco do Cine Teatro Luz



Fonte: UNIUV, 2017.

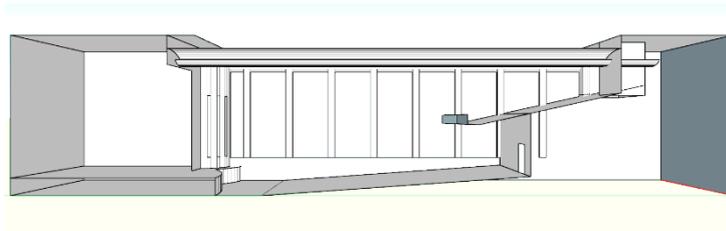
**Figura 9.** Cine Teatro Luz - Corte longitudinal esquemático da geometria tridimensional completa



Fonte: UNIUV, 2017.

Para iniciar o estudo a geometria tridimensional passou por um processo de priorização de planos, ou seja, foram desenhados apenas os planos com dimensões com dimensões mínimas de 0,5 m, isto considerando que, segundo Vorländer (2008), dimensões abaixo dos 0,5 m são utilizadas para estudar faixas de frequência em torno de 7 kHz. Como este estudo se limita a banda de frequência de 4 kHz, as superfícies com dimensões menores que 0,5 m não foram consideradas no modelo como se pode observar na Figura 10.

**Figura 10.** Cine Teatro Luz. Corte esquemático da geometria tridimensional simplificada utilizada na simulação

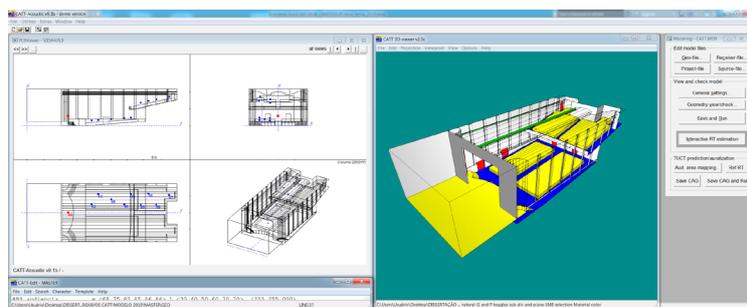


Fonte: UNIUV, 2017. Adaptada pelo autor.

## 2.2.2 Modelagem

Depois de definidas as geometrias necessárias à simulação, o modelo do *Sketchup* foi exportado para um arquivo de extensão DXF. Os arquivos com esta extensão são passíveis de reconhecimento por inúmeros *softwares*, inclusive o “*dxfgeo.exe*”, disponibilizado junto com o *software* da CATT-A. O “*dxfgeo.exe*” converte o arquivo DXF em vértices conforme coordenadas cartesianas, utilizadas na construção de cada plano da modelagem. Durante a modelagem, buscou-se manter a organização e nomear cada plano, conforme mostra a Figura 11. Após o processo descritivo dos vértices por coordenadas para a criação do plano, é possível rodar o *software* gerando um visualizador da modelagem denominado de *CATT 3D-viewer v2.3c* e no visualizador *PL9Viewer-COLORED.PL9* possibilita verificar a área dos planos e o volume da sala, bem como visualizar a posição das fontes e dos receptores (Figura 11).

**Figura 11.** Modelagem no *CATT-Acoustic*, na esquerda o *PL9Viewer* e na direita o *CATT 3D*



Fonte: Autor, 2019.

Para verificação da influência do forro na qualidade acústica, foram utilizadas duas modelagens do forro, a primeira com o forro original na sua forma geométrica original, com planos definidos no eixo longitudinal. A segunda modelagem do forro trata-se de uma proposta, e tem seus planos definidos no eixo transversal, considerando o método geométrico na escolha do ângulo de inclinação do refletor de teto. A curvatura aparente do forro proposto é constituída por 34 painéis, com largura de 1 metro cada e, um com 1,05 m, este último com dimensões maiores para obter o fechamento do forro junto à boca de cena.

Segundo Brandão (2010), o método geométrico de reflexão especular do som, quando incidido em uma superfície plana, auxilia na escolha do ângulo de inclinação do painel. Desse modo, durante a construção do forro proposto, considerou-se a forma curva apresentada no forro original.

Ainda que não se possa alterar o forro original, a proposta buscou apresentar, neste trabalho, a geometria curva do forro original, contudo, propondo o sentido de espalhamento correto dos painéis refletores. Entretanto, a curvatura do forro proposto, não segue o raio nem o modelo do forro original, porém, atende a banda de frequência utilizada na NBR 12.179 (ABNT, 1992) para fins de análise acústica (500 Hz). Isto porque, ao considerar uma velocidade de 340 m/s, em condições normais, é possível calcular que o comprimento de uma onda na faixa de 500 Hz é de 0,68 m, aproximadamente, cada painel proposto influencia na reflexão das ondas sonoras para esta banda.

### 2.2.3 Caracterização dos materiais

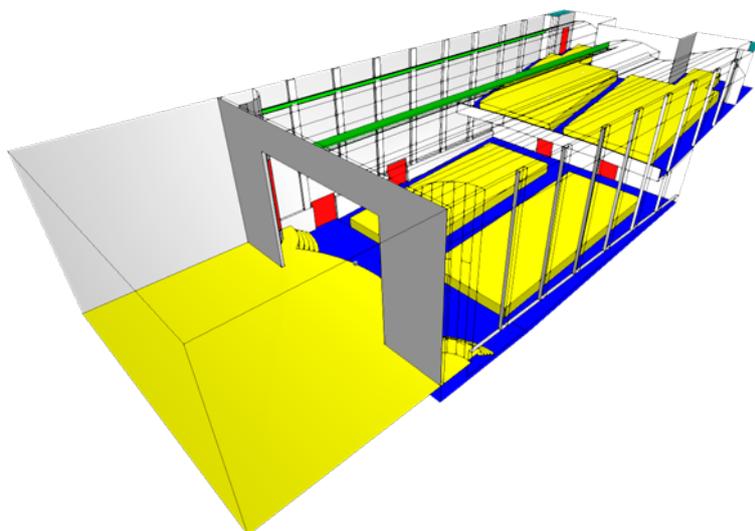
Nesta seção são apresentados os materiais utilizados no interior do edifício Cine Teatro Luz, mais especificamente, no espaço da sala e do mezanino. Estes materiais são apresentados na Tabela 4, juntamente do coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) e coeficiente de espalhamento ( $s$ ). Para o coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) foram utilizados os coeficientes publicados por Bistafa (2011), na NBR 12.179 (ABNT, 1992) e, por Henrique (2014). Como o coeficiente de espalhamento ( $s$ ) é relativamente novo e de responsabilidade dos fabricantes, sua disponibilidade é mais rara. Porém, como os dados da reflexão difusa influenciam fortemente a estimativa de TR, neste trabalho foram adotados valores estimados segundo recomendações feitas no manual do *software CATT - Acoustic*.

**Tabela 2.** Resumo dos materiais utilizados na sala do Cine Teatro Luz

Elementos	Materiais	Coef.	Bandas de oitava 125 Hz - 4 kHz		Fonte
			( $\alpha$ )	(s)	
Audiência ocupada	Estofado médio ocupado	( $\alpha$ )	0,56 – 0,68 – 0,79 – 0,83 – 0,86 – 0,86		Henrique (2014)
		(s)	0,30 – 0,40 – 0,50 – 0,60 – 0,70 – 0,70		CATT-Acoustic (2017)
Cortinas	Cortina de tecido leve	( $\alpha$ )	0,07 – 0,31 – 0,49 – 0,75 – 0,70 – 0,60		Bistafa (2011)
		(s)	0,10 – 0,12 – 0,14 – 0,16 – 0,18 – 0,20		CATT-Acoustic (2017)
Paredes	Reboco liso	( $\alpha$ )	0,03 – 0,03 – 0,04 – 0,04 – 0,04 – 0,04		NBR 12.179 (1992)
		(s)	0,10 – 0,10 – 0,10 – 0,10 – 0,10 – 0,10		CATT-Acoustic (2017)
Palco	Assoalho sobre vigas	( $\alpha$ )	0,15 – 0,20 – 0,10 – 0,10 – 0,10 – 0,10		Henrique (2014)
		(s)	0,20 – 0,20 – 0,20 – 0,20 – 0,20 – 0,20		CATT-Acoustic (2017)
Piso	Parquet de madeira	( $\alpha$ )	0,04 – 0,04 – 0,07 – 0,06 – 0,06 – 0,07		Henrique (2014)
		(s)	0,10 – 0,10 – 0,10 – 0,10 – 0,10 – 0,10		CATT-Acoustic (2017)
Janela palco	Vidro espesso	( $\alpha$ )	0,18 – 0,06 – 0,04 – 0,03 – 0,02 – 0,02		Henrique (2014)
		(s)	0,10 – 0,10 – 0,10 – 0,10 – 0,10 – 0,10		CATT-Acoustic (2017)
Porta	Porta acústica, com face de madeira pintada	( $\alpha$ )	0,15 – 0,11 – 0,10 – 0,07 – 0,06 – 0,07		Bistafa (2011)
		(s)	0,20 – 0,20 – 0,20 – 0,20 – 0,20 – 0,20		CATT-Acoustic (2017)
Forro	Gesso acartonado com ou sem enchimento	( $\alpha$ )	0,10 – 0,08 – 0,05 – 0,03 – 0,03 – 0,03		Bistafa (2011)
		(s)	0,20 – 0,20 – 0,20 – 0,20 – 0,20 – 0,20		CATT-Acoustic (2017)
Gesso	Gesso tipo dry-wall com ou sem enchimento	( $\alpha$ )	0,10 – 0,08 – 0,05 – 0,03 – 0,03 – 0,03		Bistafa (2011)
		(s)	0,20 – 0,20 – 0,20 – 0,20 – 0,20 – 0,20		CATT-Acoustic (2017)

Fonte: Autor, 2018.

A Figura 12 apresenta a modelagem feita no *CATT-Acoustic*, com os planos definidos conforme coeficientes de absorção ( $\alpha$ ), apresentados na Tabela 4.

**Figura 12.** Apresentação dos coeficientes de absorção ( $\alpha$ )

Fonte: Autor, 2018.

Para muitos casos de simulação acústica, os dados de energia absorvida e de energia transmitida são suficientes. Considerando a importância dos coeficientes de absorção ( $\alpha$ ) e de espalhamento ( $s$ ), como dados de entrada para o *software* de simulação acústica de salas, estes coeficientes referenciais devem ser resultantes de ensaios laboratoriais, testados conforme diretrizes das normas ISO 354 e ISO 17497.

Na simulação acústica, foram atribuídos os coeficientes de absorção e espalhamento por bandas de oitava entre 125 Hz e 4 kHz, como apresentados na Tabela 2.

As modelagens foram simuladas no *software Catt-Acoustic v9.1b*, e a modelagem da audiência seguiu as orientações do manual do *CATT-Acoustic v8g Room Acoustics Prediction and Walkthrough Auralization*, que inclui as laterais da audiência com altura de 0,80 m. Para a modelagem, também foram consideradas as poltronas ocupadas com valores de absorção e espalhamento, conforme indicados na Tabela 2.

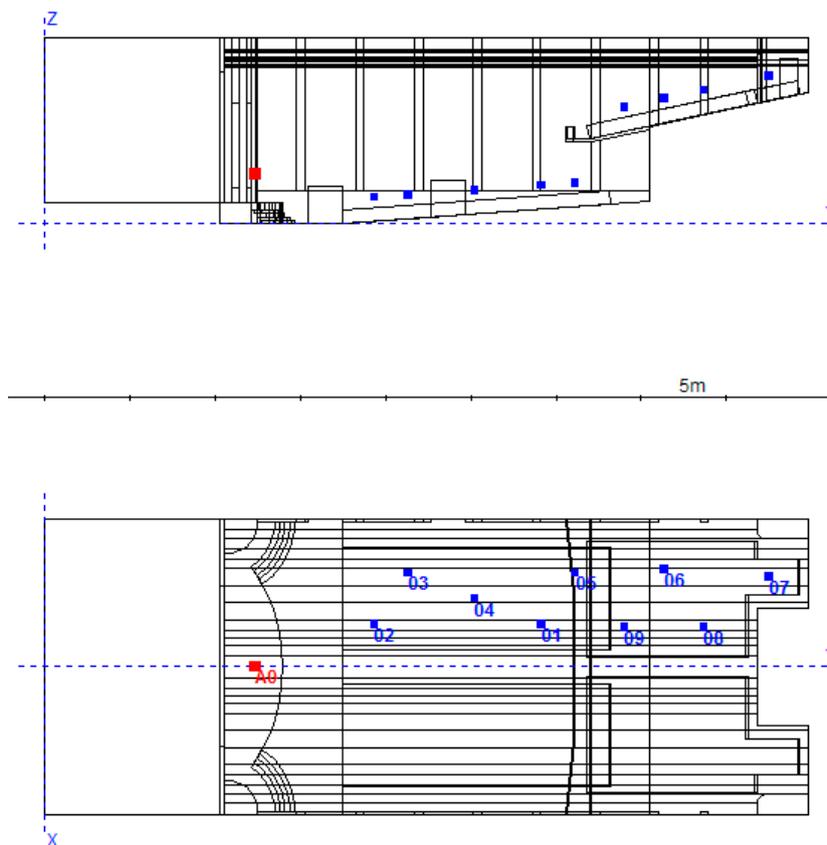
Definidos e atribuídos os coeficientes de absorção e de espalhamento a cada material, o processo inicial da modelagem acústica passa para a locação das fontes e dos receptores.

#### 2.2.4 Fonte e receptores

Considerando que o Cine Teatro Luz, ainda que utilizado para a música, o principal uso é destinado a palestras e eventos que envolvem a fala. Por este motivo, a posição da fonte definida como A0 e foi configurada como fonte sonora *omni* direcional, com espectro de ruído branco, definida em 1kHz de frequência a 94 dB, indicada pelo próprio software. O posicionamento da fonte A0 se dá a 2 m a frente da boca de cena e considera a altura adulta de 1,70 m.

A altura dos receptores é de 1,20 m, que considera a altura do ouvido humano de uma pessoa adulta sentada. Segundo Rodríguez (2007) para salas simétricas, é possível posicionar as fontes em apenas uma metade da sala. Assim, considerando que a sala tem um volume de aproximadamente 5.000 m<sup>3</sup>, a distribuição dos receptores segue os critérios da distribuição na metade da sala simétrica, possibilitando uma melhor distribuição dos receptores por toda a área de audiência (Figura 13).

**Figura 13.** Posição da fonte e dos receptores



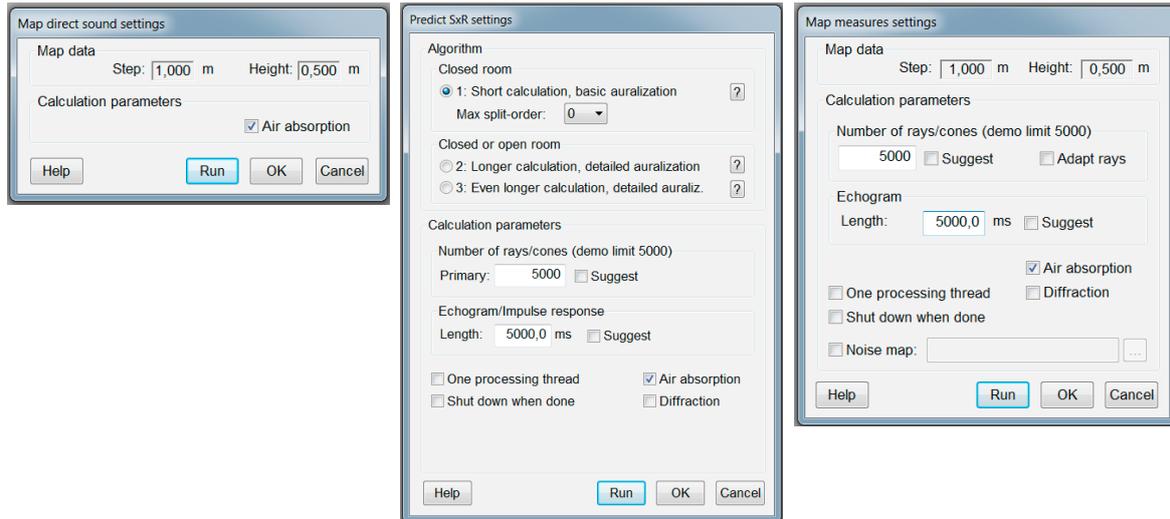
**Fonte:** Autor, 2018.

### 2.2.5 Dados de entrada e de saída

Desse modo, os dados de saída podem ser utilizados para fins de simulação acústica em estudos científicos, uma vez que a simulação foi rodada na versão *demo* do *software*. Porém, para uma análise mais apurada do real comportamento da sala, é necessário que a simulação possa ter controle de todos os dados de entrada, como, por exemplo, o dimensionamento da malha, que interfere na precisão dos resultados de clareza C80, definição D50 e de inteligibilidade STI, assim como, o posicionamento de mais fontes no palco e de receptores por toda a extensão da sala.

Outros dados pré-estabelecidos são: *Map direct sound settings*: com valor de *Step* 1m e *Height* 0,5m, ou seja, as dimensões e a altura da malha utilizada nos parâmetros D50, C80 STI; *Predict SxR settings* e *Map measures settings*: controlam o número de raios e a resposta ao impulso, bem como prever a sala aberta ou fechada e, os dados do mapa de resposta sonora (Figura 14).

**Figura 14.** Dados de entradas para rodar a simulação acústica no software



**Fonte:** Autor, 2019.

Nestas abas, os valores foram definidos do seguinte modo: o “*number of rays/cones*” em 5.000 e a “*echogram/impulse response*” a 5.000, estes valores são o máximo permitido pelo *software*, entretanto, é importante ressaltar que, no caso de valores maiores para o número de raio e, conseqüentemente, o número de respostas ao impulso, os valores obtidos nos resultados seriam mais precisos.

### 3 Resultados e análise

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na simulação do edifício com o forro original, em seguida, os valores obtidos na simulação do modelo como o forro proposto. Os valores de TR e EDT são apresentados como a média aritmética dos valores de todas as bandas, conforme orientações da ISO 3382 (2009), assim como, os valores médios entre as bandas de oitava. Na sequência, são apresentados os mapas para D50, C80 e STI.

#### 3.1 Resultados e análises comparativas do TR e EDT

A Tabela 5 apresenta valores de TR por bandas de oitavas, para as duas modelagens do forro, sendo o forro original e o forro proposto, assim como a diferença em porcentagem por banda de oitava.

**Tabela 3.** TR, por banda de oitava da modelagem, em segundos

Frequências (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Forro original	2,00	2,14	2,19	1,93	1,67	1,23
Forro proposto	1,79	1,92	1,92	1,82	1,63	1,15
Diferença	11,86%	11,35%	13,77%	6,30%	2,38%	7,35%

**Fonte:** Autor, 2019.

Na Tabela 6 a média do TR entre as bandas de oitava, para a modelagem com o forro original é de 1,86 s e, para a modelagem com o forro proposto é de 1,70 s. Considerando que, Beranek (2004) apresenta valores entre 1,8 e 2,0 para sala com boa qualidade acústica, pode-se dizer que a modelagem com o forro original atende as recomendações de Beranek (2004), já a modelagem com o forro proposto não atende as recomendações do autor, entretanto, para salas destinadas ao multiuso, o TR recomendado por Egan (1988) deve ser menor que para salas destinadas a música.

Quando verificado os valores em baixas, médias e altas frequências (Tabela 7), pode-se dizer que a modelagem com o forro original é considerada adequada para sala de concerto entre os autores Beranek (2004), Brandão (2016), Henrique (2007), Barron (2010) e Egan (1988). Do mesmo modo, ocorre com a modelagem com o forro proposto, no entanto, a modelagem com o forro proposto, enquadra-se, ainda, como adequada para salas de uso múltiplo segundo Egan (1988).

Quando enquadrada, como sala de conferência e/ou cine, pela NBR 12.179 (ABNT, 1992) considerando o volume de 5.500 m<sup>3</sup> da sala com o forro original, e o volume de 5.600 m<sup>3</sup> da sala com o forro proposto, percebe-se que o TR ideal na banda na 500 Hz, indicado na norma, é de 1 s. Nota-se que, em ambas as modelagens, o TR não atinge o valor ideal apresentado pela NBR 12.179. Desse modo, o mais correto é considerar as recomendações feitas por autores pesquisadores como, por exemplo, Beranek (2004) e outros, pois seus métodos incluem analisar salas acústicas por todo o mundo e, principalmente, coletar informações vindas de ouvintes críticos, maestros e músicos.

**Tabela 4.** Média do TR das modelagens nas baixas, médias e altas frequências, em segundos

Frequências	Baixas	Médias	Altas
Forro original	2,07	2,06	1,45
Forro proposto	1,85	1,87	1,39
Diferença	11,59%	10,14%	4,43%

Fonte: Autor, 2019.

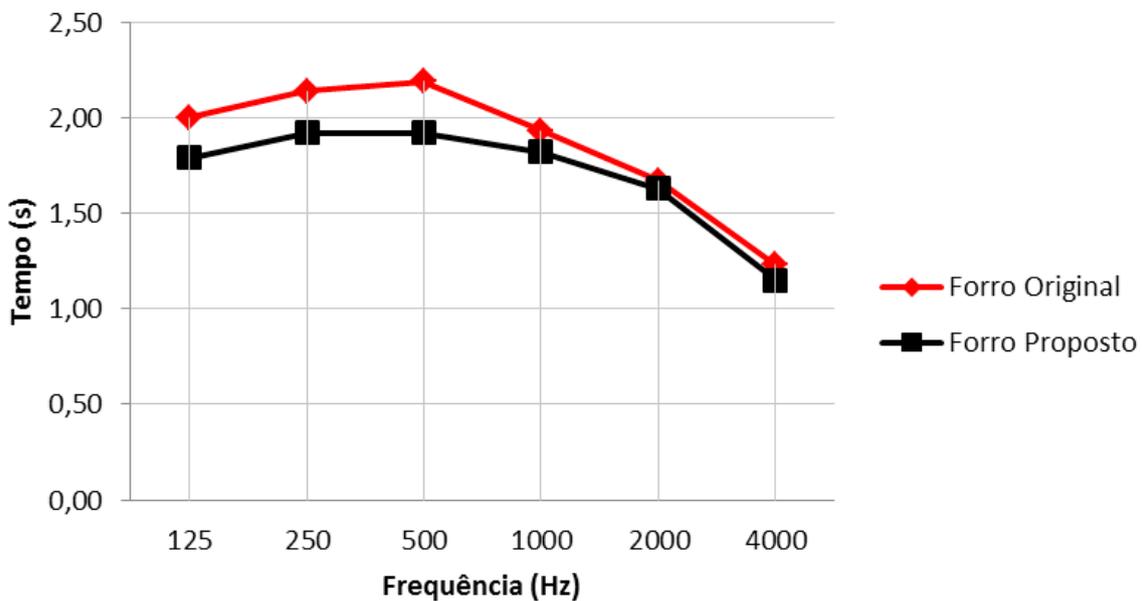
**Tabela 5.** Valores adequados de TR, conforme uso da sala

Referências	T500Hz – 1kHz	T500Hz – 1kHz	T500Hz – 1kHz
	Sala de concerto (s)	Auditório para fala (s)	Sala uso múltiplo (s)
Egan (1988)	1,6 – 2,4	<1,2	1,4 – 1,9
Beranek (2004)	1,6 – 2,1	<1,2	-
Henrique (2007)	2,2	0,8 – 1,0	-
Barron (2010)	1,8 – 2,2	0,7 – 1,0	-
Brandão (2016)	1,5 – 2,2	1,0	-

Fonte: González; Colnaghi; Nunes, 2017.

Na Figura 15 observa-se que os valores de TR na modelagem com o forro original, são maiores em todas as bandas, comparados à modelagem com o forro proposto, observa-se que as maiores diferenças do TR ocorrem nas bandas de 125, 250 e 500 Hz. Como não há diferença considerável entre as áreas dos forros, pode-se dizer que a redução do TR nestas bandas de frequência, ocorre devido à alteração da geometria do forro. No entanto, nas bandas de 1 kHz, 2 kHz e 4kHz, bandas com frequências altas, a alteração foi menos significativa, comparada as outras bandas. Estes valores próximos podem ser atribuídos ao concreto liso utilizado nas paredes laterais, o que faz com que a reflexão sonora mantenha uma alta carga de energia.

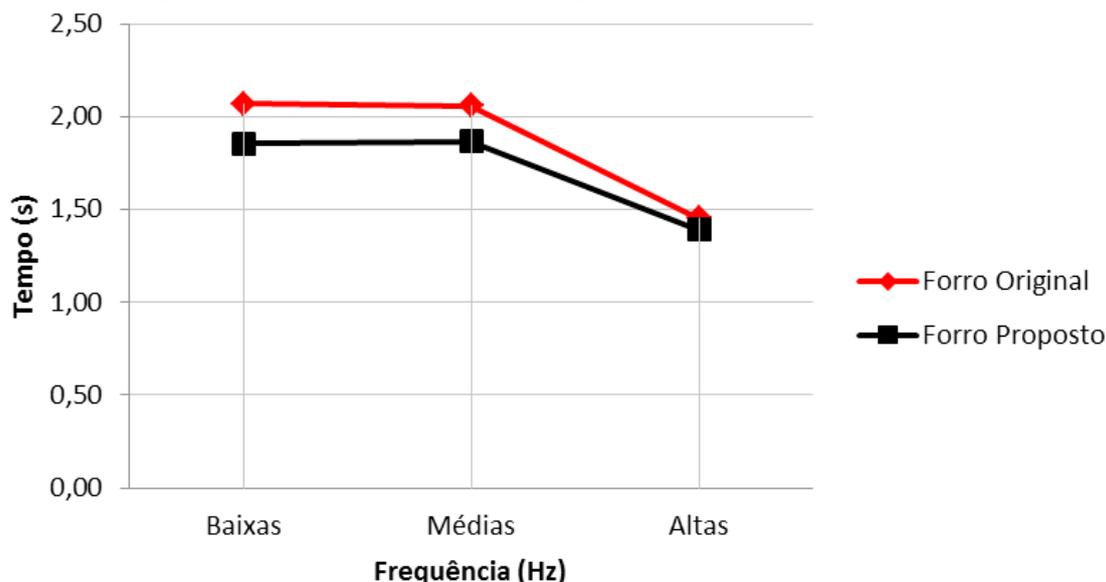
**Figura 15.** TR por banda de oitava do forro original e forro proposto



Fonte: Autor, 2019.

A Figura 16 apresenta os valores organizados de acordo com a média entre as bandas de 125 e 250 Hz (baixas), 500 Hz e 1 kHz (médias) e 2 e 4 kHz (altas) para as duas modelagens. Neste gráfico, é possível observar que há diferenças nas baixas e nas médias frequências entre os dois tipos de forro, entretanto, a diferença de TR nas altas, é quase nula. Desse modo, é possível perceber que a modelagem com o forro proposto demonstrou uma redução no TR nas baixas e nas médias frequências, já nas altas, sua alteração foi imperceptível, comparada às baixas e às médias frequências. Esta redução no TR da sala é favorável dado ao seu tipo de uso, assim, pode-se dizer que a alteração do forro melhoraria o TR do Cine Teatro Luz.

**Figura 16.** Média do TR nas frequências baixas, médias e altas



Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 8 mostra os resultados do EDT para a modelagem com o forro original e para a modelagem com o forro proposto, assim como, a diferença em porcentagem dos valores entre eles por banda de oitava.

**Tabela 6.** EDT, por banda de oitava da modelagem, em segundos

Frequências (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Forro original	2,44	2,38	2,37	1,98	1,91	1,23
Forro proposto	2,25	2,04	2,34	1,90	1,70	1,15
Diferença	8,41%	16,57%	1,09%	4,03%	12,33%	7,25%

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 9 apresenta os valores médios de EDT entre baixas médias e altas frequências. Ao comparar os valores, na Tabela 10 pode-se verificar que, ambos os resultados para a média entre 500 e 1.000 Hz, são qualificados como bom, apenas por Barron (2010).

**Tabela 7.** Média do EDT conforme baixas, médias e altas frequências, para modelagem com forro original e forro proposto, em segundos

Frequências	Baixas	Médias	Altas
Forro original	2,41	2,18	1,57
Forro proposto	2,14	2,12	1,43
Diferença	12,29%	2,41%	10,28%

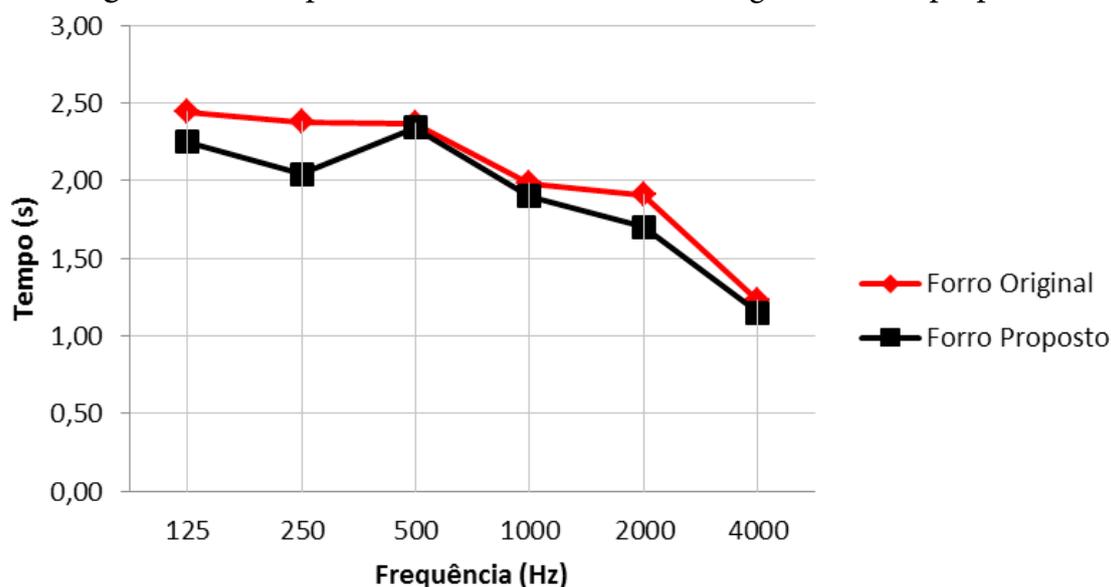
Fonte: Autor, 2019.

**Tabela 8.** Valores para qualificação do EDT

Referências	Salas Boas (segundos)	Salas Razoáveis (segundos)
Beranek (2004)	2,25 – 2,75	1,4 – 2,0
Barron (2010)	1,80 – 2,20	-

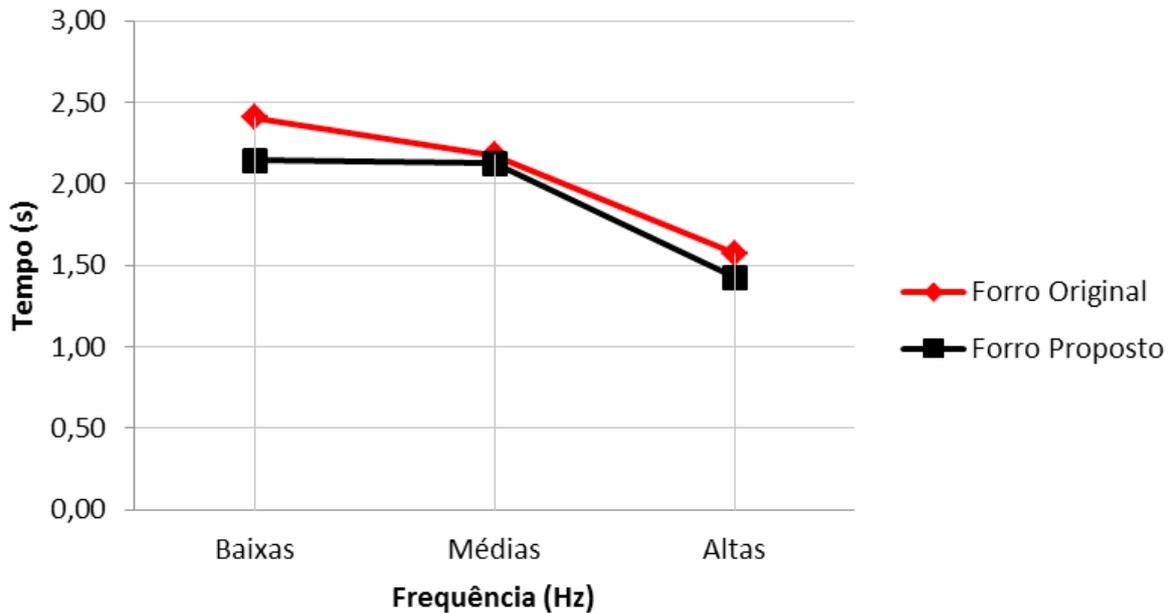
Fonte: Beranek (2004) e Barron (2010).

A Figura 17 apresenta os valores do EDT nas modelagens com forro original e forro proposto. É possível observar que a maior diferença está na banda de 250 Hz, que pode estar relacionada ao dimensionamento dos painéis do forro proposto, isto porque a construção dos painéis considerou dimensões para bandas acima de 500 Hz. Também é possível observar uma diferença nas bandas de 125 Hz e 2 kHz. Considerando que o comprimento de ondas para a banda de 250 Hz tem aproximadamente 1,36 m, o dimensionamento dos painéis não seria suficiente para refletir o som nessa banda de frequência. No caso da banda 125 Hz, essa diferença não acompanha a da banda de 250 Hz, pois o comprimento de onda para essa banda é de aproximadamente 2,72 m, dimensão que abrange pouco menos que 3 painéis, interpretando como peça única.

**Figura 17.** EDT, por banda de oitava do forro original e forro proposto

Fonte: Autor, 2019.

A Figura 18 mostra os valores nas baixas, médias e altas frequências, onde é possível observar que a diferença nas baixas frequências é maior, comparada à diferença nas bandas das altas e médias frequências, sendo estas quase nulas. Ainda é possível considerar que a modelagem com o forro proposto tem um decaimento inicial (EDT) mais rápido nas baixas.

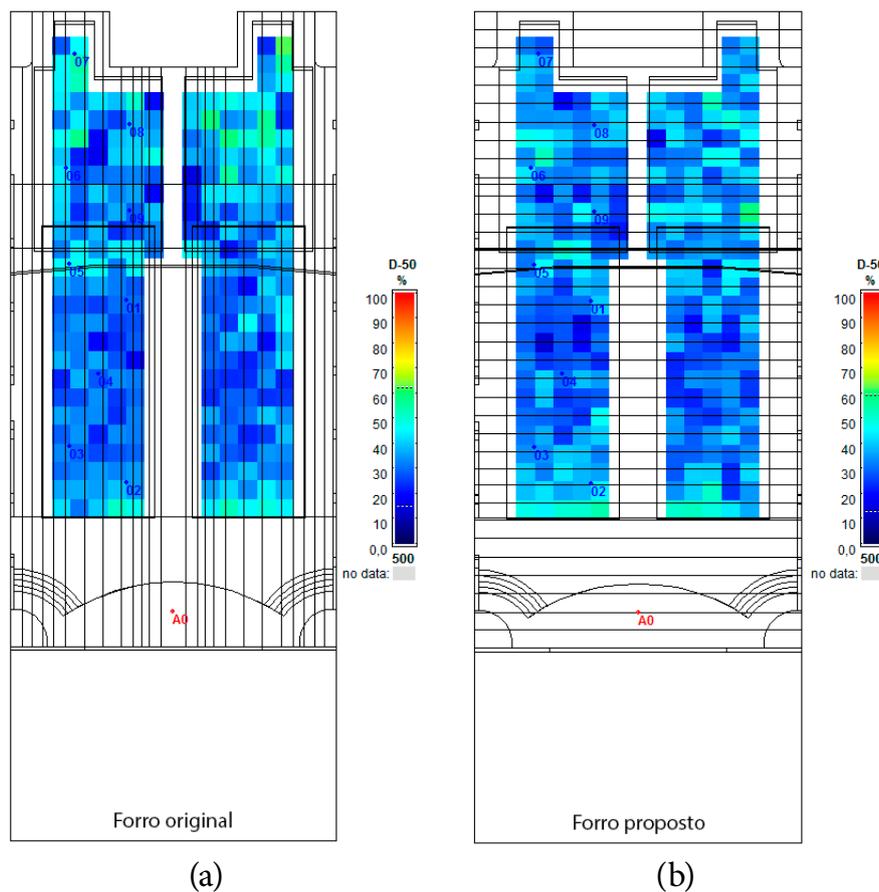
**Figura 18.** Média do EDT nas frequências baixas, médias e altas

Fonte: Autor, 2019.

### 3.2 Resultados e análises comparativas do D50, C80 E STI

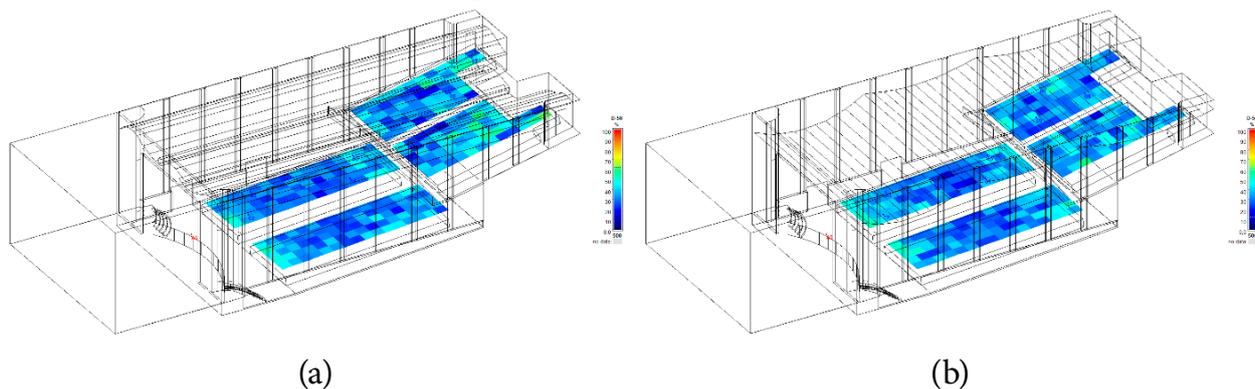
Na Figura 19 e Figura 20 são mostrados os mapas do parâmetro D50 na frequência de 500 Hz para as modelagens com forro original (a) e forro proposto (b). Segundo Brandão (2010), os valores devem ser acima dos 50%, porém, nas imagens é possível perceber que na maior parte da sala, em ambas as modelagens, os valores são abaixo de 50%. Ao analisar a Figura 19, é possível perceber que, na modelagem com o forro original, os valores próximos de 50% se concentram no final do mezanino. Este valor favorável pode ser atribuído à redução da distância entre o receptor e o forro, neste ponto do mezanino. Na modelagem com o forro proposto, os valores mais adequados estão próximos à fonte e mais ao meio do mezanino, isto porque, ao analisar o forro proposto, é possível perceber que há uma curvatura no meio de mezanino, a qual diminui a distância entre o receptor e o forro.

**Figura 19.** D50 das modelagens a 500 Hz (a) com o forro original e (b) com o forro proposto



Fonte: Autor, 2019.

**Figura 20.** D50 da modelagem com o forro original e do proposto a 500 Hz (a) com o forro original e (b) com o forro proposto

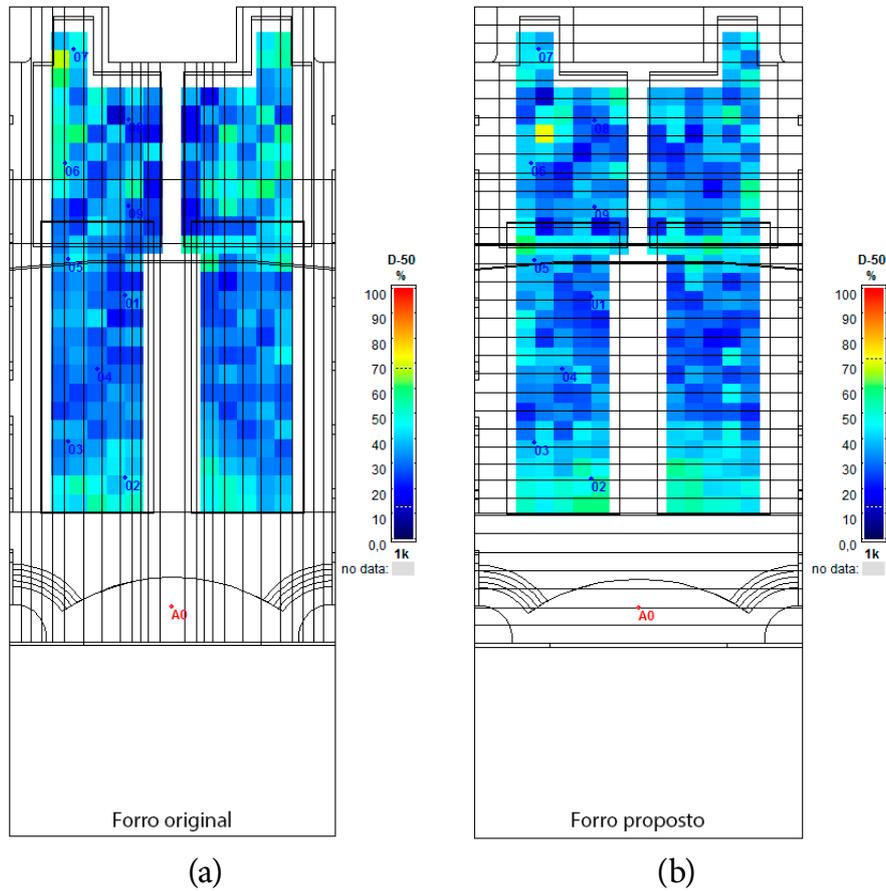


Fonte: Autor, 2019.

Na Figura 21 e Figura 22 são apresentados os mapas do D50 na banda de 1 kHz. Assim como na banda de 500 Hz exposto anteriormente, a maior parte dos valores são inferiores a 50%. Nota-se que os valores favoráveis, na modelagem com o forro original, ainda se concentram ao final do mezanino, assim como, nos valores mais próximos à parede do mezanino e, os valores próximos à fonte, aumentaram seus

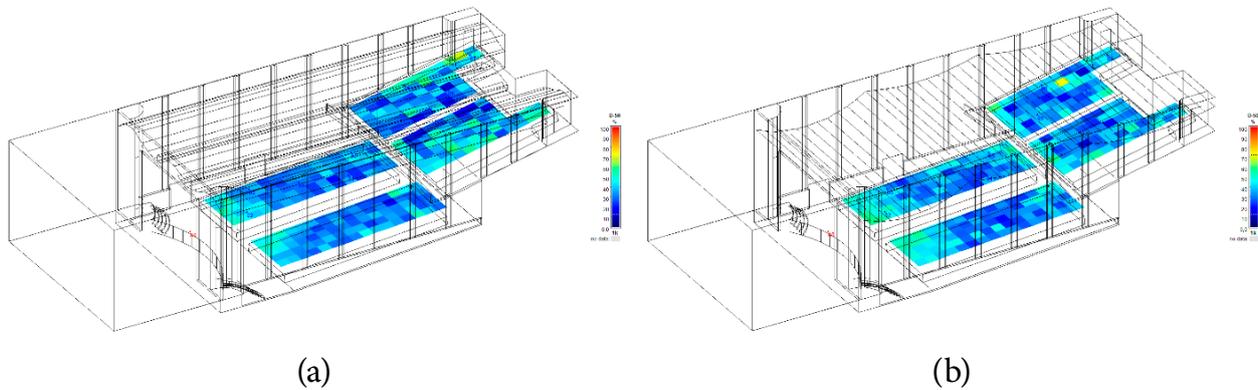
valores, melhorando assim este ponto da sala. Na modelagem com o forro proposto, os valores positivos continuaram concentrados próximo à fonte, entretanto, os valores ao fundo do mezanino não apresentaram evolução significativa, percebendo assim que, na modelagem com forro proposto, os valores são mantidos próximos entre as bandas de 500 Hz e de 1 kHz, sobre o mezanino.

**Figura 21.** D50 das modelagens a 1000 Hz (a) com o forro original e (b) com o forro proposto



Fonte: Autor, 2019.

**Figura 22.** D50 da modelagem com o forro original e proposto a 1000 Hz (a) com o forro original e (b) com o forro proposto



Fonte: Autor, 2019.

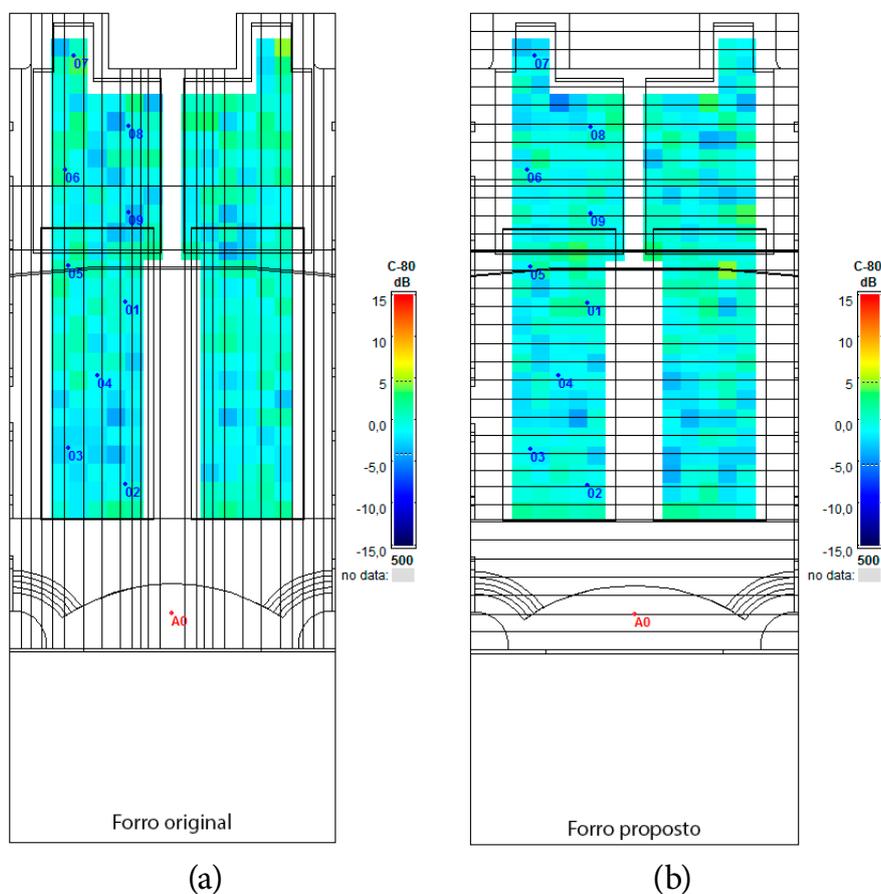
Na Figura 23 e Figura 24 é possível visualizar o mapa do C80 na banda de 500 Hz, para as modelagens com o forro original e, com o forro proposto. Este parâmetro tem como adequado os valores apresentados na Tabela 9. É possível afirmar que em ambas as modelagens os valores não se enquadram plenamente aos valores apresentados por Beranek (2004) e Barron (2010). É possível analisar que, em ambas as simulações, tanto com o forro original, quanto com o forro proposto, a maior concentração de valores está acima de +1 dB e com valores próximos dos 5 dB. Nota-se ainda que, em ambas as modelagens, os resultados dos valores mais adequados se encontram próximo à parte inferior do mezanino e no próprio mezanino.

**Tabela 9.** Referências para C80

Referências	Valores (dB)
Beranek (2004)	+1 a +5 para captação dos detalhes da música.
Beranek (2004)	-1 e -4 para priorizar a reverberação.
Beranek (2004)	-1 e -5 para salas avaliadas com a melhor qualidade acústica.
Barron (2010)	-2 e +2 para música orquestrada.

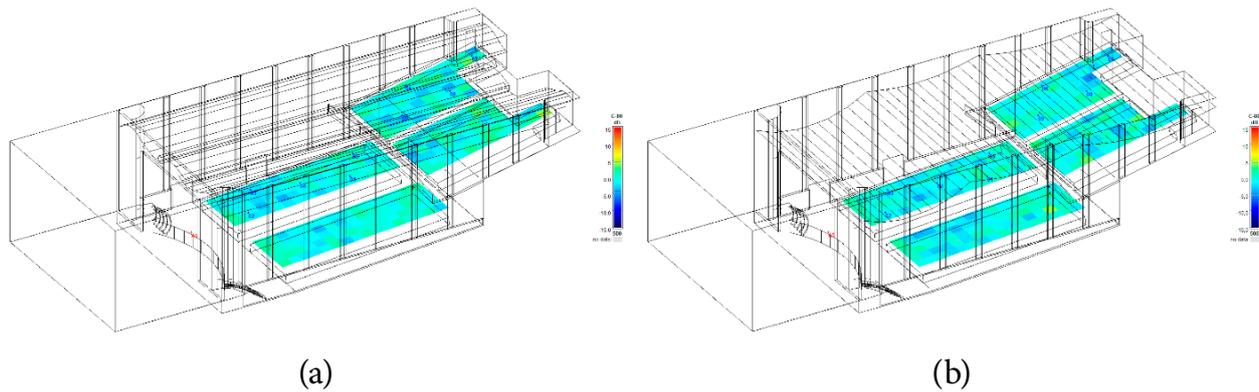
Fonte: Beranek (2004) e Barron (2010).

**Figura 23.** C80 das modelagens a 500 Hz (a) com o forro original e (b) com o forro proposto



Fonte: Autor, 2019.

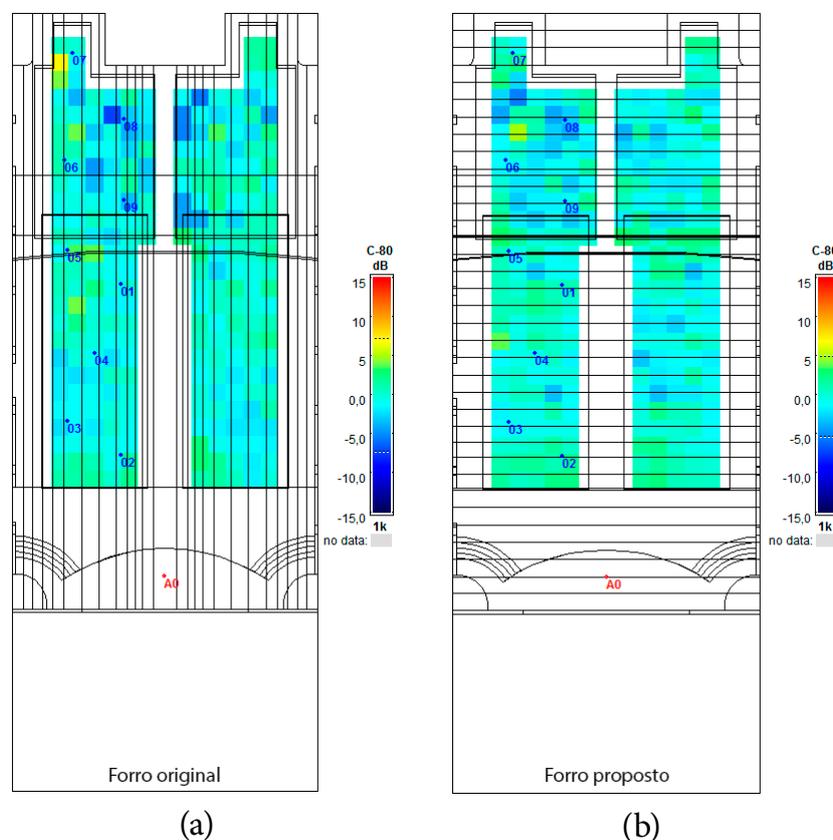
**Figura 24.** C80 da modelagem com o forro original e proposto a 500 Hz (a) com o forro original e (b) com o forro proposto



Fonte: Autor, 2019.

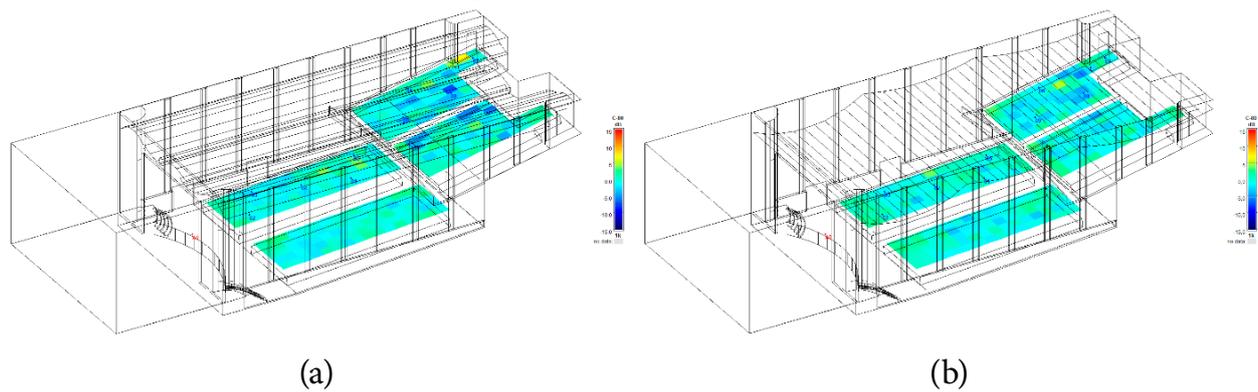
Na Figura 25 e Figura 26 observa-se o mapa referente ao C80 para bandas de 1 kHz. Assim como ocorre na banda de 500 Hz, os valores não são conclusivos para enquadrá-los nos parâmetros da Tabela 11. Porém, analisando a escala gráfica na lateral das figuras, percebe-se que, para a frequência de 1 kHz, os melhores valores são atribuídos à modelagem com o forro original, quando comparados à modelagem com o forro proposto. Entretanto, a modelagem com o forro proposto apresenta melhores valores para o mezanino.

**Figura 25.** C80 das modelagens a 1000 Hz (a) com o forro original e (b) com o forro proposto



Fonte: Autor, 2019.

**Figura 26.** C80 da modelagem com o forro original e proposto a 1000 Hz (a) com o forro original e (b) com o forro proposto



**Fonte:** Autor, 2019.

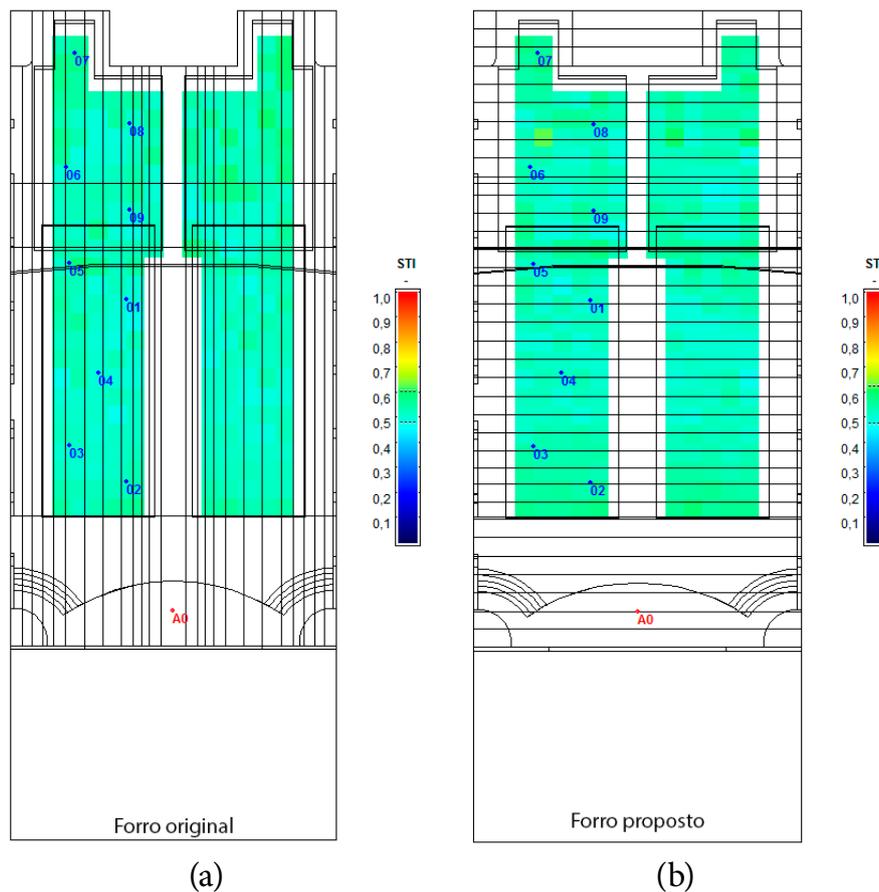
Na Figura 27 e 28 é verificada a distribuição dos valores relacionados ao STI, nas modelagens com o forro original e com forro proposto. Os valores de referência são apresentados na Tabela 10. Desse modo é possível perceber que ambas as modelagens, apresentam valores entre 0,45 e 0,60, caracterizando assim as modelagens como aceitáveis no parâmetro STI. Ao comparar os resultados apresentados na escala ao lado das figuras, nota-se que a modelagem com o forro proposto apresenta valores mais adequados, comparada à modelagem com o forro original. No caso do STI, ambas as modelagens apresentam melhores valores no mezanino.

**Tabela 10.** Valores para qualificação de STI

Valores	Qualidade do discurso
0,00 a 0,30	Ruim
0,30 a 0,45	Regular
0,45 a 0,60	Aceitável
0,60 a 0,75	Bom
0,75 a 1,00	Excelente

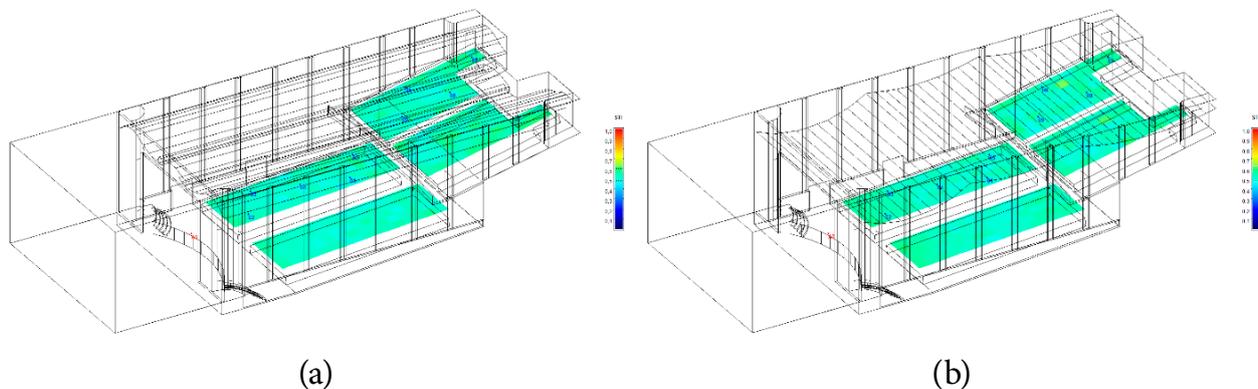
**Fonte:** Brandão (2016).

**Figura 27.** STI das modelagens (a) com o forro original e (b) com o forro proposto



Fonte: Autor, 2019.

**Figura 28.** STI da modelagem (a) com o forro original e (b) com o forro proposto



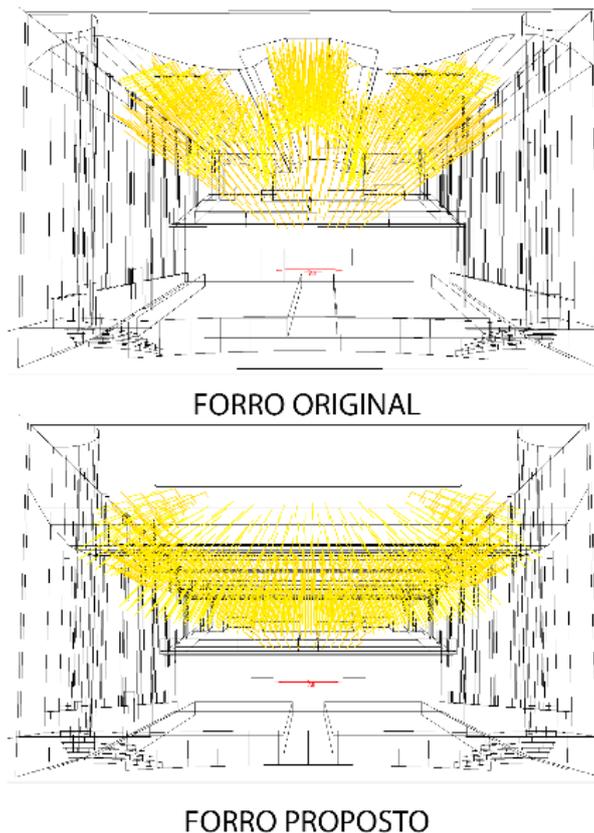
Fonte: Autor, 2019.

### 3.3 Análise da distribuição de raios sonoros

Na análise da distribuição dos raios sonoros, foram considerados apenas os planos de cada forro, o original e o proposto. Os dados de entrada definidos foram 1000 raios sonoros com um tempo máximo de 80 ms. Este valor foi estabelecido para verificar a incidência dos raios nos 80 ms propostos no parâmetro C80, o intervalo de tempo foi de 2 ms, os demais dados de entrada foram pré-definidos pelo *software*.

Na Figura 29 é apresentado o espalhamento dos raios sonoros incididos no forro original e no forro proposto na banda de 500 Hz entre 10 ms e 80 ms. Ao analisar a figura, é possível perceber que o forro original dissipa grande parte dos raios para as laterais. Já o espalhamento do forro proposto, comportou-se conforme projetado, ou seja, refletindo os raios para a plateia. Entretanto, a posição dos primeiros painéis sobre a fonte, faz com que grande parte dos raios sonoros seja direcionada para a boca de cena. Isso ocorre devido à proposta de curvatura do forro, que faz com que alguns painéis estejam voltados para a boca de cena.

**Figura 29.** Reflexão da incidência sonora nos painéis dos forros a 20 ms



**Fonte:** Autor, 2019.

## 4 Conclusão

Esta pesquisa analisou o Cine Teatro Luz por meio da simulação acústica, para entender qual a influência que a geometria pouco convencional do forro original do Cine, tem sobre a qualidade acústica da sala. Para tanto, foi proposto um novo modelo para o forro, considerando, principalmente, a posição dos painéis, com planos desenvolvidos por meio do método geométrico.

Nos resultados, observou-se que o TR da modelagem com o forro original, comparado à modelagem com o forro proposto, é maior em todas as bandas de

frequência analisadas. No entanto, ao se comparar os resultados de TR obtido neste estudo com o TR ideal apresentado pela NBR 12.179 (ABNT, 1992), conclui-se que ambas as modelagens não atendem ao valor do TR ideal.

Considerando que o Cine Teatro Luz é um espaço utilizado para diversas finalidades, a melhoria obtida no TR médio entre as bandas de 500 Hz e 1kHz, classifica a sala como boa para multiuso, segundo Barron (2010). Já o EDT da sala, em ambas as situações, é classificado como bom, segundo Barron (2010).

Nos parâmetros D50 e STI, percebeu-se que a alteração da geometria proporcionaria melhorias, considerando o uso do espaço para a fala. No parâmetro C80, a alteração da geometria do forro se mostrou eficiente, porém, considerando que o C80 é direcionado a claridade musical e, relacionando o C80 com os resultados de TR para modelagem com o forro original, conclui-se que o C80, assim como o TR do forro original, é mais adequado para a música.

Ao final das análises, foi possível entender que a aplicação do método auxiliou na relação entre a alteração na geometria do forro e a qualidade acústica da sala com o forro proposto. No entanto, as limitações apresentadas na versão *Demo* do *Software* influenciam diretamente nos resultados apresentados. Ainda que os resultados apresentados possam ser considerados confiáveis para pesquisas acadêmicas, torna-se mais preciso e profissional a configuração de todos os dados de entrada no *software*.

## Referências

- ASSILINEAU, Marc. *Building Acoustics*. New York: CRC Press, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 12179: Tratamento acústico em recintos fechados*. Rio de Janeiro, 1992.
- BARRON, Michael. *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. New York: Spon Press, 2010.
- BERANEK, Leo Leroy. *Concert halls and opera houses: music, acoustic, and architecture*. 2. ed. New York: Springer, 2004.
- BISTAFA, Sylvio R. *Acústica Aplicada ao Controle do Ruído*. 2. Ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- BISTAFA, Sylvio R. TAMANINI, Carlos Augusto de Melo. Avaliação dos parâmetros acústicos de um cinema na cidade de Maringá. In: *TECNIACUSTICA 2008 Coimbra*. Coimbra: Sociedad Española de Acústica, 2008.
- BRANDÃO, Eric. *Acústica de salas projeto e modelagem*. São Paulo: Blucher, 2016.
- CARVALHO, Régio Paniago. *Acústica arquitetônica*. 2. ed. Brasília: Thesaurus, 2010.
- COX, Trevor. J.; D'ANTONIO, Peter. *Acoustics Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application*. New York: Taylor & Francis, 2005.
- DE MARCO, Conrado Silva. *Elementos da acústica arquitetônica*. 3. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2002.
- EGAN, M. David. *Architectural Acoustics*. New York: McGraw-Hill Inc., 1988.
- HENRIQUE, Luís L. *Acústica musical*. 5. ed. Lisboa: Fundação Colouste Gulbekian, 2014.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *ISO 3382-1: Measurement of Room Acoustic Parameters – Part 1: Performance Rooms*, 2009.
- LERNER, Jaime. *Acupuntura urbana*. 5º ed. Rio de Janeiro: Record, 2011.
- PATRÍCIO, J. *Acústica nos Edifícios*. 7.ed. Porto: Publindústria, 2018.
- RODRIGO, Pau Serrano; GUILLAMÓN Ignacio Guillen; LOZANO, Vicente Gómez; REYNA Ana Llopis. Estudio acústico de claustros. Grado de influencia de los Coeficientes de difusión en la simulación acústica de um Claustro. In: CONGRESSO ESPANHOL DE ACÚSTICA, 46, 2015, Valencia. *Anais eletrônicos...* Valencia: sociedade espanhola de acústica, 2015. Disponível em: <http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Valencia15/Publicacion%20Oficial%20Congreso.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2017.
- RODRÍGUEZ, Á.L. L.; SALAS, J. J. S.; CASAS, J. N.; GARCÍA, T. Z. *Acústica y rehabilitación en teatros de Andalucía*. Sevilla: Consejería de Obras Públicas y Transportes; Universidad de Sevilla, 2007.
- SECRETARIA DE ESTADO DA CULTURA. *Patrimônio cultural Paraná*. Paraná, 2003. Disponível em: <http://www.patrimoniocultural.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=160>. Acesso em: 13 dez. 2017.

SEGURA, Jaume; BARBA, Arturo; PLANELLS, Ana; CERDÁ, Salvador; CIBRIÁN, Rosa; GIMÉNEZ, Alicia. Acústica arqueológica: reconstrucción de la casa de la Olivera, teatro valenciano del siglo xvii. In: CONGRESSO ESPAÑOL DE ACÚSTICA, 46, 2015, Valencia. *Anais eletrônicos...* Valencia: sociedade espanhola de acústica, 2015. Disponível em: <http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Valencia15/Publicacion%20Oficial%20Congreso.pdf>. Acesso em: 7 ago. 2017.

TENENBAUM, Roberto A.; CAMILO, Thiago S.; TORRES, Julio Cessar B.; Gerges, Samir N. Y. Hybrid method for numerical simulation of room acoustics with auralization: part 1 – theoretical and numerical aspects. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. Rio de Janeiro, v. 29 n.2, abr./jun. 2007 Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-58782007000200012&lng=en&tlng=en#?](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-58782007000200012&lng=en&tlng=en#?) Acesso em: 13 abr. 2018.

UNIUV - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE UNIÃO DA VITÓRIA. Escritório Modelo Arquiteca. *Projeto arquitetônico e tridimensional do Cine Teatro*. União da Vitória, 2017.

VALLE, Sólon do. *Manual prático de acústica*. 3º ed. Rio de Janeiro: Musica & Tecnologia, 2009.

VORLÄNDER, Michael. *Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality*. Berlin: Springer-Verlag, 2008.

WANG, Lily M.; VIGEANT, Michelle C. Evaluations of output from room acoustic computer modeling and auralization due to different sound source directionalities. *Science Direct*. Omaha, 11 set. 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X07001508>. Acesso em: 13 abr. 2018.