

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO  
NÍVEL MESTRADO**

**EDWIN CASSIO MEYER**

**VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DO FORRO NA QUALIDADE  
ACÚSTICA DO CINE TEATRO LUZ DE UNIÃO DA VITÓRIA - PR**

**São Leopoldo**

**2019**

**EDWIN CASSIO MEYER**

**VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DO FORRO NA QUALIDADE  
ACÚSTICA DO CINE TEATRO LUZ DE UNIÃO DA VITÓRIA - PR**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Arquitetura e Urbanismo, pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Fernanda de Oliveira

**São Leopoldo**

**2019**

*Ficha Catalográfica elaborada por Anicleto Luíz de Lima, (9ª CRB, n. 1825)*

M559v

MEYER, Edwin Cássio.

Verificação da influência da geometria do forro na qualidade acústica do Cine Teatro Luz de União da Vitória, PR./ Edwin Cassio Meyer. –

Orientadora: Profª Dra Maria Fernanda de Oliveira.

São Leopoldo, RS - 2019.

130 p. : il. ; color.

Contém Bibliografia p. 91 – 94.

1. Acústica de sala. 2. Acústica geométrica. 3. Simulação computacional.  
4. Qualidade acústica. I. Título.

CDD – 620.2

Não ofereça a Deus apenas a dor de suas penitências, ofereça também suas alegrias.

Paulo Coelho

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente a Deus, por todos os obstáculos colocados em meu caminho. Posso até não ter compreendido no início o porquê de tanta dificuldade, mas, quando se chega ao topo da montanha, é possível reconhecer na paisagem a lição a qual fui submetido.

Agradeço em especial à minha esposa Andréia Ap. S. Meyer, minha rocha, na qual por muitas vezes me agarrei para não ser levado pelas dificuldades. Mulher na qual eu me espelho e busco sabedoria.

Ao meu filho Kauã S. Meyer, meu melhor amigo, minha maior dádiva, pela compreensão em me ver tão perto e, ao mesmo tempo, estar tão longe.

A todos os meus familiares pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência.

À minha Orientadora, Prof. Dra. Maria Fernanda de Oliveira, por me escolher como orientando. Pelas maravilhosas aulas de conforto ambiental e, principalmente pela preciosa contribuição para o enriquecimento deste trabalho.

A todos os Professores do mestrado pela receptividade e pelo conhecimento transmitido.

A todos meus colegas de mestrado, em especial à Ana Paula Alves, Lídia Dreger, Rafael Heissler e Vinícius Falk Thomaz, pela amizade e companheirismo.

Ao Centro Universitário de União da Vitória, pela confiança e pelo importante investimento em minha capacitação.

A todos, que de uma forma ou outra, participaram desta etapa tão importante para meu crescimento profissional.

## RESUMO

A proposta deste trabalho é apresentar estudos relacionados à acústica de salas. O presente estudo busca entender, principalmente, a interferência que a geometria do forro do Cine Teatro Luz tem na qualidade acústica, considerando esta geometria incomum nos aspectos relacionados à distribuição sonora, por conta do posicionamento da sua curvatura. Desse modo, foi definido como objeto de estudos o edifício Cine Teatro Luz, localizado na cidade de União da Vitória, Paraná. O Cine Teatro Luz é um edifício tombado pelo estado como patrimônio e, atualmente, está em processo de restauro. Os objetivos deste trabalho consistem, principalmente, 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, parâmetros relacionados respectivamente ao tempo de reverberação, clareza musical e definição da palavra falada, 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 métricas 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 purpose of this work is to present studies related to room acoustics. The present study seeks to understand, mainly, the interference that the lining geometry of Cine Teatro Luz has in the acoustic quality, considering this geometry unusual in the aspects related to the sound distribution, due to the positioning of its curvature. Thus, the Cine Theater Luz building, located in the city of União da Vitória, Paraná, was defined as the object of study. Cine Teatro Luz is a state-listed heritage building and is currently being restored. The objectives of this work are to clarify the influence that the original liner has on the acoustic quality of the Cine Teatro Luz room, using the acoustic parameters TR, EDT, D50, C80 and STI, parameters related respectively to the reverberation time, musical clarity and definition of the spoken word, in which the results of these parameters are compared to the results of a modeling with a liner proposal that provides more conventional sound distribution. The method consisted in using the metric information of the room in the computational modeling, with two lining situations: the first with the original liner, with longitudinal curves to the room and the second modeling, called the proposed liner with curves transverse to the room. Both models were simulated in the acoustic software CATT-acoustic v9.1b - demo version, with input data of the absorption coefficients ( $\alpha$ ) and the scattering coefficients ( $s$ ), as well as input data for sound source and receiver position. During the comparative analysis between 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 lining contributed to the improvement of the acoustic quality of the room, considering that the room is destined to the multipurpose room. However, the results showed that the original liner geometry could benefit music-related activities.

Key words: Room acoustics. Geometric acoustics. Computational simulation.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C80	Energia acústica nos primeiros 80 milissegundos
$\alpha$	Coeficiente de Absorção
s	Coeficiente de Espalhamento
$\lambda$	Comprimento de Onda
dB	Decibel
D50	Energia acústica nos primeiros 50 milissegundos
EDT	Early Decay Time (Tempo de Decaimento Inicial)
f	Frequência
Hz	Hertz
ISO	International Organization for Standardization (Organização Internacional de Padronização)
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
STI	Speech Transmission Index (Índice de Transmissão de Fala)
TR	Tempo de Reverberação
UNLP	Universidade Nacional de La Plata



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Apresentação e imagens do Teatro Apolo, um dos teatros contemplados pelo programa da Espanha. ....	15
Figura 2 – Corte e planta baixa do Teatro Colón.....	16
Figura 3 – Espaço interno do Teatro Colón.....	16
Figura 4 – Incidência, reflexão, absorção ( $\alpha$ ) e transmissão. ....	18
Figura 5 – Comportamento típico de dispositivos fono-absorventes. ....	19
Figura 6 – Material poroso.....	20
Figura 7 – Material fibroso.....	20
Figura 8 – Coeficiente de absorção de incidência aleatória para lã de rocha de duas espessuras diferentes em um suporte rígido.....	22
Figura 9 – Desenho esquemático de um absorvedor de membrana.....	22
Figura 10 – Desenho esquemático do Ressonador de <i>Helmholtz</i> com a aplicação de material absorvedor.....	23
Figura 11 – Reflexões especulares e difusas.....	24
Figura 12 – Reflexão especular.....	25
Figura 13 – Exemplo de acabamento difuso nas paredes. ....	25
Figura 14 – Aparato de comprimento $dL$ e com irregularidades superficiais de profundidade máxima $d_{irr}$ . ....	26
Figura 15 – Painel de Schroeder.....	26
Figura 16 – Ilustração de som direto e indireto. ....	29
Figura 17 - Gráfico do tempo de reverberação.....	29
Figura 18 – Gráfico dos valores adequados para TR.....	30
Figura 19 - Reflectograma típico de uma configuração sala-fonte-receptor mostrando o som direto, primeiras reflexões. ....	31
Figura 20 - Catedral Católica de São João Batista em Santa Cruz do Sul - RS.....	33
Figura 21 - Auditório: Instituto Nacional de Telecomunicações (INTEL) em Santa Rita do Sapucaí – MG. ....	33
Figura 22 – Tipos de planta baixa encontrados comumente em auditórios. ....	35
Figura 23 – Forma de distribuição de plateia em um auditório.....	35
Figura 24 – Inclinação de piso e máximo ângulo de inclusão devido a aspectos visuais e acústicos. ....	36
Figura 25 – Teto em auditórios com grande altura.....	36

Figura 26 - Sala de concertos da Orquestra Filarmônica de Paris, França.....	37
Figura 27 – O efeito do ângulo de visão.....	38
Figura 28 – Symphony Hall – Boston. ....	39
Figura 29 – <i>Royal Festival Hall – London</i> .....	40
Figura 30 – Projeto recomendado para a construção de mezaninos em salas de concerto.....	40
Figura 31 – Maquete de um modelo de auditório, similar ao utilizado por Norris em 1929. ....	42
Figura 32 – Projeção do laser em material reflexivo, modelo similar ao utilizado por Norris em 1929.....	42
Figura 33 – Estudo para a Igreja de Vuoksenniska de Alvar Aalto em 1958.....	42
Figura 34 – Modelagem complexa (a) e modelagem simplificada (b). ....	44
Figura 35 – Geometria do forro original.....	46
Figura 36 – Geometria proposta.....	47
Figura 37 – Croqui da fachada do Cine Teatro Luz.....	48
Figura 38 – Imagem do estado atual da fachada do Cine Teatro Luz.....	49
Figura 39 – Imagem da inserção do Cine Teatro Luz no perímetro urbano de União da Vitória. ....	50
Figura 40 – Desenho esquemático do ângulo do espaço abaixo do mezanino.....	51
Figura 41 – Planta baixa da sala principal do Cine Teatro Luz, atualizada em 2017. ....	52
Figura 42 - Planta baixa do mezanino do Cine Teatro Luz, atualizada em 2017. ....	53
Figura 43 – Corte longitudinal do Cine Teatro Luz, atualizado em 2017.....	53
Figura 44 – Fachada do Cine Teatro Luz, atualizada 2017.....	53
Figura 45 – Imagem da geometria tridimensional que mostra a vista do palco para o balcão do Cine Teatro Luz. ....	54
Figura 46 – Imagem da geometria tridimensional que mostra a vista do balcão para o palco do Cine Teatro Luz. ....	55
Figura 47 – Cine Teatro Luz - Corte longitudinal esquemático da geometria tridimensional completa.....	56
Figura 48 – Cine Teatro Luz. Corte esquemático da geometria tridimensional simplificada utilizada na simulação. ....	56
Figura 49 – Exemplo de coordenadas cartesianas e planos construídos utilizando os vértices locados pela coordenada.....	57

Figura 50 – Modelagem no <i>CATT-Acoustic</i> , na esquerda o <i>PL9Viewer</i> , na direita o <i>CATT 3D</i> e na extrema direita o <i>Modeling</i> . .....	58
Figura 51 – Forro original, planos no sentido longitudinal. ....	59
Figura 52 – Forro proposto, planos no sentido transversal. ....	59
Figura 53 – Forro proposto, com painéis inclinados conforme o método geométrico. ....	59
Figura 54 – Apresentação dos coeficientes de absorção ( $\alpha$ ). ....	61
Figura 55 – Posição da fonte e dos receptores. ....	63
Figura 56 – Dados de entradas para rodar a simulação acústica no software. ....	64
Figura 57 - Gráfico para definição do TR ideal pela NBR 12.179.....	68
Figura 58 - TR por banda de oitava do forro original e forro proposto.....	69
Figura 59 – Média do TR nas frequências baixas, médias e altas. ....	70
Figura 60 – EDT, por banda de oitava do forro original e forro proposto. ....	72
Figura 61 – Média do EDT nas frequências baixas, médias e altas.....	72
Figura 62 – D50 das modelagens a 500 Hz. ....	74
Figura 63 – D50 da modelagem com o forro original a 500 Hz. ....	75
Figura 64 - D50 da modelagem com o forro proposto a 500 Hz.....	75
Figura 65 – D50 das modelagens a 1000 Hz. ....	76
Figura 66 - D50 da modelagem com o forro original a 1000 Hz.....	77
Figura 67 - D50 da modelagem com o forro proposto a 1000 Hz.....	77
Figura 68 – C80 das modelagens a 500 Hz. ....	79
Figura 69 – C80 da modelagem com o forro original a 500 Hz. ....	80
Figura 70 - C80 da modelagem com o forro proposto a 500 Hz.....	80
Figura 71 – C80 das modelagens a 1000 Hz. ....	81
Figura 72 - C80 da modelagem com o forro original a 1000 Hz.....	82
Figura 73 - C80 da modelagem com o forro proposto a 1000 Hz.....	82
Figura 74 – STI das modelagens. ....	84
Figura 75 - STI da modelagem com o forro original. ....	85
Figura 76 - STI da modelagem com o forro proposto.....	85
Figura 77 – Reflexão da incidência sonora nos painéis dos forros a 20 ms.....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Bandas de oitava e 1/3 de oitava. ....	27
Tabela 2 – Formas de distribuição de plateia em um auditório: área ocupada e distância média relativa. ....	35
Tabela 3 - Características construtivas relevantes à simulação acústica.....	54
Tabela 4 - Resumo dos materiais utilizados na sala do Cine Teatro Luz. ....	60
Tabela 5 – TR, por banda de oitava da modelagem. ....	66
Tabela 6 – Média do TR das modelagens nas baixas, médias e altas frequências. .	68
Tabela 7 – Valores adequados de TR, conforme uso da sala.....	68
Tabela 8 - EDT, por banda de oitava da modelagem.....	70
Tabela 9 - Média do EDT conforme baixas, médias e altas frequências, para modelagem com forro original e forro proposto.....	71
Tabela 10 – Valores para qualificação do EDT .....	71
Tabela 11 - Referências para C80. ....	78
Tabela 12 – Valores para qualificação de STI.....	83

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1 PROBLEMA .....	14
1.2 OBJETIVO.....	14
<b>1.2.1 Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>15</b>
2.1 ACÚSTICA DE SALAS.....	15
<b>2.2.1 Absorção acústica.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.2 Espalhamento acústico .....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.3 Parâmetros objetivos utilizados na qualificação acústica .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.4 Critérios geométricos .....</b>	<b>33</b>
2.3 SIMULAÇÃO ACÚSTICA COMPUTACIONAL .....	41
<b>3 MÉTODO</b> .....	<b>46</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO .....	48
3.2 SIMULAÇÃO ACÚSTICA COMPUTACIONAL DO CINE TEATRO LUZ.....	52
<b>3.2.1 Geometria tridimensional .....</b>	<b>52</b>
<b>3.2.2 Modelagem.....</b>	<b>57</b>
<b>3.2.3 Caracterização dos materiais.....</b>	<b>60</b>
<b>3.2.4 Fonte e receptores .....</b>	<b>62</b>
<b>3.2.5 Dados de entrada e de saída .....</b>	<b>63</b>
<b>4 RESULTADOS E ANÁLISE</b> .....	<b>66</b>
4.1 RESULTADOS E ANÁLISES COMPARATIVAS DO TR E EDT .....	66
4.2 RESULTADOS E ANÁLISES COMPARATIVAS DO D50, C80 E STI .....	73
4.3 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE RAIOS SONOROS .....	86
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>88</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>91</b>
<b>APÊNDICE A – DADOS DO <i>CATT-EDIT – MASTER</i>, UTILIZADOS NA MODELAGEM TRIDIMENSIONAL.....</b>	<b>95</b>
<b>APÊNDICE B – REFLEXÃO DOS RAIOS SONOROS EM 80 MS NA BANDA DE 125 HZ. ....</b>	<b>124</b>
<b>APÊNDICE C – REFLEXÃO DOS RAIOS SONOROS EM 80 MS NA BANDA DE 250 HZ. ....</b>	<b>125</b>

<b>APÊNDICE D – REFLEXÃO DOS RAIOS SONOROS EM 80 MS NA BANDA DE 500 HZ. ....</b>	<b>126</b>
<b>APÊNDICE E – REFLEXÃO DOS RAIOS SONOROS EM 80 MS NA BANDA DE 1000 HZ. ....</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICE F – REFLEXÃO DOS RAIOS SONOROS EM 80 MS NA BANDA DE 2000 HZ. ....</b>	<b>128</b>
<b>APÊNDICE G – REFLEXÃO DOS RAIOS SONOROS EM 80 MS NA BANDA DE 4000 HZ.....</b>	<b>129</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Analisando a amplitude e complexidade da acústica arquitetônica, na qual, segundo Henrique (2007), engloba a acústica de salas e acústica de edifícios, este estudo busca tratar, especificamente, da acústica de salas.

Nesta pesquisa é abordada a influência geométrica na acústica. Especificamente, a geometria pouco convencional do forro utilizada em salas destinadas à acústica, com curvas no sentido longitudinal da sala, geometria que resulta no direcionamento do som para as paredes.

Segundo Brandão (2016), quando se trata de espaços destinados a música, estes 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 os elementos da sala e, também, de recuperar o patrimônio acústico da sala.

Deste 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.

## 1.1 PROBLEMA

O problema definido neste trabalho, parte da dúvida sobre a influência do direcionamento da propagação do som na qualidade acústica de uma sala. Para isso, a pesquisa busca entender se as posições das curvas do forro do Cine Teatro Luz influenciam na qualidade acústica da sala.

## 1.2 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é analisar comparativamente a influência de alterações no forro do Cine Teatro Luz na qualidade acústica da sala.

### 1.2.1 Objetivos específicos

- a) Identificar as formas geométricas relevantes à simulação acústica computacional, com base nas dimensões reais do edifício;
- b) Modelar as geometrias relevantes à simulação acústica computacional;
- c) Caracterizar os materiais utilizados na modelagem, conforme os coeficientes de absorção ( $\alpha$ ) e espalhamento ( $s$ );
- d) Estudar uma simplificação geométrica para a modelagem do forro;
- e) Comparar os resultados obtidos nos parâmetros TR, EDT, D50 C80 e STI da geometria do forro original, com os resultados do forro proposto.

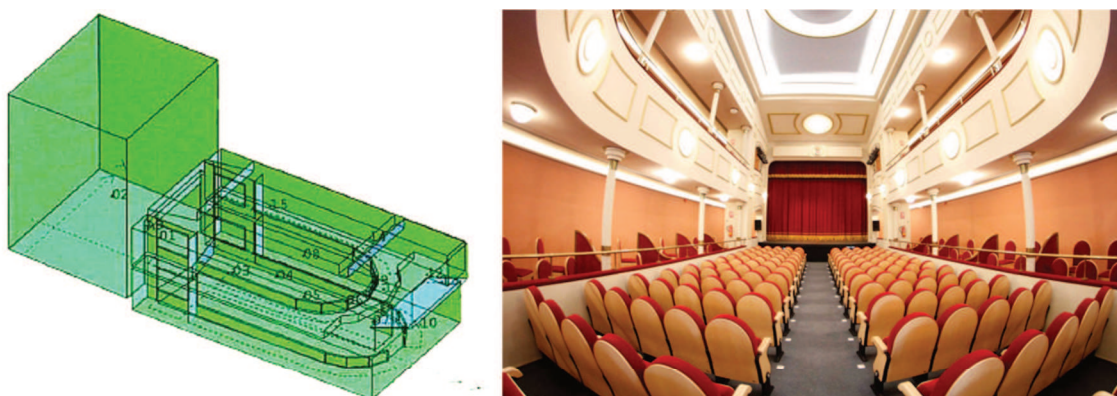


## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 ACÚSTICA DE SALAS

Ainda que os conceitos de acústica estejam fundamentados há mais de cem anos, a acústica de salas ainda é uma linha de pesquisa recente. Décadas atrás a Espanha já havia demonstrado preocupações com o patrimônio de salas que necessitavam de uma boa qualidade acústica, o que deu origem ao programa de reabilitação dos teatros de Andalúcia, como por exemplo, o trabalho desenvolvido no Teatro Apolo ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Apresentação e imagens do Teatro Apolo, um dos teatros contemplados pelo programa da Espanha.



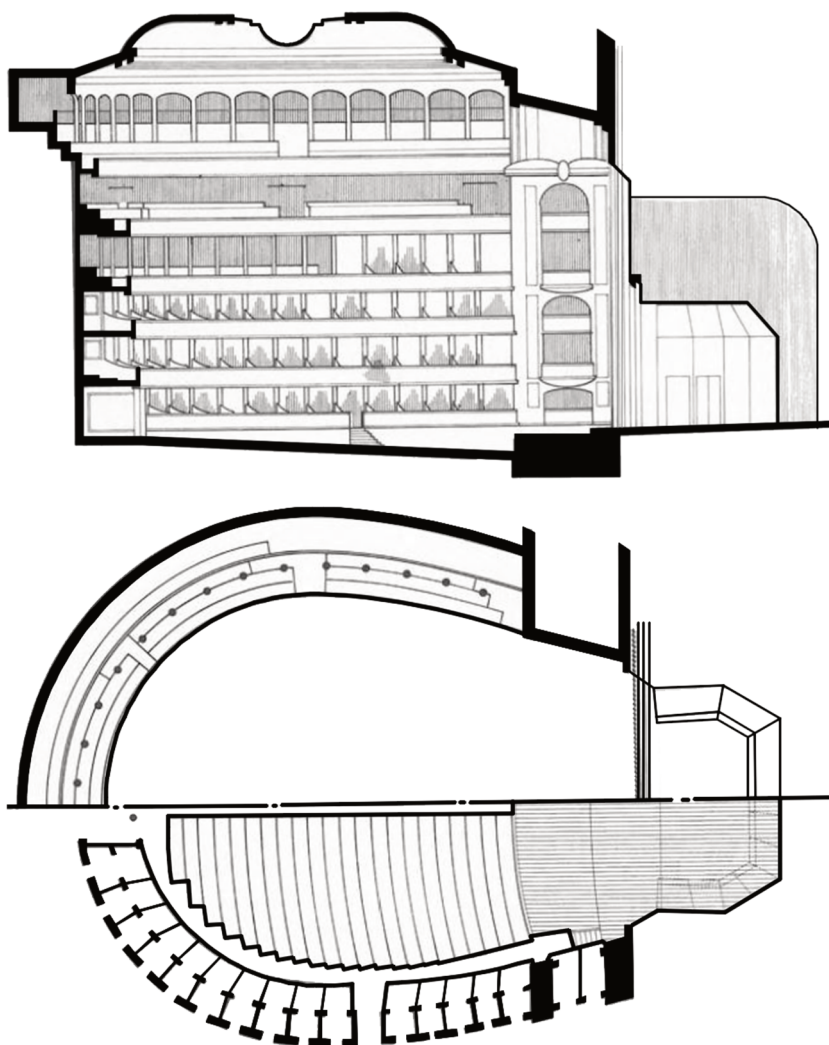
TEATRO APOLO	
Almeria Rambla Obispo Orbera, esq. C/ Juan Lirola	
Construcción:	1882
Rehabilitación:	1993
Arquitectos:	Antonio Góngora Galera Ángel Jaramillo Esteban (Arquitecto de la rehabilitación)

Fonte: Rodríguez et al (2007, p. 70). Adaptada pelo autor.

Basso *et al.* (2012) explicam que na Argentina existem mais de 80 edifícios distribuídos entre médios e grandes, destinados a auditórios e a teatros, considerando que muitos foram utilizados para a definição musical de orquestras sinfônicas e líricas do país, bem como gêneros mais populares. Assim como em muitos lugares, salvo exceções, poucos dados da caracterização acústica são conhecidos. Devido a essa falta de informações, a Universidade Nacional de La Plata (UNLP) iniciou o projeto de

pesquisa que busca estudar e compreender a acústica das salas mais importantes no país. Um dos mais recentes estudos de caso é o Teatro Colón, localizado em Buenos Aires, capital da Argentina. Segundo Basso, Haedo e Quintana (2008) teve suas obras iniciadas em 1889 e foi inaugurado em 25 de maio de 1908. Com a forma de uma ferradura, o salão principal atende “as características gerais do Teatro de ferradura italiano” e tem capacidade para 2.478 pessoas (Figura 2 e Figura 3).

Figura 2 – Corte e planta baixa do Teatro Colón.



Fonte: Beranek, (2004, p163).

Figura 3 – Espaço interno do Teatro Colón



Fonte: Nick; Lucy, 2014.

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 destes 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.

Brandão (2016) esclarece que a acústica de salas demanda um amplo conhecimento para que se tenha um projeto acústico adequado a cada tipo de ambiente. Como por exemplo, salas de cinema que são projetadas para terem um alto grau de absorção sonora, pois estas estão na classe de salas destinadas a fala e, necessitam que o diálogo dos filmes vindos dos aparelhos eletroacústicos tenha uma boa inteligibilidade.

Deste modo, a absorção das salas de cinema é distribuída por todas as paredes, piso e teto. As paredes recebem painéis espessos construídos com lã de rocha, estes painéis são cobertos por um tecido transparente para a acústica, as cadeiras possuem estofados com absorção que equivalem a uma sala plenamente ocupada, para que o tempo de reverberação seja equivalente a da sala ocupada (BRANDÃO, 2016).

Para Brandão (2016), quando se trata de acústica de salas, é importante dominar alguns conhecimentos e fundamentos da acústica, como interação entre as ondas sonoras, projeto de dispositivos do tipo absorvedores e difusores. Além disso, deve-se buscar também o conhecimento que se espera como resultados da sala e conhecer os métodos de controle para obter o resultado esperado. Estes fatores são

considerados importantíssimos pelo autor, pois, por meio destes conhecimentos, se consegue um projeto acústico de salas adequado.

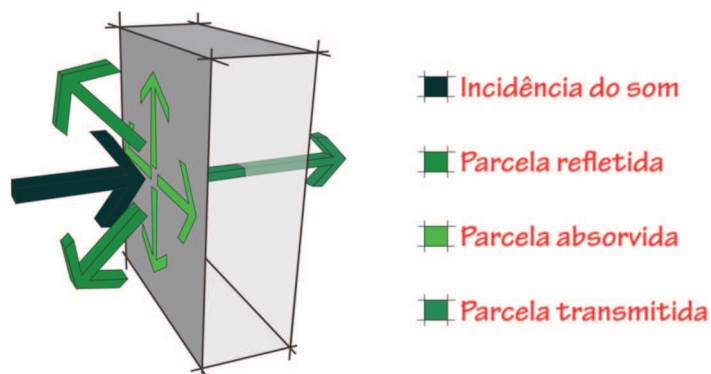
Para Patrício (2010, p. 125) o comportamento acústico assume dois modelos para a sua concepção: “Um relacionado com a descrição global desse comportamento, a partir da resposta associada aos modos da sala” e, no outro, “assente numa descrição estatística, ou seja, numa distribuição específica de energia sonora no espaço fechado”.

Para que uma sala obtenha qualidade acústica por meio do tempo – espaço – frequência em uma resposta concisa e coerente, é preciso conhecer como as ondas sonoras serão recebidas pelas diversas superfícies do ambiente (paredes, pilares, vigas, pessoas, etc.) e, qual será a interferência destas superfícies sobre a onda sonora, no que se refere à absorção e ao espalhamento do som, ou seja, como será a resposta acústica da sala (BRANDÃO, 2016).

### 2.2.1 Absorção acústica

Para Carvalho (2010), seja qual for o material encontrado na natureza, ele responde acusticamente, conforme mostra a Figura 4. 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. No campo da acústica, o material que mais absorve o som é tido como um bom material fono-absorvente e, o material que reflete grande parte da energia incidida, é um bom material para a reflexão sonora.

Figura 4 – Incidência, reflexão, absorção ( $\alpha$ ) e transmissão.

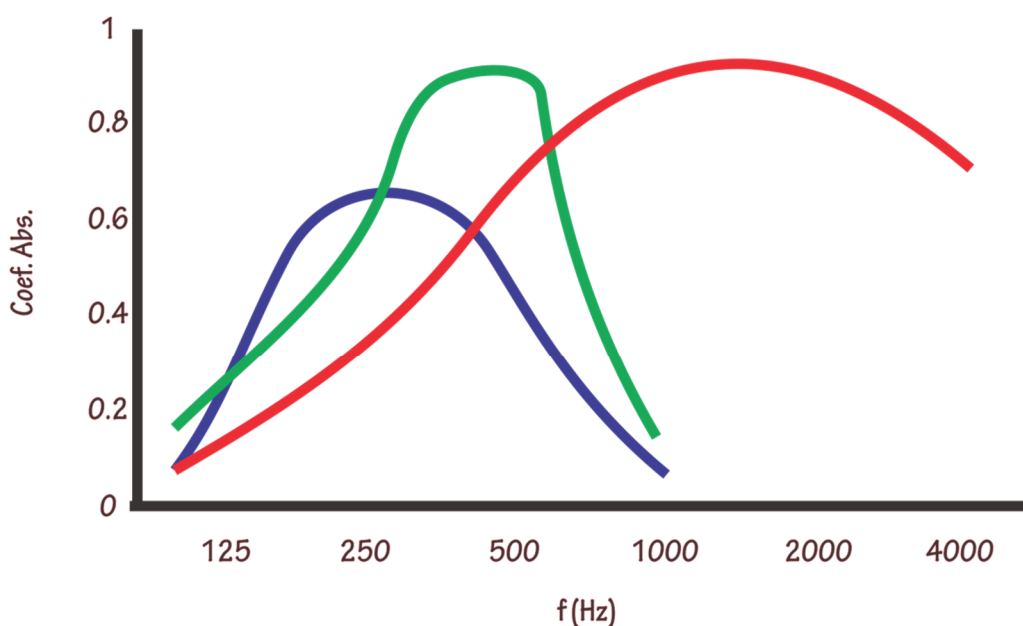


Fonte: Oliveira, (2017).

De acordo com Brandão (2016), o campo acústico de uma sala só é possível ser calculado quando se quantifica a energia sonora absorvida, assim como a parcela da energia que retornará ao ambiente, por meio da reflexão especular e reflexão difusa. Como inúmeras ondas sonoras atingirão as superfícies, todas devem ser calculadas pensando na sua capacidade de espalhamento sonoro, assim como, na sua capacidade de absorção ( $\alpha$ ) do material.

Os materiais fono-absorventes são divididos em porosos e fibrosos, sistemas de painel de membrana e ressonadores de Helmholtz. Para Brandão (2016), os materiais fono-absorventes são utilizados para absorver ondas sonoras em determinadas bandas de frequências. Assim, quando se busca um tratamento acústico, se faz necessário considerar o equilíbrio da absorção em função da frequência. Para isso, o projetista pode considerar que, para as altas frequências, o mais indicado são os materiais porosos e fibrosos (Figura 5), para as médias e baixas, os dispositivos baseados em painéis de membrana e ressonadores de Helmholtz.

Figura 5 – Comportamento típico de dispositivos fono-absorventes.



Material fono-absorvente - Painel de membrana - Ressonador de Helmholtz

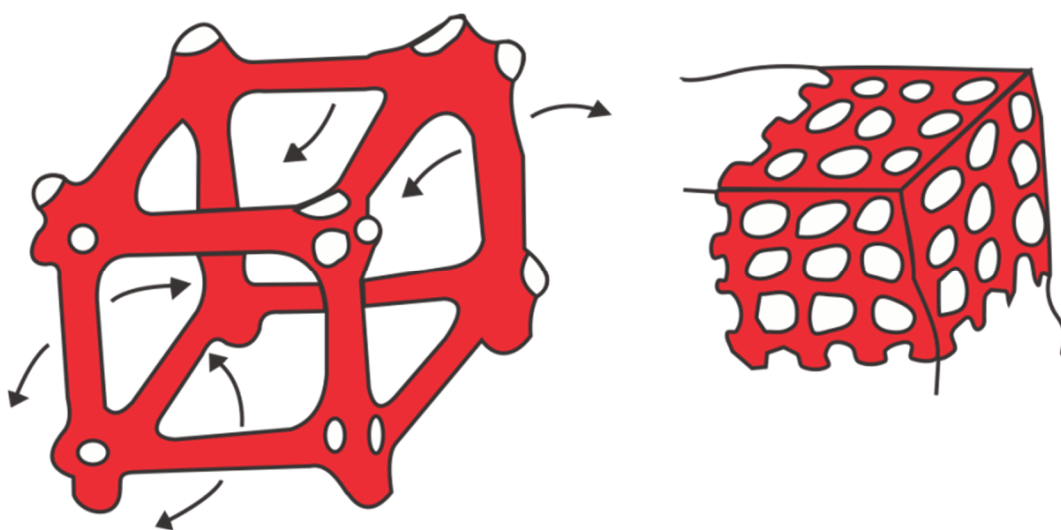
Fonte: Carvalho (2010, p. 64).

Segundo Cox e D'Antonio (2005), conhecer os coeficientes de absorção ( $\alpha$ ), assim como fazer a modelagem dos materiais e a aplicabilidade dos mesmos, são

fundamentais para a obtenção dos resultados desejados. Entretanto, é fundamental que o projetista tenha em mente a necessidade de ensaiar os materiais em ambiente controlado para permitir a comparação entre real e teoria.

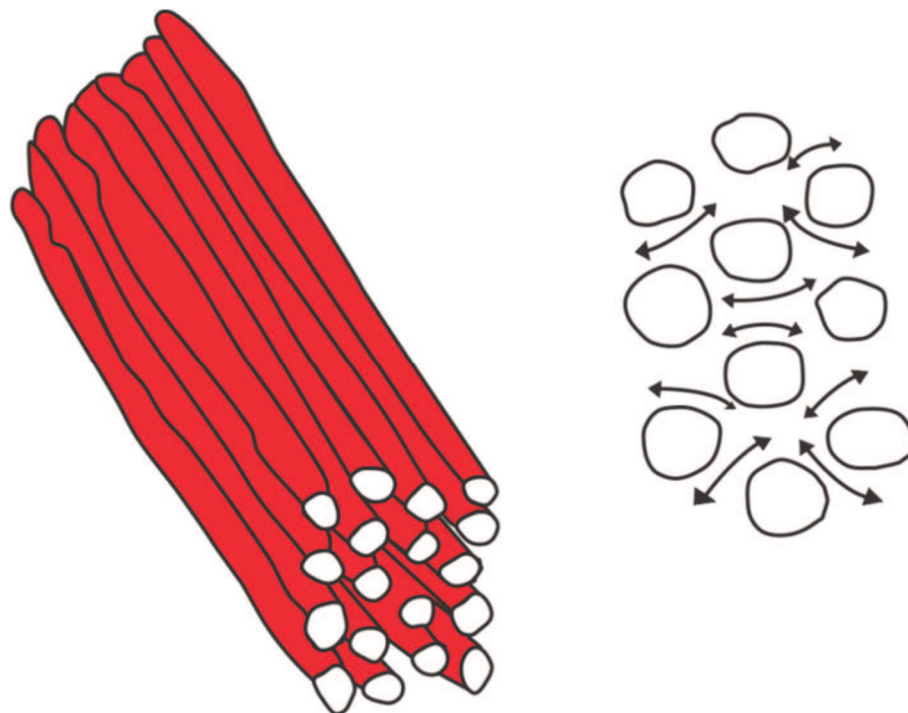
- Material fono-absorvente: para o tratamento da absorção acústica, existem diversos caracterizados (microscopicamente) como porosos (Figura 6), entre eles se destacam as espumas, materiais reciclados, etc. Estes materiais têm cavidades nas quais ocorrem a dissipação da energia e seus poros são abertos para o lado externo. Existem também os materiais fibrosos (Figura 7), como por exemplo, lã de rocha, lã de pet, lã de vidro, etc. E, a sua construção se dá por meio da conexão das fibras e são caracterizados acusticamente devido à dimensão das fibras e, também, pela posição delas, bem como sua composição, densidade e a sua interconexão (BRANDÃO, 2016).

Figura 6 – Material poroso



Fonte: Gerges (2000, p.301).

Figura 7 – Material fibroso

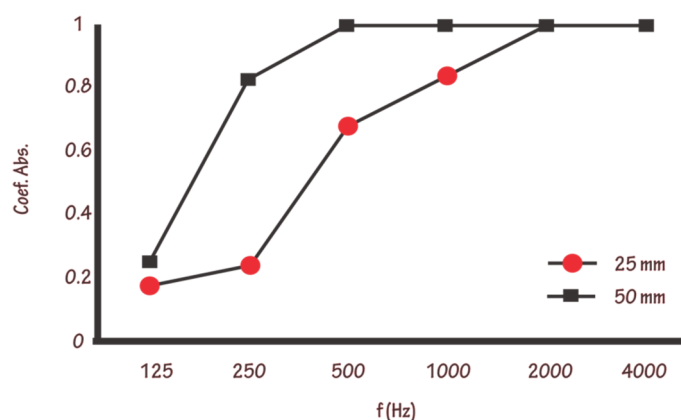


Fonte: Gerges (2000, p.301).

Segundo Cox e D'Antonio (2005), para considerar o material poroso ou fibroso eficiente nas frequências mais baixas, é necessário aumentar a espessura deste material (Figura 8). Entretanto, Brandão (2016) expõe que, em uma simulação de um material poroso ou fibroso com coeficientes de absorção iguais, a absorção melhoraria conforme o aumento da espessura do material, porém, o modelo mais espesso ainda assim não demonstra resultados satisfatórios para a absorção das baixas frequências, como mostra o gráfico apresentado na Figura 8.

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.

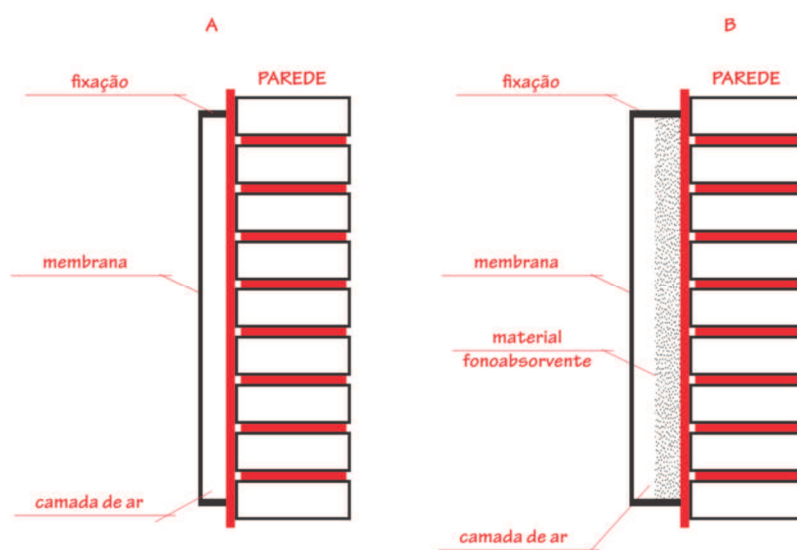
Figura 8 – Coeficiente de absorção de incidência aleatória para lã de rocha de duas espessuras diferentes em um suporte rígido.



Fonte: Cox; D'Antonio (2005, p.130).

- O painel de membrana (Figura 9): 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 fono-absorvente ao sistema. Entretanto, este material não pode estar muito próximo da massa, para que ele não iniba o movimento da mesma, conforme mostra o desenho B da Figura 9 (COX; D'ANTONIO, 2005).

Figura 9 – Desenho esquemático de um absorvedor de membrana.

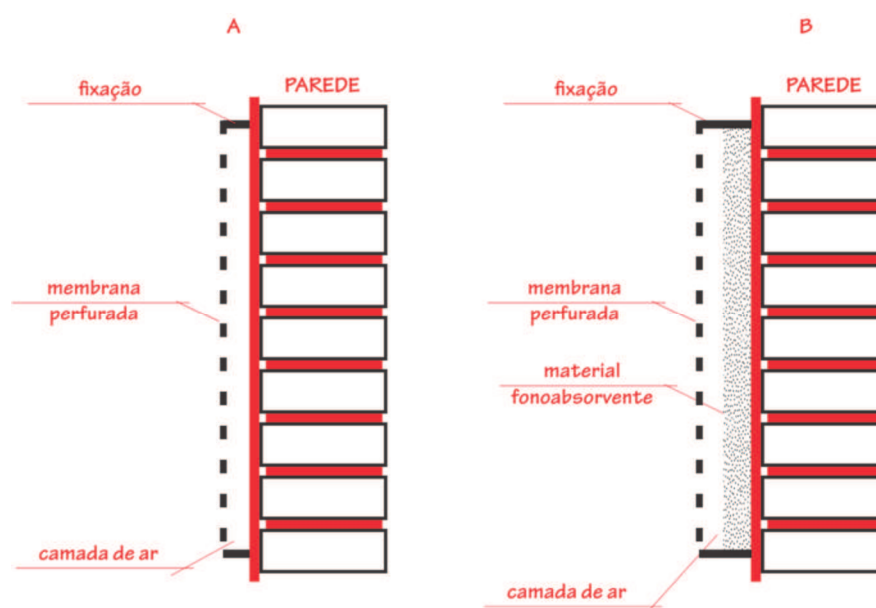


Fonte: Brandão (2005, p.162). Adaptada pelo autor.



- Ressonadores de *Helmholtz*: Brandão (2016) explica que o painel perfurado ou ressonador de *Helmholtz* tem sua construção parecida com a do painel de membrana e que a cavidade de ar pode ser preenchida com material fono-absorvente (Figura 10), recoberto por um painel perfurado, o qual tem seus furos distribuídos de maneira uniforme e com a mesma distância entre eles.

Figura 10 – Desenho esquemático do Ressonador de *Helmholtz* com a aplicação de material absorvedor.



Fonte: Patrício (2008, p. 143). Adaptada pelo autor.

Segundo Patrício (2008), a eficiência de correção dos ressonadores *Helmholtz* aplica-se melhor às médias frequências, que considerem resultados em terços de oitava, por exemplo, 200 Hz, 250 Hz, 315 Hz, 400 Hz, 500 Hz e, raramente em frequências de 630 Hz. Desse modo, os ressonadores de *Helmholtz* são poucos efetivos em outras frequências. No entanto, a efetividade do sistema de *Helmholtz* pode ser ampliada quando se inclui materiais absorvedores, conforme ilustrado na Figura 10, desenho B (PATRÍCIO, 2008).

## 2.2.2 Espalhamento acústico

Assilneau (2015) coloca que, para uma boa qualidade acústica de salas, é fundamental que a absorção sonora, por meio de material, não se torne demasiada. Para tanto, é necessário um trabalho equilibrado entre a absorção e o espalhamento sonoro, seja especular ou difuso (Figura 11). 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, 2008).

Brandão (2016) afirma que os estudos sobre o coeficiente de espalhamento ( $s$ ) são datados na literatura a partir do ano de 1990. E, como é um parâmetro relativamente novo, muitos materiais ainda não possuem estes coeficientes. Na maioria dos casos, os dados encontrados são disponibilizados pelos fabricantes de difusores acústicos. Esta falta de valores tabelados de espalhamento limita o trabalho dos projetistas que, em muitos casos, estimam estes valores para cálculo de projetos de condicionamento acústico na busca de conhecimento.

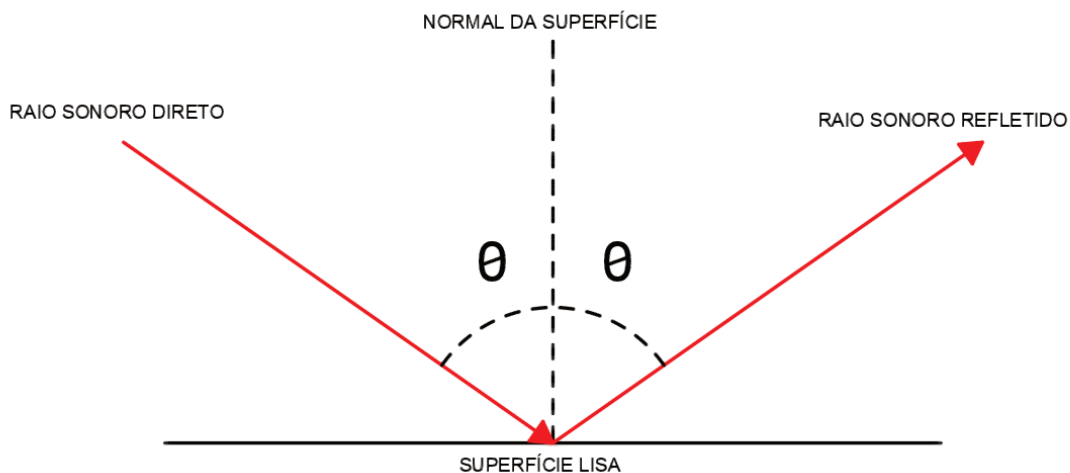
Figura 11 – Reflexões especulares e difusas



Fonte: Ponto Ciência, 2013.

- Reflexão especular: a reflexão especular ocorre quando um raio sonoro é incidido em uma superfície lisa e o mesmo é refletido no mesmo ângulo considerando a normal da superfície, este ângulo é denominado de “ângulo de incidência” (Figura 12) (BRANDÃO, 2016). Desse modo, é necessária uma atenção maior quando se trata da geometria côncava, pois se o objetivo é um melhor espalhamento sonoro, a incidência em superfície côncava originará reflexões que focalizarão o som. Este fenômeno ocorre quando a forma côncava é maior que o comprimento da onda sonora (HENRIQUE, 2014).

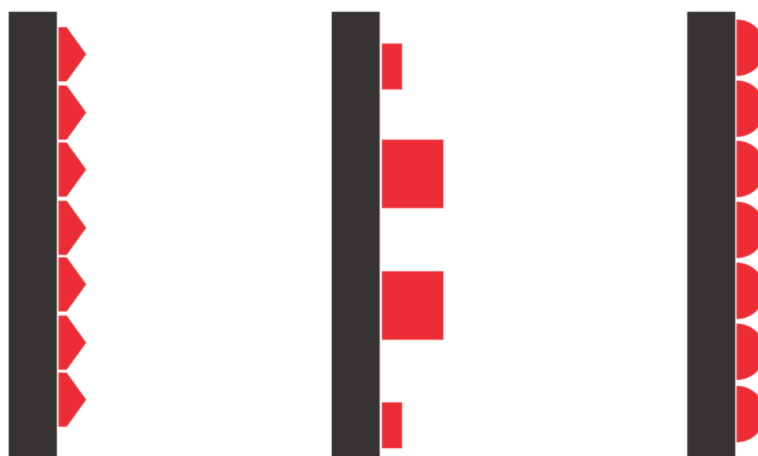
Figura 12 – Reflexão especular



Fonte: Autor, 2019.

- Reflexão difusa: Em certas situações eventuais, as reflexões especulares podem causar problemas, como por exemplo, entre duas paredes relativamente paralelas, pode ocorrer o eco palpitante; em superfícies côncavas elevadas, pode ocorrer um forte eco. Esta situação pode ser corrigida com o uso de elementos em relevo para proporcionar o direcionamento aleatório do som, conforme ilustra a Figura 13 (ASSILINEAU, 2015).

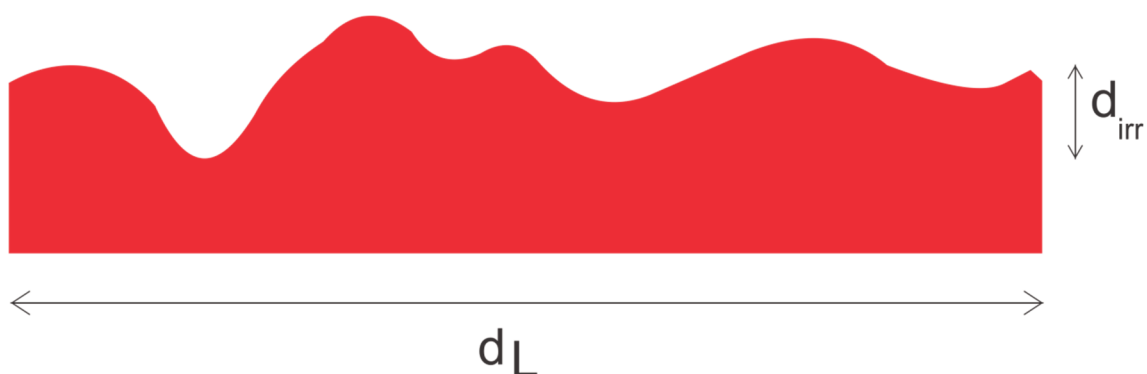
Figura 13 – Exemplo de acabamento difuso nas paredes.



Fonte: Assilenau (2015, p. 103).

Pensando em elementos difusores, Brandão (2016) afirma que é preciso considerar o espectro sonoro audível referente a faixas entre 20 Hz até 20 kHz com equivalência de 11 oitavas. No espectro audível a variação do comprimento das ondas sonoras vão de  $\lambda=17\text{m}$  para baixas frequências e  $\lambda=17\text{mm}$  para altas frequências. Considerando o comprimento de ondas nas médias frequências, estas terão o comprimento de alguns aparatos na sala, outros aparatos terão dimensões menores que o comprimento de onda para as altas frequências e o comprimento de onda nas baixas pode ser maior que a própria sala. Dessa forma, pensando em qualidade, é possível dividir o espectro em três faixas distintas, " $\lambda \gg d$ ", " $\lambda \approx d$ " e " $\lambda \ll d$ ", sendo "d" a relação das dimensões do aparato apresentado na Figura 14 (BRANDÃO, 2016).

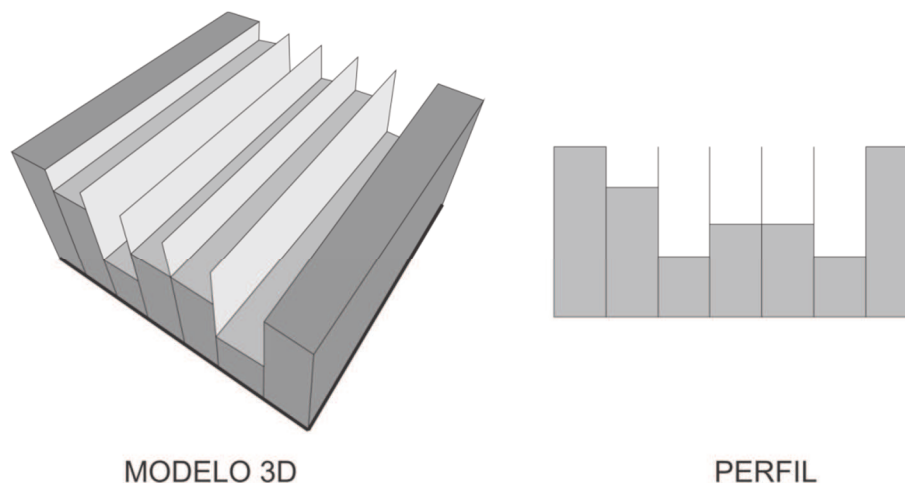
Figura 14 – Aparato de comprimento  $d_L$  e com irregularidades superficiais de profundidade máxima  $d_{irr}$ .



Fonte: Brandão (2016, p. 195).

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 (Figura 15). 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.

Figura 15 – Painel de Schroeder.



Fonte: Patrício (2008, p.155).

### 2.2.3 Parâmetros objetivos utilizados na qualificação acústica

Patrício (2008) relembra que as experiências subjetivas vêm de longa data, como por exemplo, o compositor Handel, que antes das suas apresentações visitava a sala de concerto para definir seu programa musical. O método utilizado por ele para avaliar a acústica do local era bater palmas, assim como, as batidas de bengala sobre o palco dada pelo compositor e organista Silbermann.

Para Brandão (2016) quando se projeta a acústica de salas, grande parte dos parâmetros objetivos utilizados é expressa em bandas de oitava ou de terços de oitava (Tabela 1), os quais dependem de um conjunto de respostas filtradas destas bandas. Brandão (2016) complementa que é importante utilizar um conjunto de parâmetros objetivos, considerando critérios relevantes, pois cada parâmetro busca quantificar de modo subjetivo uma ou mais experiências.

Tabela 1 – Bandas de oitava e 1/3 de oitava.

	FREQUÊNCIAS GRAVES (Hz)			FREQUÊNCIAS MÉDIAS (Hz)				FREQUÊNCIAS AGUDAS (Hz)										
OITAVA	125	250	500	1000	2000	4000												
1/3 OITAVA	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000

Fonte: Patrício (2008, p.29). Adaptado pelo autor.

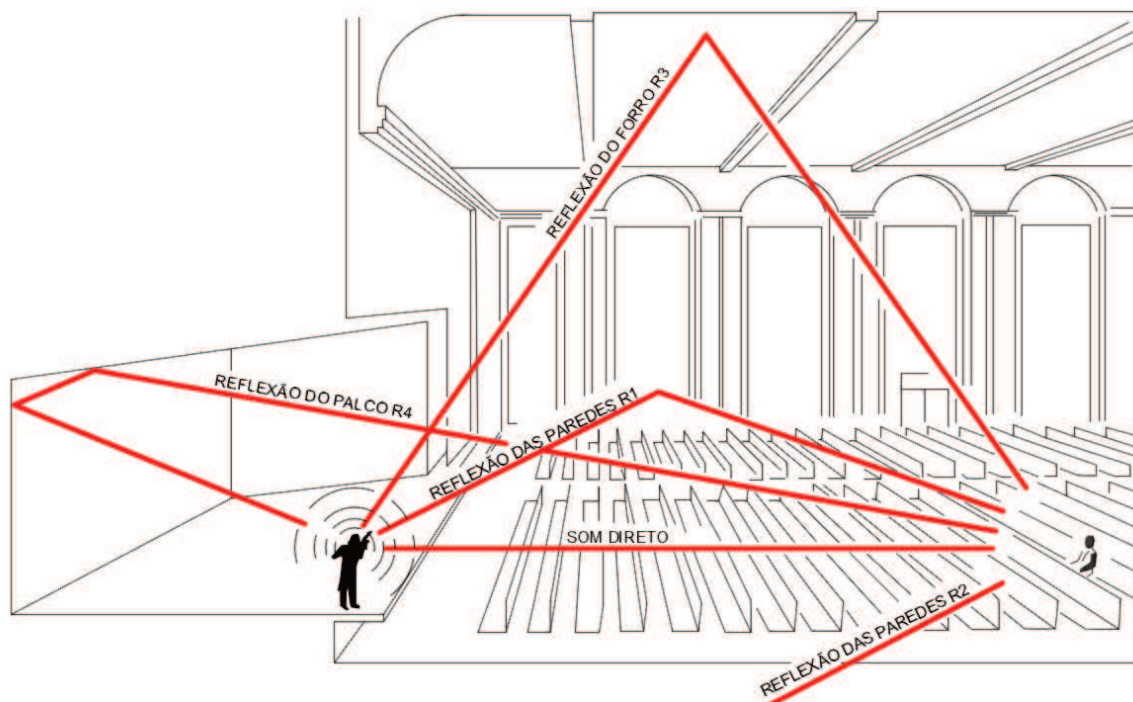
Na acústica de sala, a reverberação é um dos fenômenos mais importantes, responsável pela qualidade sonora, a qual depende da quantidade e da qualidade das reflexões em todas as áreas do ambiente (VALLE, 2009).

Segundo Henrique (2014), em uma sala, as múltiplas reflexões sonoras constituem a reverberação do espaço. E, na acústica de salas, 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.

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.

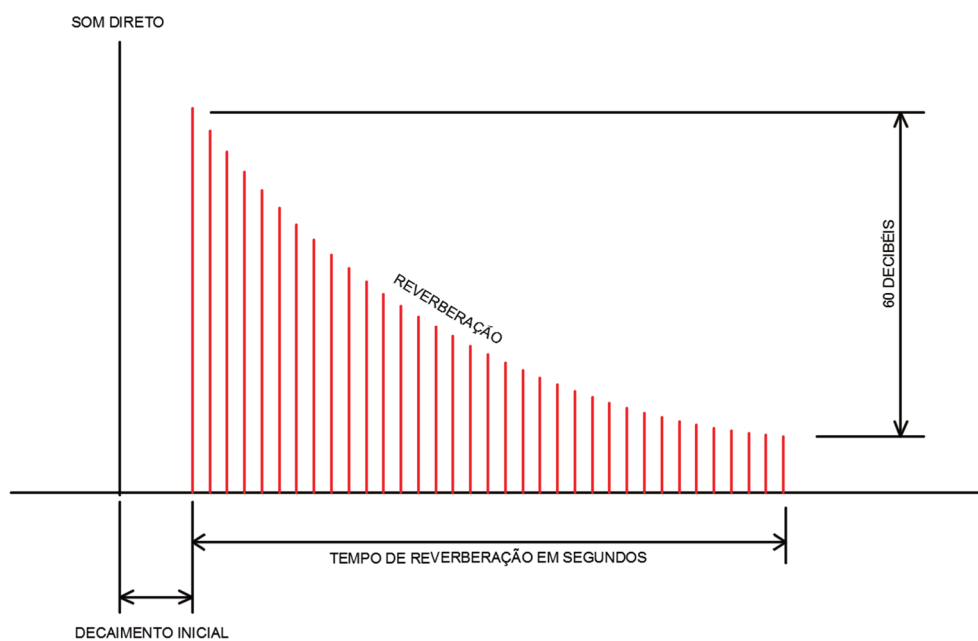
TR (Tempo de Reverberação): segundo Beranek (2004), o receptor ouve por meio das ondas diretas e das indiretas chamadas de reverberação acústica (Figura 16). A reverberação consiste na incitação de ondas sonoras, que serão refletidas por inúmeras vezes nas superfícies até que sua energia seja dissipada. O autor complementa que o TR é o tempo que um som leva para decair um determinado Nível de Pressão Sonora (NPS) e, em termos mais técnicos, quantos segundos são necessários para que perca 60 dB de pressão sonora, conforme gráfico mostrado na Figura 17.

Figura 16 – Ilustração de som direto e indireto.



Fonte: Beranek (2004, p. 21). Adaptada pelo autor.

Figura 17 - Gráfico do tempo de reverberação.



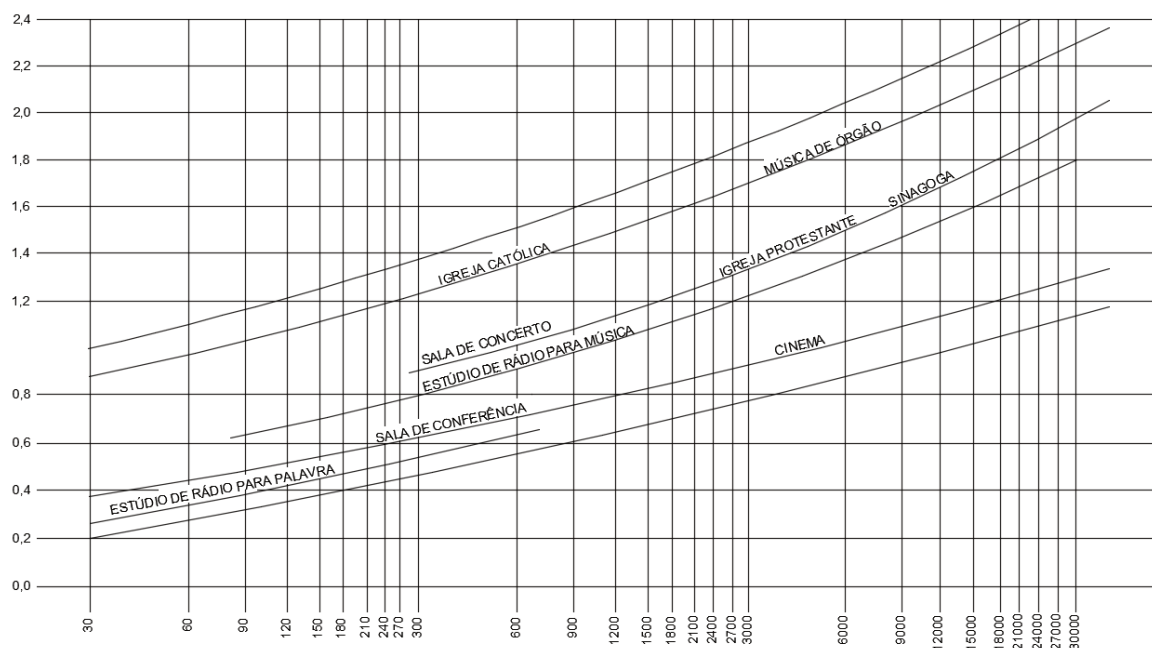
Fonte: Beranek (2004, p. 22).

Um dos primeiros parâmetros utilizados na caracterização acústica de salas é o tempo de reverberação, e segue como um dos principais parâmetros utilizados. A reverberação acontece devido às múltiplas reflexões incididas nas superfícies da sala. Uma sala com qualidade de reverberação tem suas reflexões bem distribuídas, conforme o tempo em que são planejadas (ASSELINEAU, 2015).

Valle (2009) esclarece que não existe uma recomendação rígida para o TR adequado, mas sim orientação quanto ao TR adequado para cada tipo de sala. Na Figura 18, são apresentados algumas orientações sobre o TR adequado.

Beranek (2004) cita que os tempos entre 1,8 e 2,0 segundos, são tempos atribuídos às salas com melhor qualidade acústica. Entretanto, para bandas entre 500 Hz e 1kHz, existem divergências entre alguns autores, no que cabe aos valores adequados para salas acústicas, como por exemplo, para salas de concerto, onde Brandão (2016) considera valores entre 1,5 e 2,2 s e, Beranek (2004), valores entre 1,6 e 2,1 s, Barron (2010) apresenta valores entre 1,8 e 2,4, já Egan (1988) apresenta valores entre 1,6 e 2,4 s. No caso da NBR 12.179 (ABNT 1992), é tido como valor ideal 1,4 s para salas de concerto, isso porque a norma considera apenas a frequência de 500Hz.

Figura 18 – Gráfico dos valores adequados para TR.



Fonte: ABNT (1992).

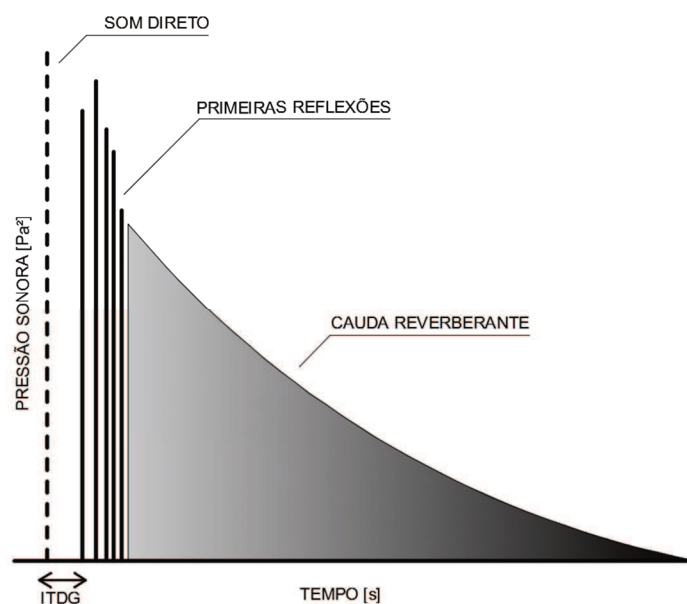


- EDT (*Early Decay Time*): de acordo com Beranek (2004), o EDT é, basicamente, o tempo em que um som emitido leva para decair 10 dB depois que a emissão é findada. Estes 10 dB devem ser multiplicados por 6, isto porque os 10 dB de decaimento são equivalentes a 1/6 dos 60 dB necessários para mensurar o TR. Assim, ao utilizar o fator 6 é possível comparar o EDT com o TR, ambos em segundos.

Segundo Brandão (2016) as principais variáveis do EDT são as primeiras reflexões vindas da distribuição temporal, conforme mostra a Figura 19. Assim, pode-se afirmar que o EDT é um parâmetro que depende significativamente das configurações “sala – fonte – receptor”, fazendo com que sua variação ocorra ao longo do espaço, inclusive mais do que o TR.

Os critérios de EDT são próximos aos do TR. Os valores para EDT são classificados com bom ou razoável e, são referenciados segundo os autores Beranek (2004) e Barron (2010), nas bandas de 500 Hz e 1 kHz. Beranek (2004) descreve que os valores 2,25 s e 2,75 s são referência das melhores salas acústicas e 1,4 s e 2 s para as salas com EDT razoável. Barron (2010) indica valores entre 1,8 s a 2,2 s como recomendados. Estes valores foram obtidos pelos autores por meio de pesquisa.

Figura 19 - Reflectograma típico de uma configuração sala-fonte-receptor mostrando o som direto, primeiras reflexões.



Fonte: Brandão (2016, p. 380).

- Claridade C80: caracterizada conforme a intensidade do som direto, comparado às ondas sonoras refletidas e reverberantes, a claridade C80 tem como

definição a relação entre a energia sonora recebida pelo receptor nos primeiros 80 ms, em relação à energia restante após esse intervalo (ASSELINEAU, 2015).

Segundo Brandão (2016), para uma sala apresentar valores adequados à claridade C80, uma sequência rápida de notas musicais deve ser compreendida com facilidade. Este parâmetro é muito utilizado para avaliar a qualidade da acústica musical das salas. A ISO 3382 (2009) descreve que a “clareza” está associada a parâmetros que medem a razão entre a energia que está contida nas primeiras reflexões e o restante da energia impulsionada. De acordo com Brandão (2016), este formato que define a claridade em 80ms, foi proposta por Reichardt, Alim e Schmidt.

Beranek (2004) descreve que alguns músicos preferem valores entre +1 e +5 dB, que melhora a captação dos detalhes da música durante o ensaio. Entretanto, durante as apresentações, os músicos podem preferir valores entre -1 e -4 dB, para priorizar o espaço com mais reverberação. Beranek (2004) comenta ainda que, os valores entre -1 e -5 dB são atribuídos às salas com melhor qualidade acústica. Barron (2010) complementa ao comentar que, para música orquestrada, os valores tidos como ótimos ficam entre -2 e +2 dB.

- Definição D50: a definição é a relação entre a energia sonora que o receptor recebe por um determinado período de tempo (50 ms) e a energia restante que o atinge após os 50 ms. (PATRÍCIO, 2008).

Segundo Brandão (2016), o parâmetro D50 é mais comumente utilizado em análises de salas destinadas a fala. Os valores tidos como aceitáveis indicam que a região das primeiras reflexões carrega mais energia. No que diz respeito ao D50, para que a sala seja considerada adequada à inteligibilidade da fala, os valores devem ser superiores a 50%.

- Inteligibilidade STI (*Speech Transmission Index*): Segundo Patrício (2008), STI é um critério utilizado para definir a qualidade da percepção da palavra. Para que se tenha uma qualidade considerada adequada, a STI necessita de um valor percentual acima de 60%. Assim, para se tornar inteligível, a palavra deve ser entendida com o mínimo de deformação possível.

Como o STI está diretamente ligado à inteligibilidade da fala, para análise é considerado o nível de ruído e a reverberação da sala. Esta análise permite identificar o quanto o som é distorcido entre o momento da sua emissão (fonte sonora) e o recebimento (receptor), sendo que 1 é o valor máximo tido como ideal para a compreensão do som (VORLÄNDER, 2008).

## 2.2.4 Critérios geométricos

Brandão (2016) expõe que, inicialmente, toda sala deveria receber aplicações da teoria ondulatória, para poder resolver problemas acústicos. No entanto, devido à complexidade das salas, como por exemplo, na Figura 20, notam-se inúmeros adornos decorativos, bem como a disposição de colunas na sala, entre outros elementos que atuam como superfícies refletoras ou difusoras. A Figura 21 apresenta o forro como um elemento influenciador na qualidade acústica da sala, entre outros. Segundo Brandão (2016) a teoria não indica resultados realistas, isto se dá porque as soluções analíticas são resultantes de uma geometria simplificada (retangular), além das inúmeras superfícies refletoras ou difusoras geradas pelas mobílias e outros objetos, os quais em sua maioria são irregulares.

Figura 20 - Catedral Católica de São João Batista em Santa Cruz do Sul - RS.



Fonte: Rene Hass (2016).

Figura 21 - Auditório: Instituto Nacional de Telecomunicações (INTEL) em Santa Rita do Sapucaí – MG.



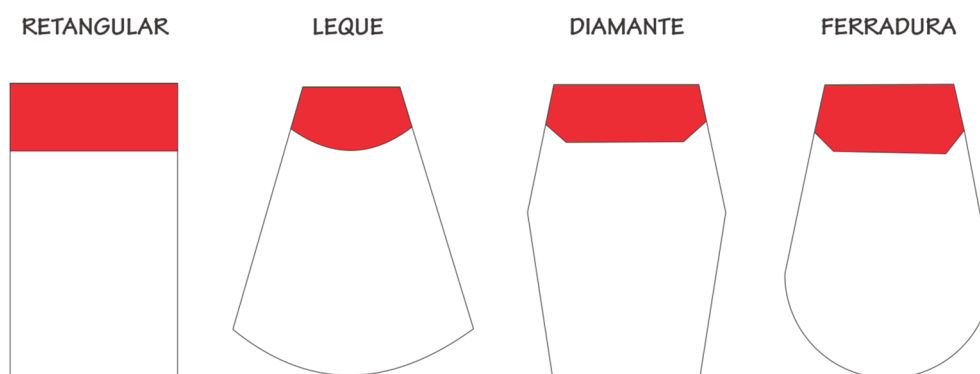
Fonte: Inatel (2018).

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, como os exemplificados na Figura 22. 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. Brandão (2016) complementa colocando que esta qualificação se dá porque, neste formato, as ondas sonoras refletidas pelas paredes laterais possuem muita energia, melhorando os aspectos como “Espacialidade e o Envolvimento” (BRANDÃO, 2016).

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). Ou seja, as reflexões laterais precisam ter energia suficiente para que a audiência se sinta envolvida pelo som e, para isso, leva em consideração a diferença de tempo em que as reflexões vindas das laterais chegam ao ouvido (BRANDÃO, 2016).

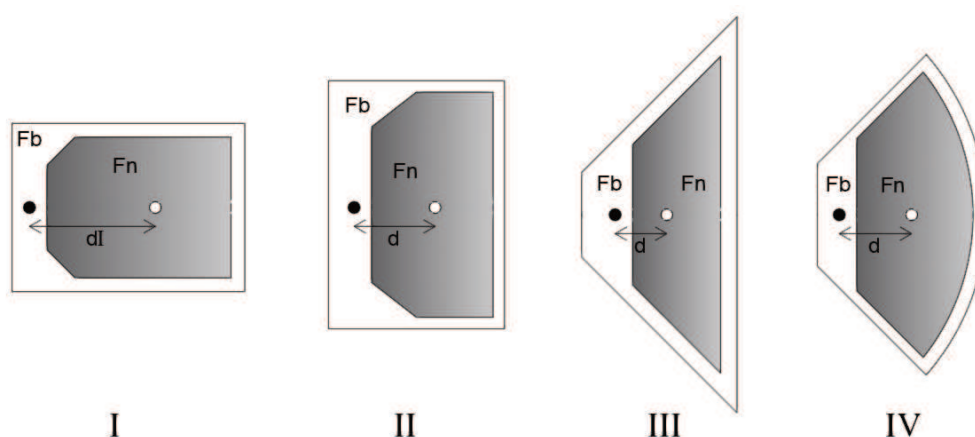
Figura 22 – Tipos de planta baixa encontrados comumente em auditórios.



Fonte: Brandão (2016, p. 608). Adaptada pelo autor.

De acordo com Brandão (2016), uma sala indicada à fala, sem o uso de apoio eletroacústico, deve ter um volume máximo de 3000 m<sup>3</sup> e considerar a razão da distância entre fonte e receptor, apresentado em alguns arranjos na Figura 23 e, valores mínimos na Tabela 2. Como ângulo máximo de inclusão da plateia, é recomendado 125°, exemplificado na Figura 24, estes ângulos são utilizados como parâmetros de projeto no que tange a boa visibilidade do palco. Considerando os fatores relacionados ao campo visual e à acústica, torna-se interessante inclinar o piso, para isso a Figura 24 mostra o esquema utilizado para definir a relação entre a plateia e o palco.

Figura 23 – Forma de distribuição de plateia em um auditório.



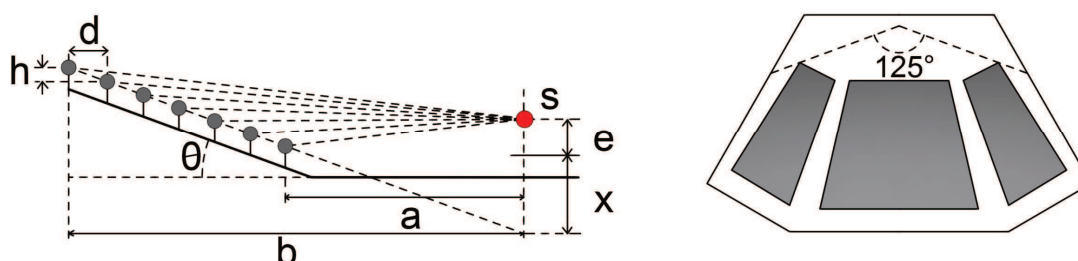
Fonte: Brandão (2016, p. 561). Adaptado pelo autor.

Tabela 2 – Formas de distribuição de plateia em um auditório: área ocupada e distância média relativa.

	I	II	III	IV
$F_n/F_b$	0,63	0,55	0,64	0,67
$d/dI$	1,00	0,83	0,78	0,79

Fonte: Brandão (2016, p. 561). Adaptada pelo autor.

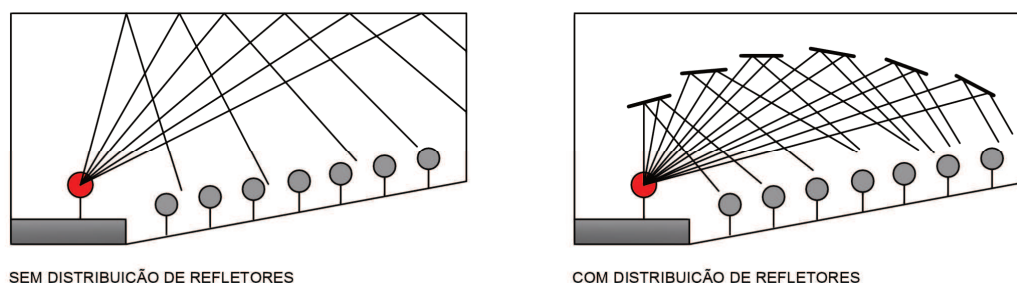
Figura 24 – Inclinação de piso e máximo ângulo de inclusão devido a aspectos visuais e acústicos.



Fonte: Brandão (2016, p. 562).

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, como mostrado na Figura 25 (BRANDÃO, 2016).

Figura 25 – Teto em auditórios com grande altura.



Fonte: Brandão (2016, p. 563).

De Marco (2002) esclarece que, ao se projetar um auditório, é importante considerar os prováveis defeitos influenciadores na acústica, como, por exemplo, o eco. Barron (2009) esclarece que eco é a percepção da repetição inteligível do som e não deve ser confundido com a reverberação, que é a percepção ininteligível do som. Kuttruff (2009) e Carvalho (2010) complementam expondo que os ecos em salas, são geralmente mascarados pela reverberação geral da sala, mas, se a distância percorrida entre o emissor e o primeiro obstáculo for excessiva, pode ocorrer o eco. De Marco (2002), coloca ainda que, além de ecos, o projetista deve considerar que o uso de paredes côncavas não é adequado devido à focalização do som.

Beranek (2004) explica que um dos pontos principais de uma sala destinada a palavra ou a música, é o *feedback* do quanto de energia deve retornar ao palco. Assim, alguns especialistas acústicos são favoráveis ao uso de atenuadores ajustáveis. Para controle da reflexão que retorna ao palco, estes atenuadores ficam ao fundo da sala. Em alguns casos, são propostas inclinações na parte dos fundos da sala do piso principal. Neste caso, é aconselhável o uso de material fono-absorvente na parte dos fundos. Outra solução seria o uso de absorvedores atrás de uma tela removível, a qual facilitaria a adição, ou a subtração de material.

O palco, em determinados casos, tem seu projeto concebido como uma caixa ressoante, estendendo-se por toda a dimensão da sala. Com esta geometria, pode-se projetar o som para a área da plateia. Em outros casos, são projetados no centro do espaço, como, por exemplo, o da Filarmônica de Paris (Figura 26). Neste caso, refletores posicionados no teto e nas paredes tendem a direcionar o som até a plateia. Uma sala considerada como adequada à música, tem um número médio de 1850 assentos destinados à plateia, com limites entre 1700 a 2600, sendo que, plateias com mais de 2600 lugares, diminuem drasticamente as chances de possuir uma acústica de boa qualidade (BRANDÃO, 2016).

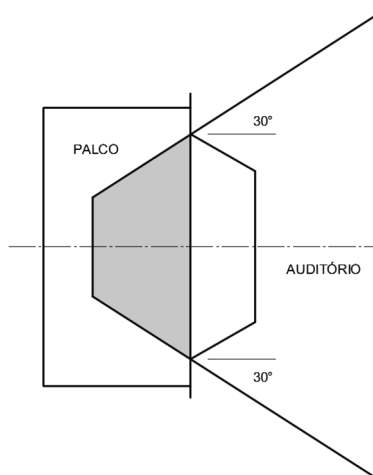
Figura 26 - Sala de concertos da Orquestra Filarmônica de Paris, França.



Fonte: Figeiras Group (201?).

Barron (2009) coloca que entre todos os tipos de auditório, o mais restrito em termos de design é o destinado à ópera, inicialmente, porque a orquestra necessita ver o maestro. Desta maneira, é fundamental considerar o proscênio de modo que a orquestra se coloque em um fosso entre a plateia e o palco. Outra restrição, em termos de design, se dá quando a linha de visão na planta é determinada em, no máximo,  $30^\circ$ , conforme ilustra a Figura 27. Assim, como nos casos de salas destinadas a fala, nas salas para música, é imprescindível considerar a distância entre a fonte e o receptor, pois, nesta tipologia de sala, a capacidade de público também influencia diretamente no volume do espaço.

Figura 27 – O efeito do ângulo de visão.



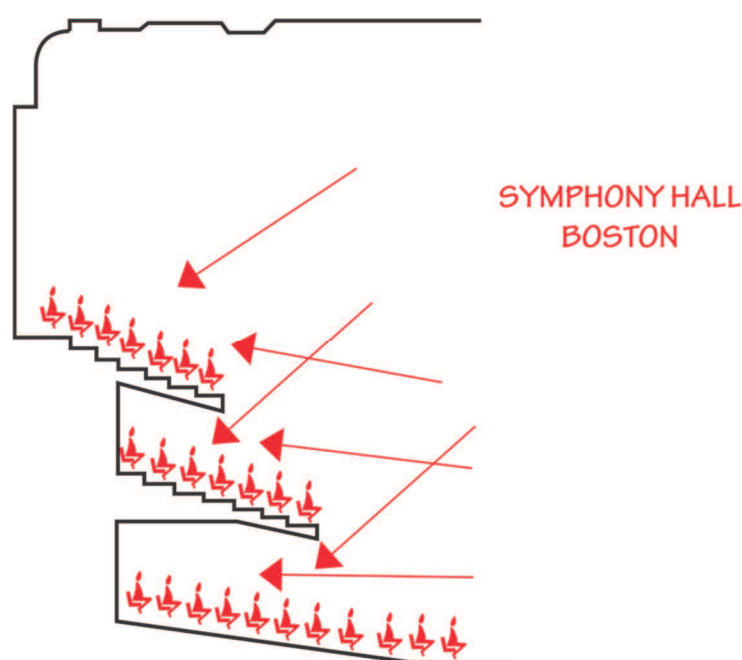
Fonte: Barron (2009, p.335). Adaptada pelo autor.



Um meio de trabalhar bem a relação capacidade e distância da fonte e receptor é fazendo uso de mezaninos que, segundo Beranek (2004), são bem aceitos e podem ser projetados como um único elemento, ou distribuídos em pequenos mezaninos. Entretanto, é importante saber que, independente do modelo escolhido, os ouvintes postos sob os mezaninos profundos, não serão contemplados com o som refletido, do mesmo modo, se a altura da saliência for demasiada baixa.

Neste caso, Brandão (2016), sugere que as galerias abaixo dos mezaninos tenham uma profundidade reduzida e, que a altura da abertura seja suficiente para lidar com o problema. Beranek (2004) apresenta em seu livro alguns arranjos considerados ideais para esta situação, um deles é que a saliência envolva entre uma e duas fileiras de assentos. Na Figura 28 é apresentado o modelo de Boston, considerado como satisfatório, demonstrando que o mezanino recebe bem as reflexões.

Figura 28 – Symphony Hall – Boston.

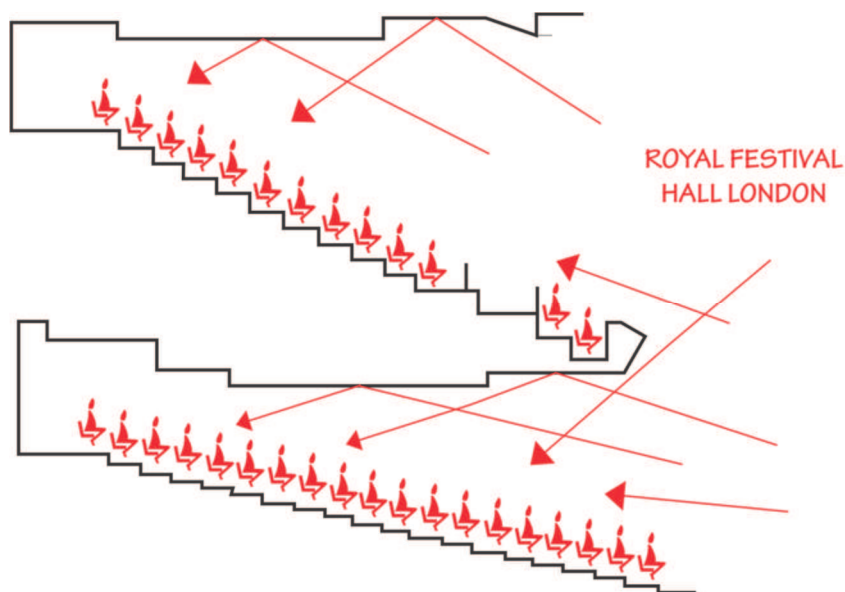


Fonte: Beranek (2004, p. 546).

A Figura 29, segundo Beranek (2004), apresenta um modelo insatisfatório de mezanino. Quando se projeta uma sala destinada a concertos de orquestra, na qual será necessário o uso de mezaninos, é coerente fazer uso do princípio geral ilustrado na Figura 30, a qual mostra que as medidas de H não devem ultrapassar as

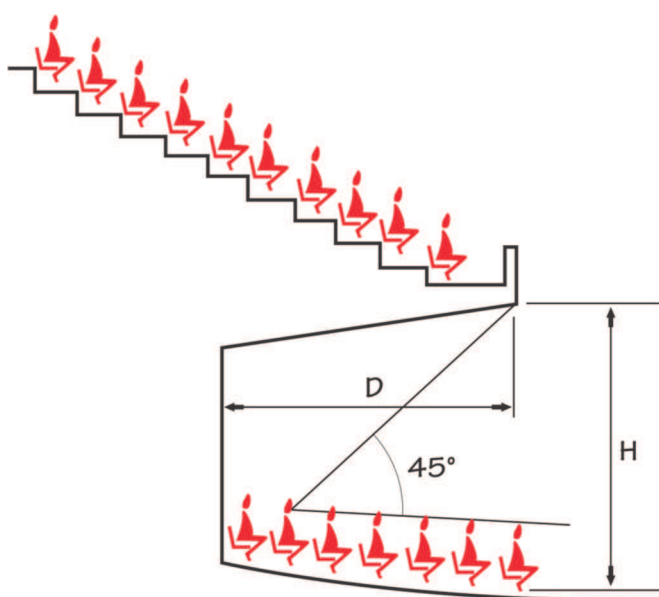
dimensões de  $D$ , restringindo a abertura a um ângulo não inferior a  $45^\circ$ . O autor afirma que, com esta restrição dos  $45^\circ$ , o EDT diminui cerca de 10%, este valor é resultado de várias medições em salas. Além disso, os mezaninos devem ser moldados de forma a refletir o som para as pessoas sob ele.

Figura 29 – *Royal Festival Hall – London.*



Fonte: Beranek (2004, p. 547).

Figura 30 – Projeto recomendado para a construção de mezaninos em salas de concerto.



Fonte: Beranek (2004, p. 548).

### 2.3 SIMULAÇÃO ACÚSTICA COMPUTACIONAL

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. Outro método foi o uso do laser refletido em pequenos painéis de espelhos, com isso era possível identificar a propagação linear do som (Figura 31 e Figura 32).

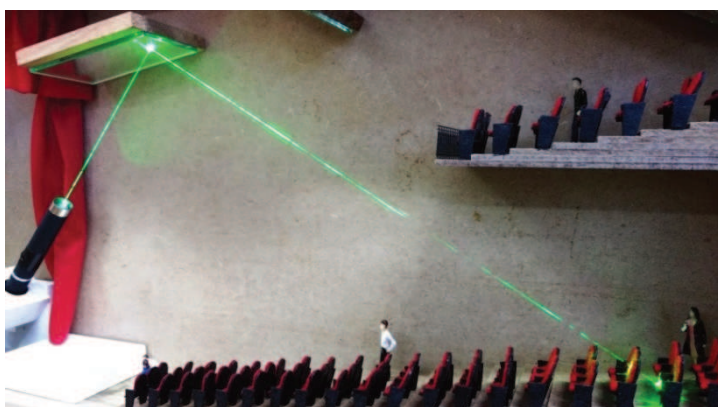
A utilização de artefatos óticos em estudos de acústica não são recentes. Knudsen, em 1947, já citava os métodos óticos para a investigação das reflexões sonoras com o apoio de maquetes. O autor descreve que Norris, em 1929, em uma universidade japonesa, representava a secção de uma sala e utilizava uma fonte luminosa para emitir feixes concentrados de luz. Na maquete, Norris utilizou espelhos para representar superfícies refletoras. O modelo apresentado na Figura 31 e Figura 32 exemplifica o uso da maquete proposta por Norris. A Figura 33 apresenta o resultado fotográfico de um estudo realizado na Universidade de Satow, com o projetista do Okuma Memorial Auditorium de Tóquio. Também se pode citar um estudo semelhante realizado no projeto da Igreja de Vuoksenniska, do arquiteto Alvar Aalto, em 1958 (FLEIG, 1994).

Figura 31 – Maquete de um modelo de auditório, similar ao utilizado por Norris em 1929.



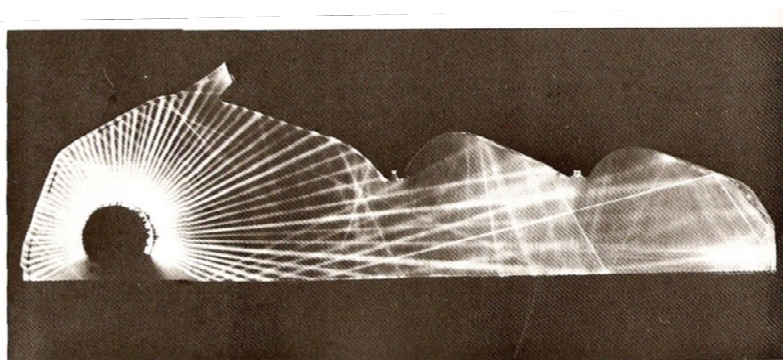
Fonte: Autor, 2016.

Figura 32 – Projeção do laser em material reflexivo, modelo similar ao utilizado por Norris em 1929.



Fonte: Autor, 2016.

Figura 33 – Estudo para a Igreja de Vuoksenniska de Alvar Aalto em 1958.



Fonte: Fleig, 1994.

Segundo Oliveira (2018), em 1993, os pesquisadores Pinnington e Nathanail, ressaltavam que a utilização de modelos físicos reduzidos não deve ser utilizada para estimar o tempo de reverberação, mas a capacidade de absorção das superfícies pode ser analisada qualitativamente. Os autores ressaltam que a principal vantagem do método é a exibição direta do direcionamento do som, que pode auxiliar nas fases iniciais do projeto de um auditório, com a possibilidade da rápida interpretação de alterações na geometria interna.

No entanto, a principal dificuldade estava em representar de maneira fiel os materiais fono-absorventes, outra dificuldade era a readequação do modelo quando necessário (BRANDÃO, 2016). Egan (1988) complementa informando outras limitações quanto ao uso da maquete, entre elas pode-se destacar a relação da escala comparada ao comprimento de determinadas ondas. Outra situação era a posição da fonte, pois uma fonte não tende a ficar fixa em um ponto.

Com o avanço tecnológico, conceitos de simulação e de auralização<sup>1</sup>, 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 de 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).

---

<sup>1</sup> Auralização é um termo utilizado para significar as técnicas que tornam um campo sonoro audível por modelagem física ou matemática da fonte sonora, do ambiente e do ouvinte. (FERNANDES JUNIOR; LOPES, 2005). Vorländer (2008) complementa que esta técnica é utilizada para criar arquivos de som audíveis dados numéricos (simulados, medidos, sintetizados).

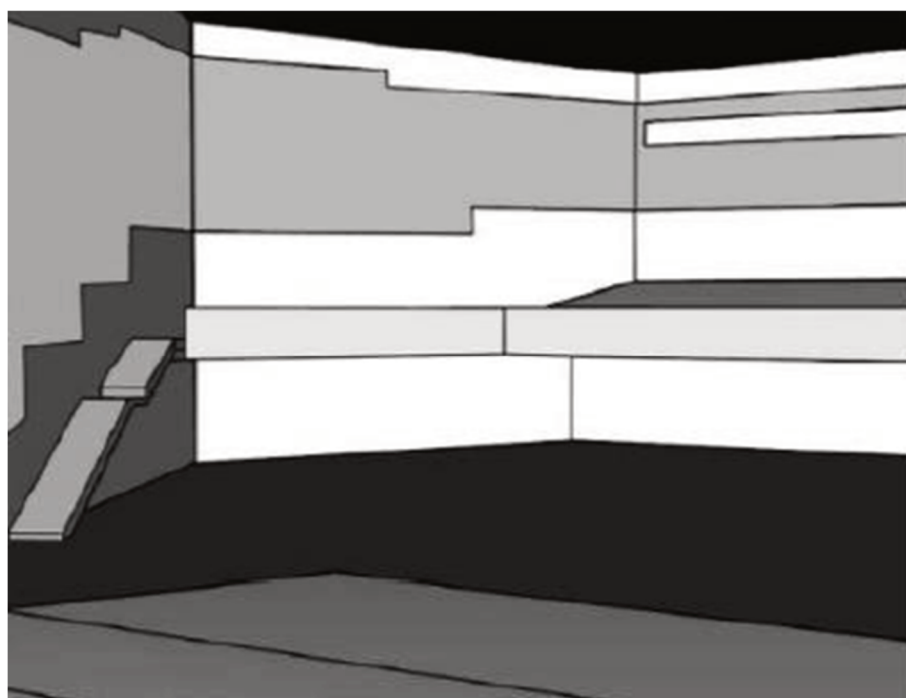
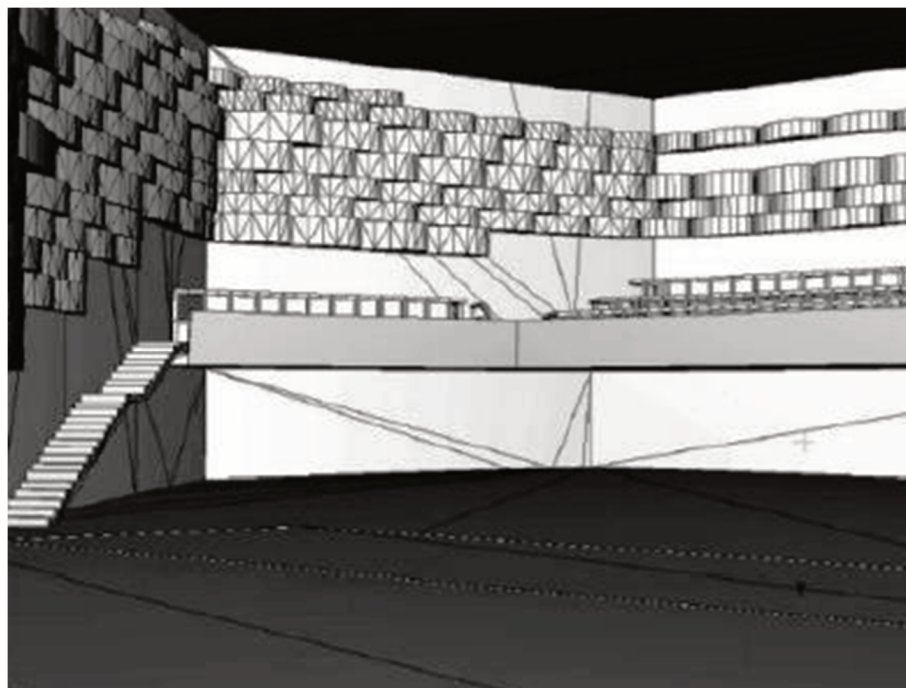
Segundo Brandão (2016), a posição da fonte é um dado importante, pois a cada posição é possível obter um resultado da resposta ao impulso fonte-sala-receptor. Outros aspectos importantes são a potência e a frequência. Na questão da direcionalidade, as fontes podem ser classificadas como direcionais ou omnidirecionais. Quanto aos receptores, o autor explica que há três tipos que podem ser utilizados em *softwares* de acústica: os pontuais, os planos e as cabeças receptoras. Assim como a fonte sonora, a posição dos receptores é importante, pois também influenciará na resposta do impulso fonte-sala-receptor.

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 (Figura 34)

Figura 34 – Modelagem complexa (a) e modelagem simplificada (b).

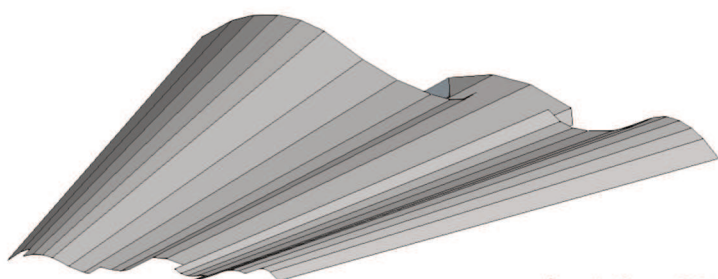
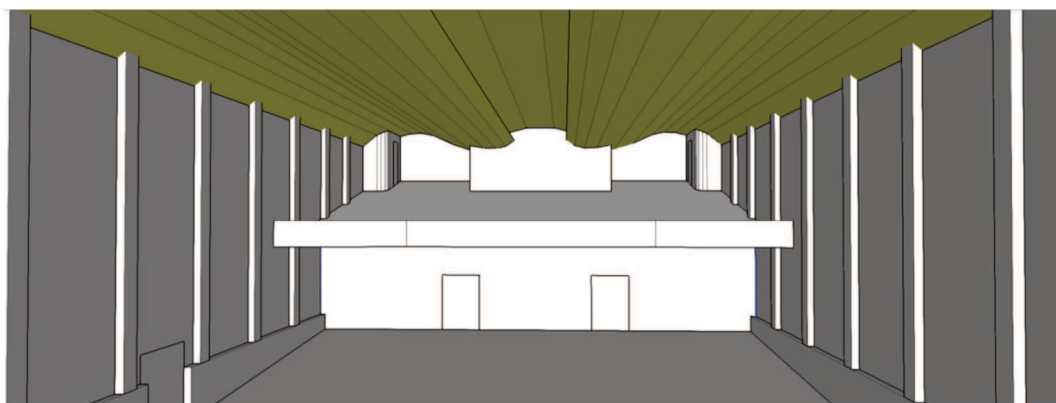


Fonte: Vorländer (2008 p. 178 e 179).

### 3 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 considerando a sala ocupada, uma das modelagens com a geometria original do forro (Figura 35) e a outra modelagem com uma nova proposta para a geometria do forro (Figura 36).

Figura 35 – Geometria do forro original.

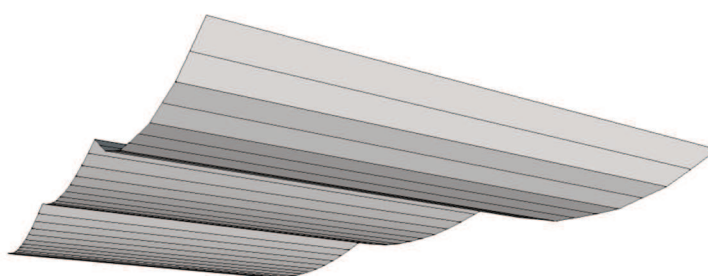
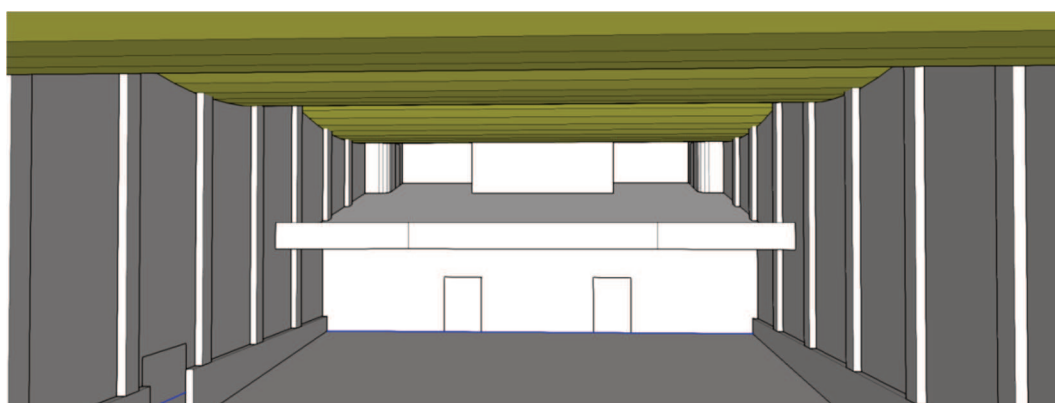


Área do forro: 699 m<sup>2</sup>

Fonte: Autor, 2019.



Figura 36 – Geometria proposta.

Área do forro: 682 m<sup>2</sup>

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 definição D50 e inelegibilidade STI, 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*. Estas animações podem ser acessadas pelo link [https://drive.google.com/drive/folders/14x4egTo4\\_a7OHOFIGZ1b\\_Rhc-](https://drive.google.com/drive/folders/14x4egTo4_a7OHOFIGZ1b_Rhc-)

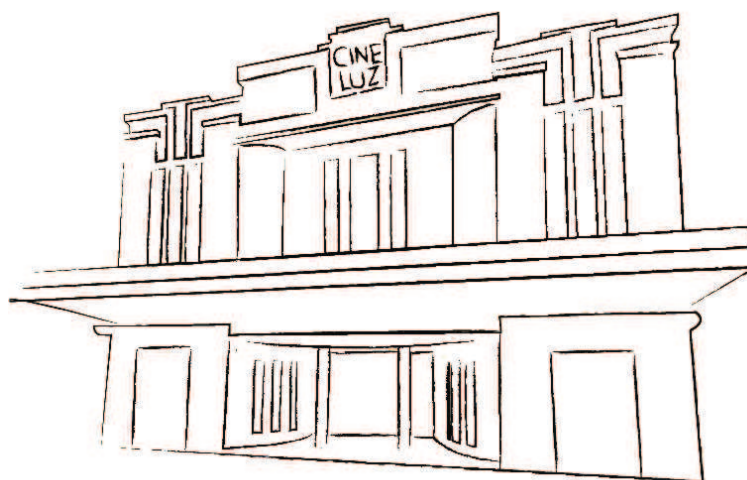
FDB1MTI?usp=sharing. No link de acesso é possível verificar as simulações que consideram todos os planos do Cine Teatro Luz.

### 3.1 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 (Figura 37) 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).

Figura 37 – Croqui da fachada do Cine Teatro Luz.



Fonte: Autor, 2018.

Para que estes edifícios históricos deixem de ser ocupados por outras atividades, ou em outros casos, sejam removidos do contexto urbano, o Estado do Paraná iniciou um programa chamado “Velho Cinema Novo”, o qual tem por objetivo recuperar os cinemas do Estado, pois, assim como o retrato preserva a memória da família, os edifícios preservam a história da cidade e são referências importantes para a identidade de uma cidade (LERNER, 2011).

Apreciado por este programa, o Cine Luz teve seu edifício reformado em 2002, mantendo em boa parte suas características originais. Sob o significado arquitetônico e, considerando o expressivo significado cultural que o mesmo possui para a cidade, ele teve seu processo de tombamento aceito e registrado junto ao Estado, em 2003 (SECRETARIA DO ESTADO DA CULTURA, 2003).

Amparado pela lei estadual 1.211/53, o edifício histórico Cine Teatro Luz foi inscrito no processo de tombamento em 2001 e foi reconhecido com valor histórico para tombamento após ser restaurado, adequando-se às exigências estaduais em 2002. Em 2003, é reconhecido pelo Estado o valor arquitetônico do edifício como um espaço cultural de grande importância para a cidade de União da Vitória – PR. Com este processo, o Cine Teatro Luz entra no tão estimado rol de bens protegidos e valorizados do Paraná (SECRETARIA DO ESTADO DA CULTURA, 2003).

O Edifício Cine Teatro Luz está localizado na Rua Carlos Cavalcante, nº 120, na área central da cidade de União da Vitória (Figura 39). Sua fachada e a própria distribuição do volume possuem tendências da plasticidade *déco* (Figura 38). Em ambos os lados da entrada principal, o Cine tem duas pequenas salas comerciais. A porta central em sua forma original possuía grade e porta de enrolar, o que demonstra a preocupação do período moderno com o isolamento e a delimitação do espaço interno frente ao espaço externo (SCHREINER, 2013).

Figura 38 – Imagem do estado atual da fachada do Cine Teatro Luz.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 39 – Imagem da inserção do Cine Teatro Luz no perímetro urbano de União da Vitória.



Fonte: Google Maps, 2018. Adaptada pelo autor.

A Figura 39 mostra, em amarelo, a inserção do Cine Teatro Luz no perímetro urbano da cidade de União da Vitória; indica, em vermelho, a linha férrea que separa os Estados do Paraná e de Santa Catarina; em azul, a localização da antiga estação ferroviária (patrimônio tombado); em magenta, o terminal urbano, em laranja, a prefeitura da cidade de União da Vitória e, em branco a Praça da Catedral.

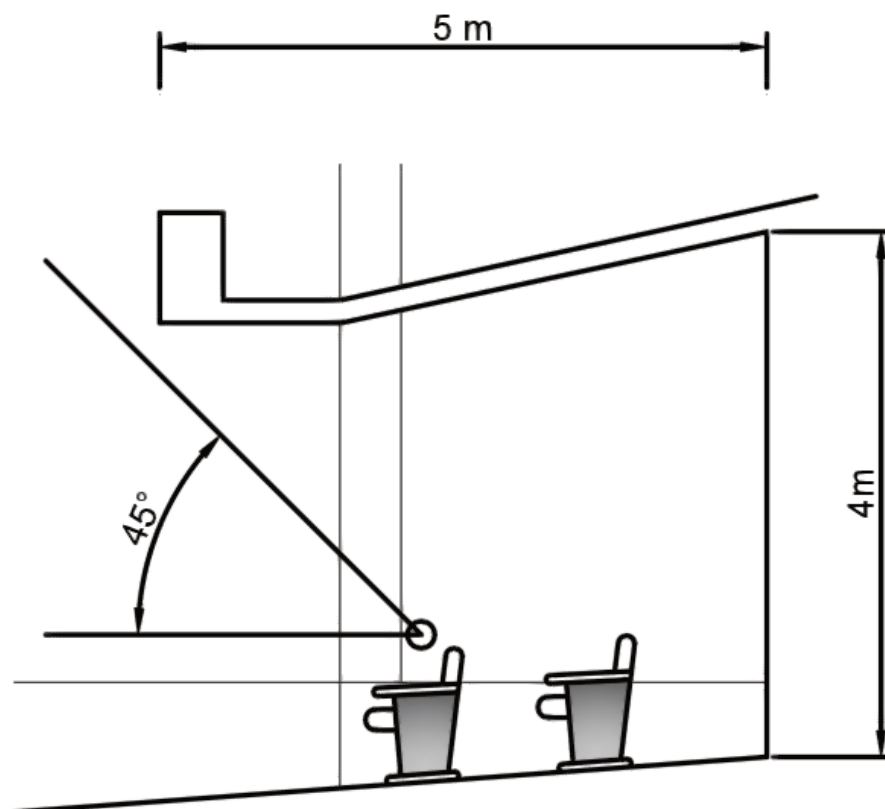
O edifício Cine Teatro Luz tem um espaço interno que segue as tendências da plasticidade *déco*, suas paredes são paralelas entre si, com colunas aparentes e com aparados em alvenaria entre as colunas, o que pode influenciar a acústica do espaço. As curvas do forro que seguem o eixo longitudinal mostram-se incomuns para salas destinadas à acústica. O material utilizado na construção do 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 possui duas aberturas vedadas com portas de madeira e, sua composição é de alvenaria rebocada, levemente rugosa e com acabamento de tinta, assim como, as paredes ao fundo da parte superior (mezanino).

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 (boca de cena), a qual conta com duas pequenas salas em suas extremidades, construída em gesso cartonado estruturado em metal. 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 (mezanino) 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. O espaço abaixo do mezanino atende às recomendações mínimas, descritas na secção 2.2.4 (Figura 40).

Figura 40 – Desenho esquemático do ângulo do espaço abaixo do mezanino.



Fonte: Autor, 2019.

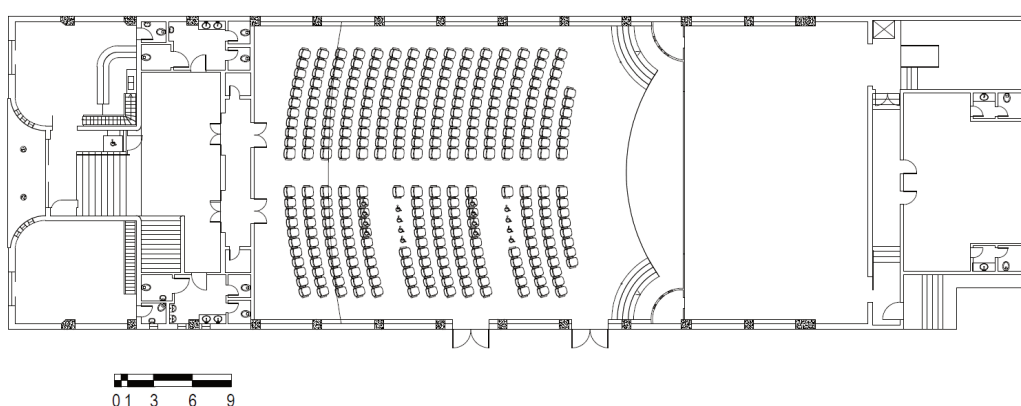
## 3.2 SIMULAÇÃO ACÚSTICA COMPUTACIONAL DO CINE TEATRO LUZ

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.

### 3.2.1 Geometria tridimensional

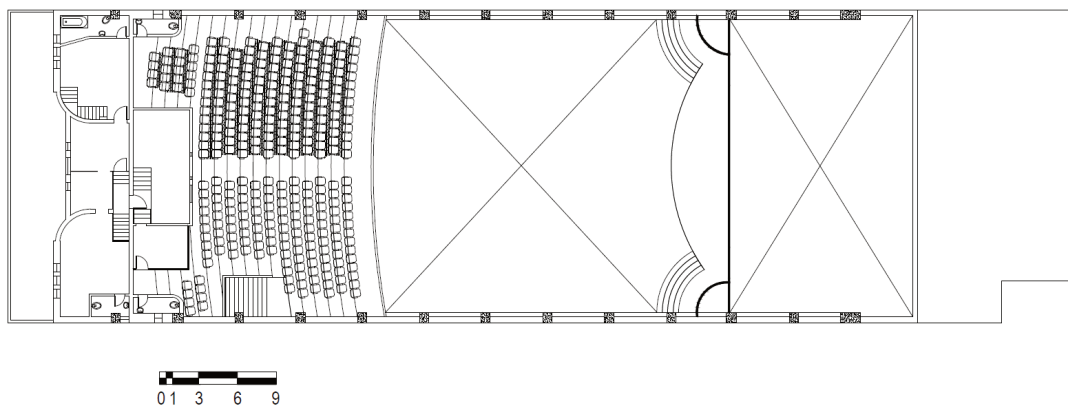
Inicialmente foi realizada uma busca por informações sobre os projetos do Cine Teatro Luz. Como se trata de um edifício antigo, com mais de 50 anos e, que ao longo dos anos sofreu alterações, ao considerar esta condição, buscou-se uma versão atualizada do projeto junto ao Escritório Modelo do curso de Arquitetura e Urbanismo do Centro Universitário de União da Vitória – UNIUV. As Figuras 41 a 44 mostram os desenhos técnicos desse levantamento. A atualização do modelo foi desenvolvida ao longo de dois anos, baseado nas medições realizadas no local e, com o auxílio do software *AutoCAD* da *Autodesk*. Em meados de novembro de 2018, a Secretaria que responde pelo Patrimônio cultural do Paraná, aprovou os projetos, validando o levantamento métrico feito pelo Escritório Modelo.

Figura 41 – Planta baixa da sala principal do Cine Teatro Luz, atualizada em 2017.



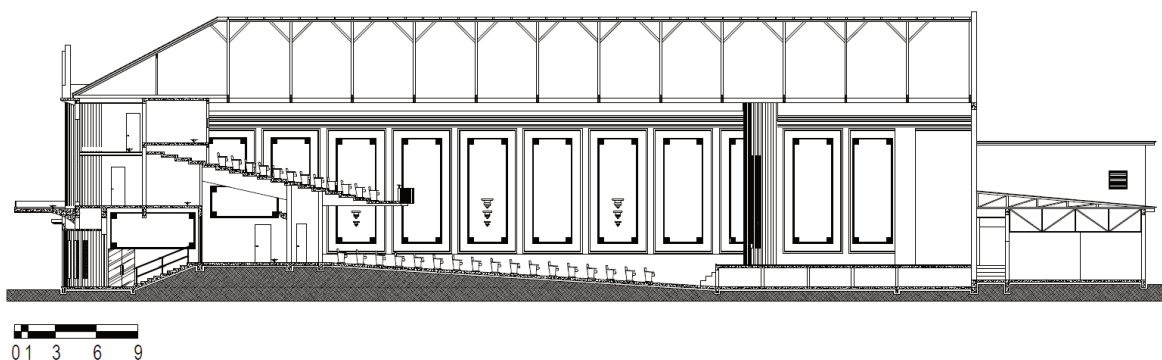
Fonte: Construtora de José Isfer. Adaptado pela UNIUV, 2017.

Figura 42 - Planta baixa do mezanino do Cine Teatro Luz, atualizada em 2017.



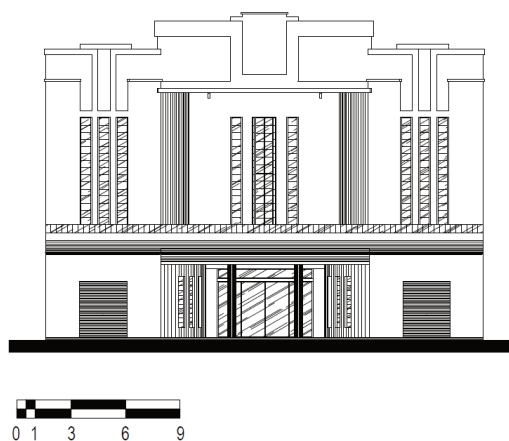
Fonte: Construtora de José Isfer. Adaptado pela UNIUV, 2017.

Figura 43 – Corte longitudinal do Cine Teatro Luz, atualizado em 2017.



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

Figura 44 – Fachada do Cine Teatro Luz, atualizada 2017.



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 3 - Características construtivas relevantes à simulação acústica

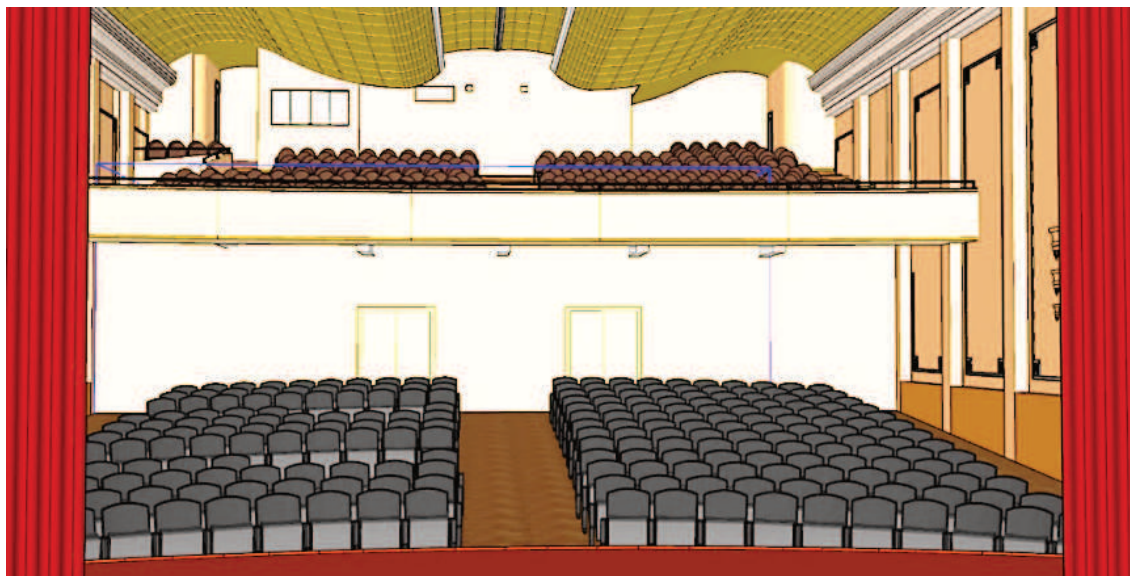
Características construtivas do Cine Teatro Luz	Valores
Volume da sala acústica com o forro original	5.500,00 m <sup>3</sup>
Volume da sala acústica com o forro proposto	5.600,00 m <sup>3</sup>
Área da plateia mezanino	200,71 m <sup>2</sup>
Área da plateia na sala principal	315,82 m <sup>2</sup>
Área 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*, foi possível desenvolver a geometria tridimensional do Cine Teatro Luz, utilizando informações e as dimensões reais do edifício, baseado no levantamento métrico (Figura 45, Figura 46 e Figura 47). Durante o desenvolvimento, foram analisados e considerados apenas 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.

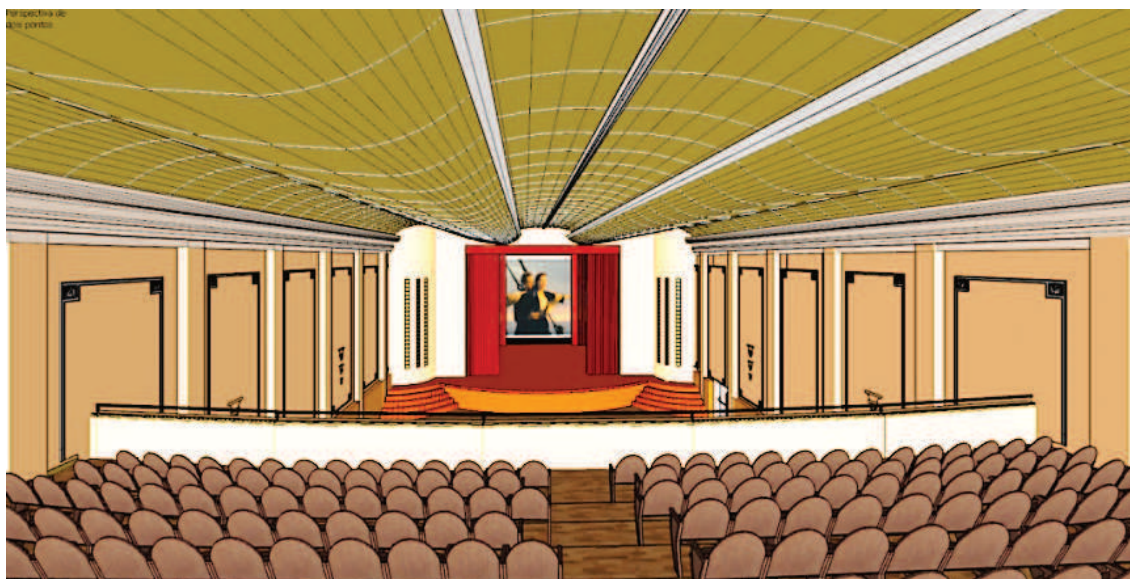
Figura 45 – Imagem da geometria tridimensional que mostra a vista do palco para o balcão do Cine Teatro Luz.





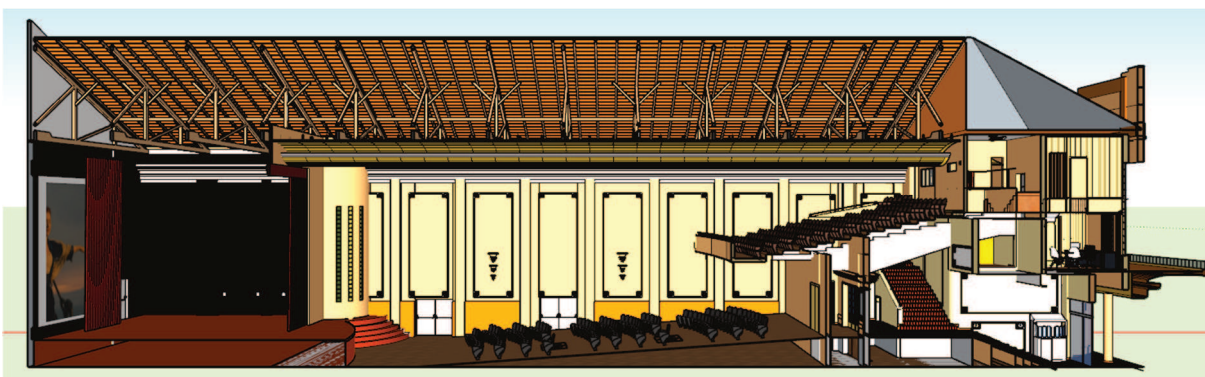
Fonte: UNIUV, 2017.

Figura 46 – Imagem da geometria tridimensional que mostra a vista do balcão para o palco do Cine Teatro Luz.



Fonte: UNIUV, 2017.

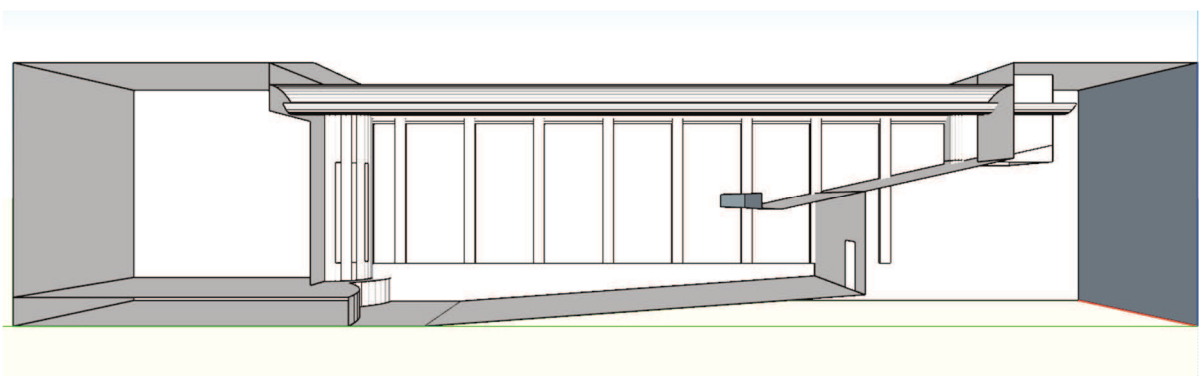
Figura 47 – Cine Teatro Luz - Corte longitudinal esquemático da geometria tridimensional completa.



Fonte: Uniuv, 2017.

Para iniciar o estudo e obter um modelo com informações relevantes à simulação acústica, a geometria tridimensional passou por um processo de priorização de planos, ou seja, foram definidos e redesenhados apenas os planos com dimensões de relevância acústica, com dimensões mínimas de 0,5 m, isto considerando que, segundo Vorländer (2008), dimensões abaixo dos 0,5 m são utilizadas para estudar uma faixa de frequência, como por exemplo, superfícies com aproximadamente 0,05 m influenciarão em faixas em torno de 7kHz. Deste modo, considerando que as simulações acústicas das modelagens ocorreram nas bandas de oitava, superfícies com dimensões menores que 0,5 m não foram consideradas no modelo como se pode observar na Figura 48.

Figura 48 – Cine Teatro Luz. Corte esquemático da geometria tridimensional simplificada utilizada na simulação.



Fonte: Uniuv, 2017. Adaptada pelo autor.

### 3.2.2 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 49. As demais informações sobre a modelagem são apresentadas no apêndice A. Esta organização e nomenclatura facilitam a localização de cada plano, o que auxilia o processo de readequação e alteração do modelo, quando necessário. 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 é aberto o visualizador *PL9Viewer-COLORED.PL9*, que possibilita verificar a área dos planos e o volume da sala, bem como visualizar a posição das fontes e dos receptores (Figura 50).

Figura 49 – Exemplo de coordenadas cartesianas e planos construídos utilizando os vértices locados pela coordenada.

```

;palco vidro
[ 1201 / 1201 1202 1203 1204 / vidro]
[ 1202 / 1205 1206 1207 1208 / vidro]
[ 1203 / 1209 1210 1211 1212 / vidro]
[ 1204 / 1213 1214 1215 1216 / vidro]
[ 1205 / 1217 1218 1219 1220 / vidro]
[ 1206 / 1221 1222 1223 1224 / vidro]

;piso plateia
[ 1301 / 1301 1302 1303 1304 / taco]

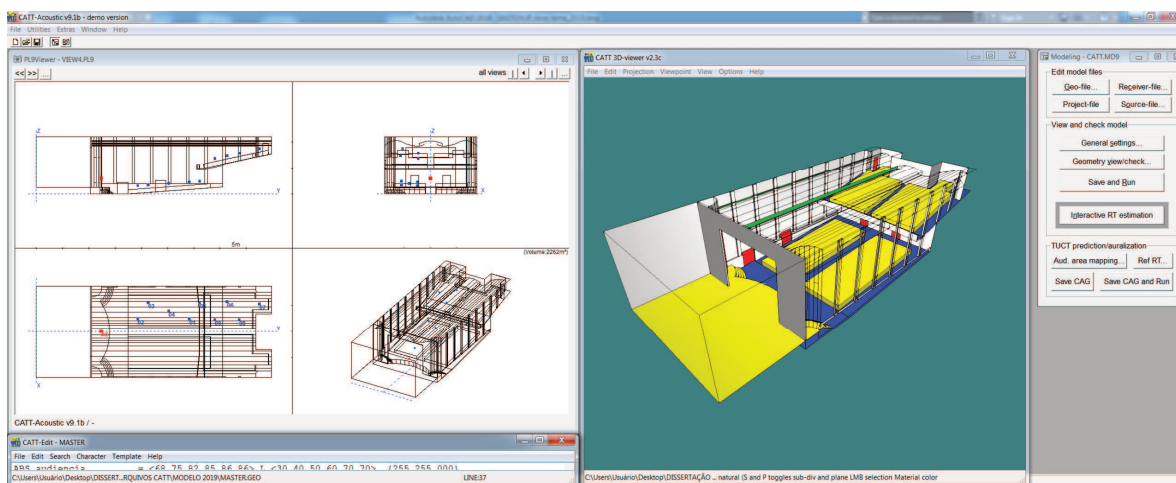
;piso mezanino
[ 1401 / 1401 1402 1403 1404 1405 1406 / taco]
[ 1402 / 1406 1405 1407 1408 1409 1410 1411 1412 / taco]

;mezanino guarda corpo
[ 1501 / 1501 1502 1503 1504 / argamassa]
[ 1502 / 1505 1506 1507 1508 1509 1503 1502 1510 / argamassa]
[ 1503 / 1511 1512 1506 1505 / argamassa]
[ 1504 / 1510 1502 1501 1513 / argamassa]
[ 1505 / 1503 1509 1514 1504 / argamassa]
[ 1506 / 1506 1512 1515 1507 / argamassa]
[ 1507 / 1515 1516 1508 1507 / argamassa]

```

Fonte: Autor, 2018.

Figura 50 – Modelagem no *CATT-Acoustic*, na esquerda o *PL9Viewer*, na direita o *CATT 3D* e na extrema direita o *Modeling*.



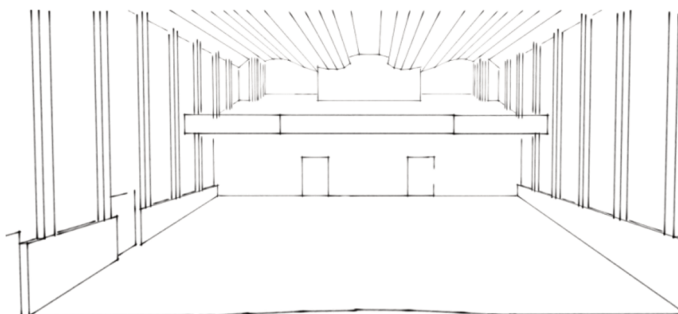
Fonte: Autor, 2019.

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 (Figura 51), geometria pouco convencional em se tratando do espalhamento da energia sonora, conforme apresentado na seção 2.2.2. A segunda modelagem do forro trata-se de uma proposta, e tem seus planos definidos no eixo transversal, considerando o método geométrico e/ou trigonometria simples, na escolha do ângulo de inclinação do refletor de teto (Figura 52). 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. A inclinação de cada painel é baseada no método geométrico e/ou trigonometria simples, apresentada na Figura 53.

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. Deste 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, como mostra a Figura 54. 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

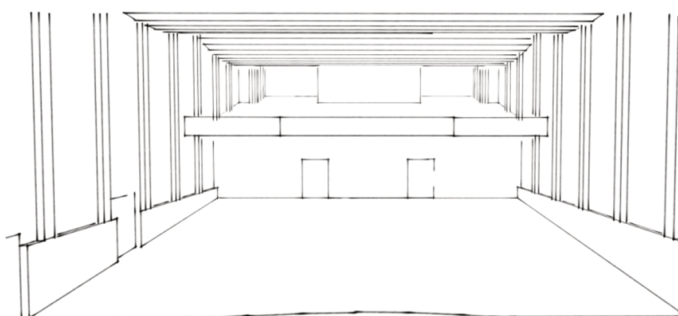
uma velocidade de 340 m/s, em condições normais, é possível calcular que o comprimento de uma onda na faixa de 500 Hz é de 0,68 m, aproximadamente, cada painel proposto influencia na reflexão das ondas sonoras para esta banda.

Figura 51 – Forro original, planos no sentido longitudinal.



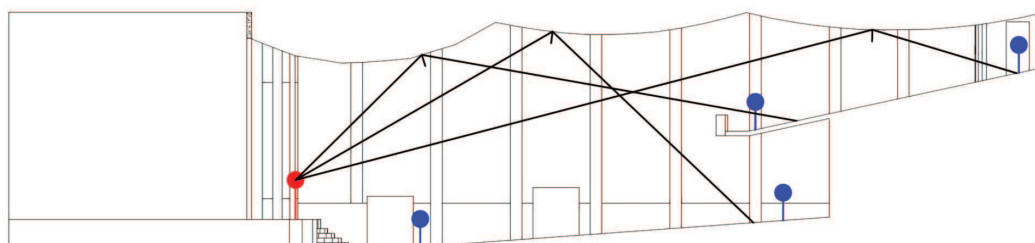
Fonte: Autor, 2019.

Figura 52 – Forro proposto, planos no sentido transversal.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 53 – Forro proposto, com painéis inclinados conforme o método geométrico.



Fonte: Autor, 2019.

### 3.2.3 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. Mesmo sendo um edifício com mais de 50 anos, muito da tecnologia e a aplicação de alguns materiais se equiparam aos utilizados nos dias atuais. Assim, estes materiais são apresentados na Tabela 4, conforme coeficientes de absorção ( $\alpha$ ) e coeficiente de espalhamento ( $s$ ). Entretanto, apenas os coeficientes de absorção são facilmente encontrados em livros e trabalhos publicados, desse modo, para 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 4 - Resumo dos materiais utilizados na sala do Cine Teatro Luz.

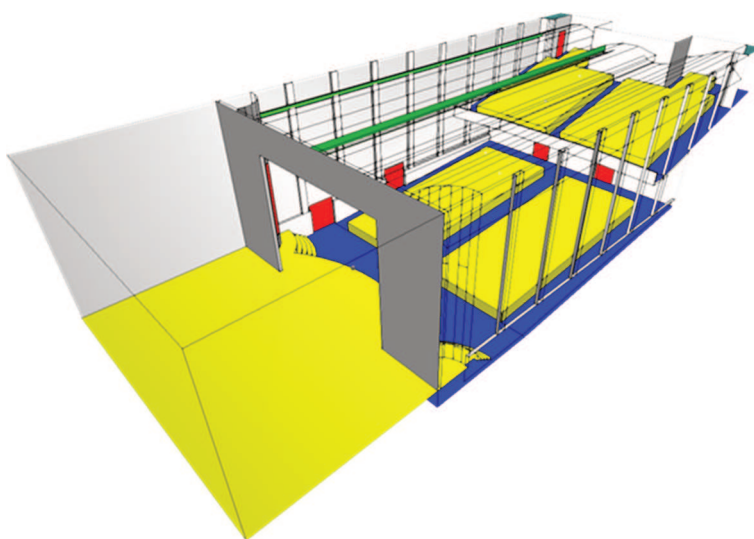
Elementos	Materiais	Coef.	Bandas de oitava 125 Hz - 4 kHz	Fonte
Audiência ocupada	Estofado médio ocupado	( $\alpha$ )	0,56 – 0,68 – 0,79 – 0,83 – 0,86 – 0,86	Henrique (2014)
		( $s$ )	0,30 – 0,40 – 0,50 – 0,60 – 0,70 – 0,70	CATT-Acoustic (2017)
Cortinas	Cortina de tecido leve	( $\alpha$ )	0,07 – 0,31 – 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 54 apresenta a modelagem feita no *CATT-Acoustic*, com os planos definidos conforme coeficientes de absorção ( $\alpha$ ), apresentados na Tabela 4.

Figura 54 – 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, obtidos em câmaras reverberantes.

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

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 4.

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.

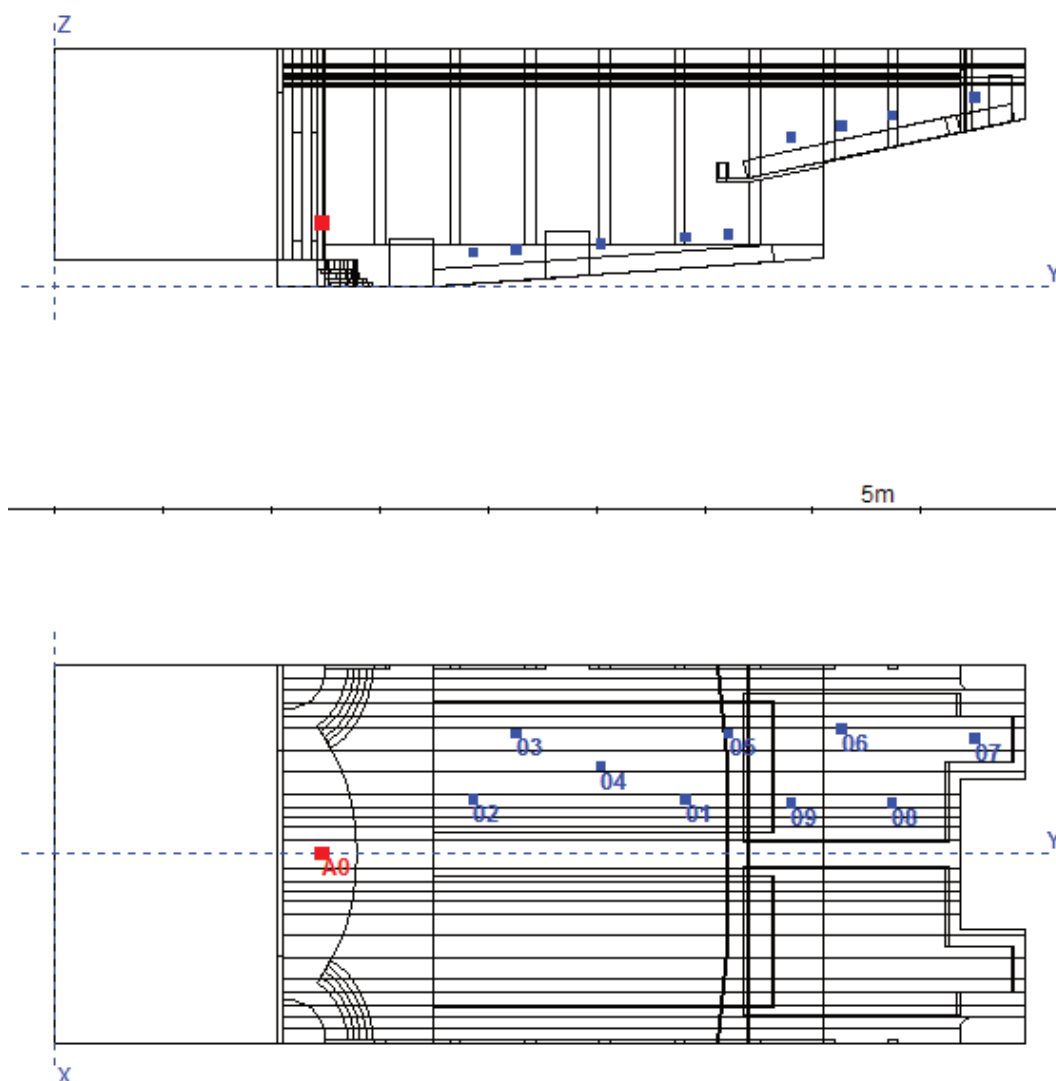
### 3.2.4 Fonte e receptores

Considerando que o Cine Teatro Luz, ainda que utilizado para a musicalidade, o principal uso é destinado a palestras e eventos que envolvem a fala. Por este motivo, a posição da fonte foi definida como A0 e 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 posição da fonte baseia-se na orientação de arranjo “I”, apresentada por Brandão (2016) na Figura 24, que prioriza a distância entre fonte e ouvinte, e também é indicada por Rodrigues (2007) como uma posição habitual de localização.

A altura dos receptores é de 1,20 m, que considera a altura do ouvido humano de uma pessoa adulta sentada. Segundo Rodrigues (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>, o que, segundo Brandão (2016), é maior que o indicado para um orador falar sem suporte eletroacústico e, observando que a versão *demo* do *software* permite o uso de 9 posições para receptores, 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 55).



Figura 55 – Posição da fonte e dos receptores.



Fonte: Autor, 2018.

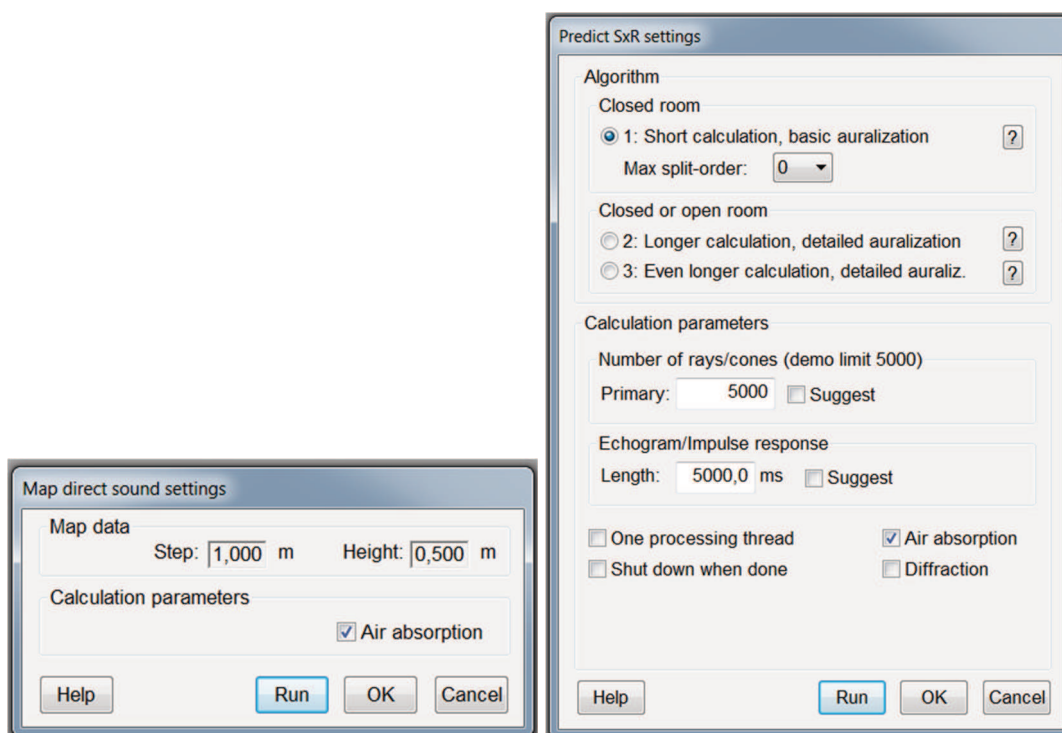
### 3.2.5 Dados de entrada e de saída

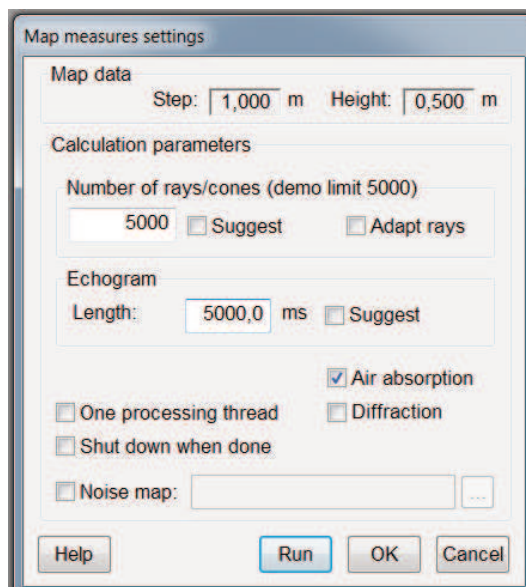
Como a simulação é rodada em uma versão *demo* do *software*, os dados de entrada são limitados (Figura 56), tais como o número de fontes e de receptores, além de ter a malha definida em planos de 1 x 1 metro. Desse modo, os dados de saída podem ser utilizados para fins de simulação acústica em estudos científicos. 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*” (configuração do mapa de som direto), com valor de *Step* 1m e *Height* 0,5m, ou seja, as dimensões e a altura da malha utilizada nos parâmetros D50, C80 STI. O “*Predict SxR settings*” (prever as configurações de SxR) e o “*Map measures settings*” (mapear as configurações de média) 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. 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.

Figura 56 – Dados de entradas para rodar a simulação acústica no software.





Fonte: Autor, 2019.

Considerando as limitações impostas pela versão *Demo* do *software*, os critérios de saída, para fins de análise, são os já apresentados: TR, EDT, D50, C80 e STI. Desse modo, espera-se que os resultados de TR e EDT, quando comparados entre as modelagens com o forro original e o forro proposto, apresentem valores melhores na modelagem com o forro proposto. Do mesmo modo, a expectativa é que a distribuição dos valores resultantes da simulação apresentados na modelagem do forro proposto, sejam melhores nos parâmetros definição D50, claridade C80 e inteligibilidade STI, comprovando assim, que a alteração no sentido do forro foi assertiva.

## 4 RESULTADOS E ANÁLISE

Os resultados apresentados neste capítulo são valores obtidos por meio da simulação computacional do Cine Teatro Luz no software *CATT-Acoustic v9.1b – demo version*, com valores pré-estabelecidos pelo *software*. Primeiramente, 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 em tabelas e gráficos. Posteriormente, é definida 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, baixas (125 e 250 Hz), médias (500 e 1000 Hz) e altas (2 e 4 kHz), estes valores médios foram comparados aos valores apresentados na seção 2.2.3. Na sequência, são apresentados os mapas para D50, C80 e STI, os quais têm seus valores analisados e comparados, inicialmente, entre eles e, posteriormente, com os valores apresentados na seção 2.3.3.

### 4.1 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 5 – TR, por banda de oitava da modelagem.

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, são apresentadas a média entre 125 e 250 Hz, 500 Hz e 1 kHz e a média entre 2 kHz e 4 kHz. Estas médias são sugeridas pela norma ISO 3382 (2009). Sendo que, 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.

Com os resultados apresentados na Tabela 6, é possível compará-los a Tabela 7, que indica os valores adequados referenciais, porém, para compará-los é necessário considerar apenas a média obtida entre as bandas de 500 Hz e 1 kHz, pois, os valores apresentados na Tabela 7, são referentes a média entre estas duas frequências.

Deste modo, 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).

Considerando que a sala, em tempos atuais, destina-se ao uso múltiplo, pode-se enquadrá-la como sala de conferência e/ou cine, no gráfico da NBR 12.179 (ABNT, 1992). Assim, ao comparar 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, conforme mostra a Figura 57 (Vermelho forro original e azul forro proposto). Com isso, nota-se que, em ambas as modelagens, o TR não atinge o mínimo ideal apresentado na NBR 12.179 (ABNT, 1992). Porém, vale analisar que a NBR 12.179 (ABNT, 1992) baseia-se em normas europeias e, apresenta o gráfico baseado em dados apresentados que não condizem com a realidade nacional. 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 6 – Média do TR das modelagens nas baixas, médias e altas frequências.

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%

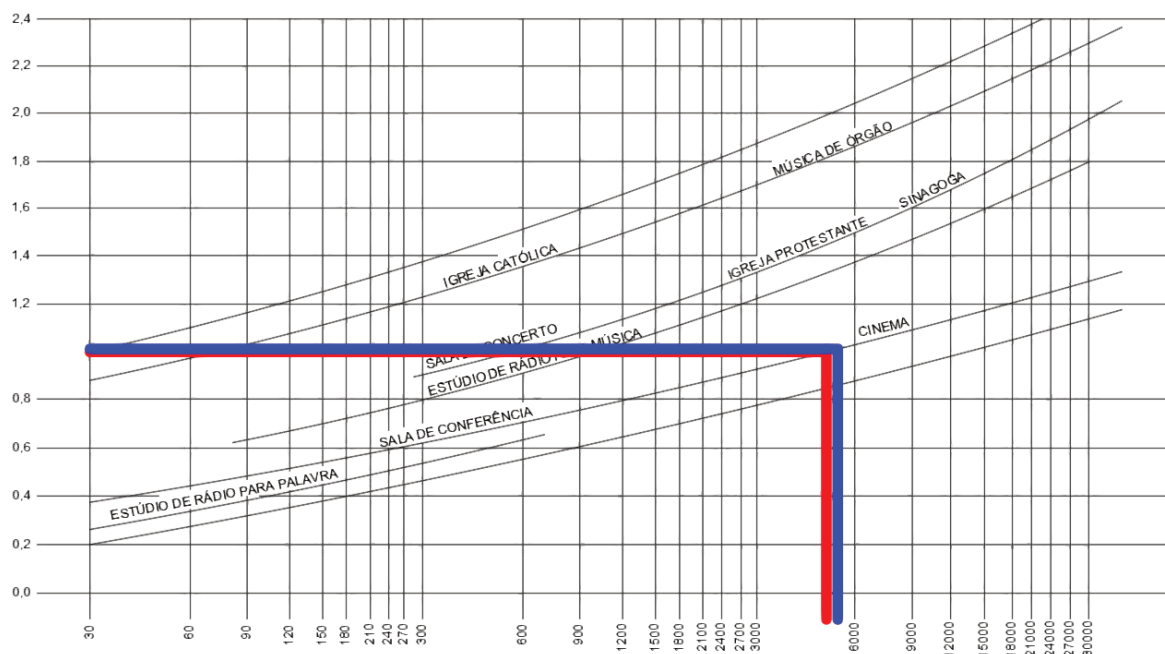
Fonte: Autor, 2019.

Tabela 7 – Valores adequados de TR, conforme uso da sala.

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

Fonte: González; Colnaghi; Nunes, 2017.

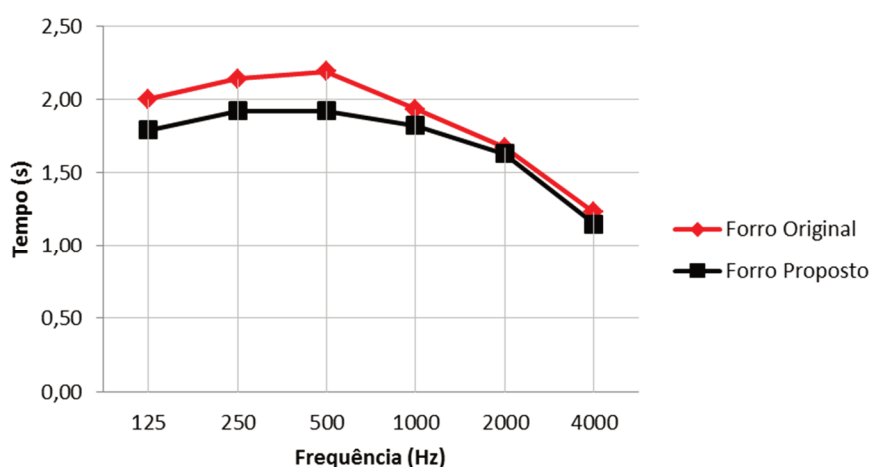
Figura 57 - Gráfico para definição do TR ideal pela NBR 12.179.



Fonte: NBR 12.179/1992.

No gráfico apresentado na Figura 58, 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.

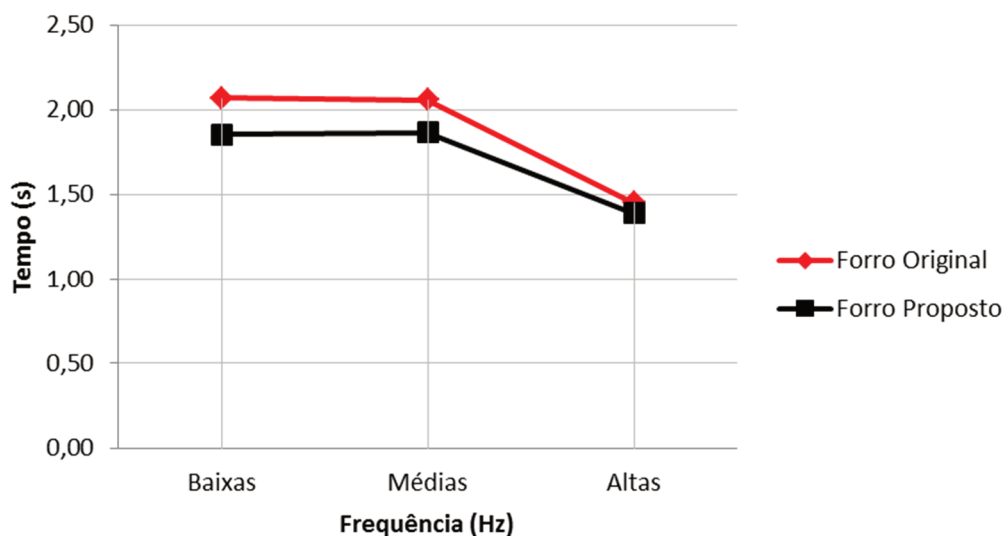
Figura 58 - TR por banda de oitava do forro original e forro proposto.



Fonte: Autor, 2019.

O gráfico da Figura 59 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, entre as bandas de 2 e 4 kHz (altas) para as duas modelagens. Neste gráfico, é possível observar que as diferenças apresentadas nas baixas e nas médias frequências são próximas e, a diferença de TR nas altas, é quase nula. Deste 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 59 – 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 8 - EDT, por banda de oitava da modelagem.

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 125 Hz e 250 Hz para as baixas frequências, 500 Hz e 1 kHz para as médias frequências e 2 kHz e 4 kHz para as altas frequências. Entretanto, a média aritmética usada é entre as bandas de 500 Hz e 1 kHz, assim, com este valor estabelecido, é possível compará-lo com os valores referenciais apresentados na Tabela 10, a qual mostra valores para a qualificação do EDT, segundo Beranek (2004) e, Barron (2010). 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 9 - Média do EDT conforme baixas, médias e altas frequências, para modelagem com forro original e forro proposto.

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.

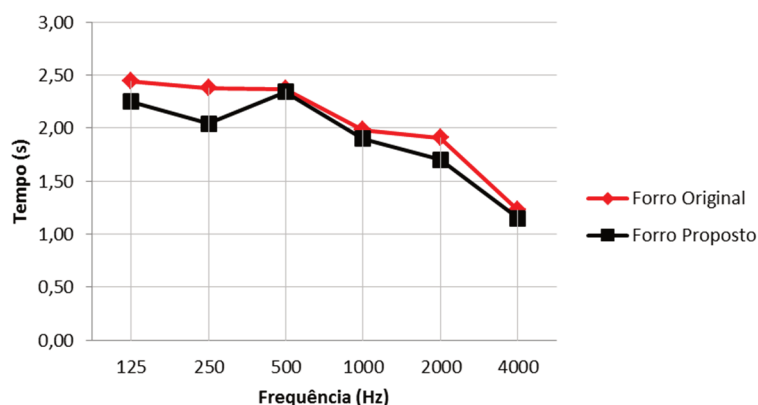
Tabela 10 – Valores para qualificação do EDT

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).

O gráfico da Figura 60 apresenta os valores do EDT das modelagens com forro original e forro proposto. No gráfico, é possível observar que a maior diferença está na banda de 250 Hz e, também, nas bandas de 125 Hz e 2 kHz. A redução mais acentuada na banda de 250 Hz pode estar relacionada ao dimensionamento dos painéis do forro proposto, isto porque a construção dos painéis considerou dimensões para bandas acima de 500 Hz, como descrito na seção 3.2.2. Deste modo, 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 nesta 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 eles como peça única.

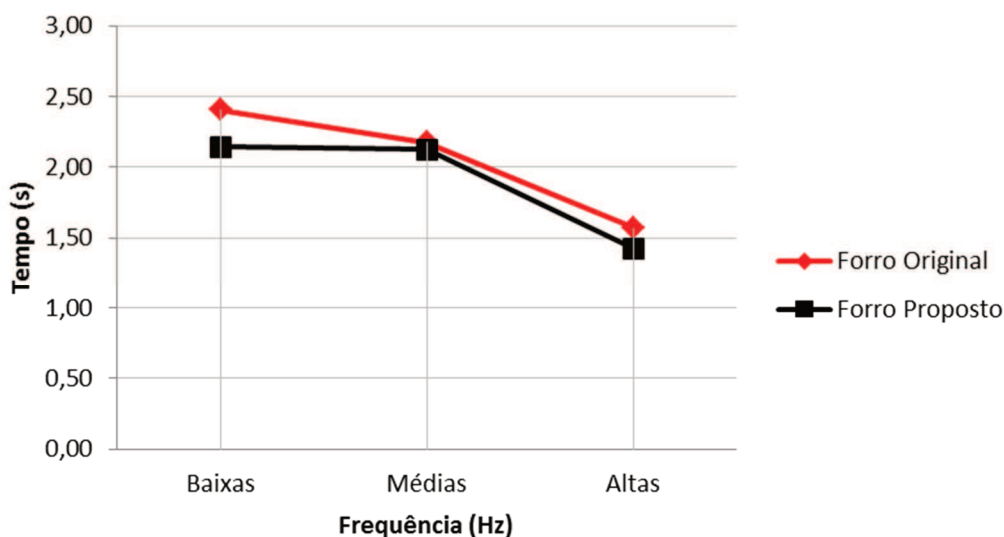
Figura 60 – EDT, por banda de oitava do forro original e forro proposto.



Fonte: Autor, 2019.

O gráfico da Figura 61 mostra os valores nas bandas de baixas (125 Hz e 250 Hz), médias (500 Hz e 1 kHz) e altas (2 kHz e 4 kHz). Neste gráfico, 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. Ao analisar o gráfico, é possível considerar que a modelagem com o forro proposto tem um decaimento inicial (EDT) mais rápido nas baixas.

Figura 61 – Média do EDT nas frequências baixas, médias e altas.

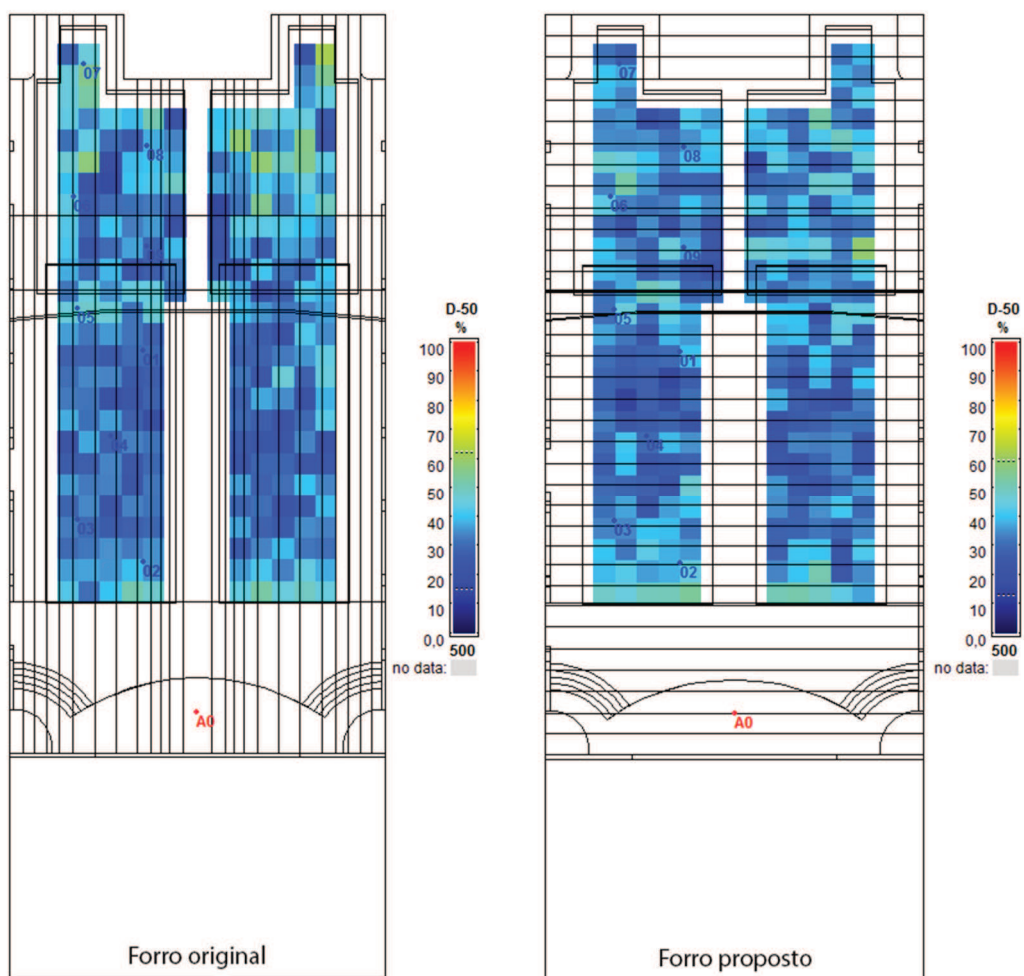


Fonte: Autor, 2019.

## 4.2 RESULTADOS E ANÁLISES COMPARATIVAS DO D50, C80 E STI

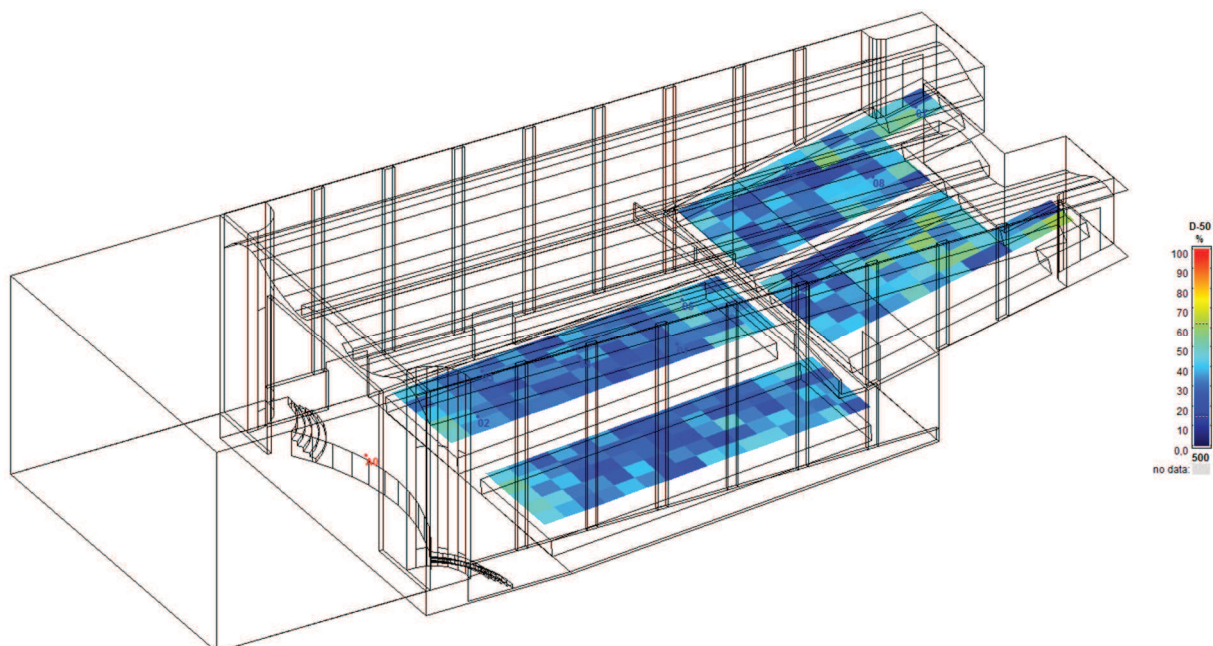
Da Figura 62 a 64 são mostrados os mapas do parâmetro D50 na frequência de 500 Hz para as modelagens com forro original (a) e forro proposto (b). No D50, os valores devem ser acima dos 50%, segundo Brandão (2010), porém, nas imagens é possível perceber que, na maior parte da sala, em ambas as modelagens os valores são abaixo de 50% de energia, chegando a baixos 15,3% na modelagem com forro original e a 15,8% na modelagem com o forro proposto. Ao analisar Figura 63, é possível perceber que, na modelagem com o forro original, os melhores valores se concentram no final do mezanino, com valores acima dos 60%, 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, com 59,6%, 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 62 – D50 das modelagens a 500 Hz.



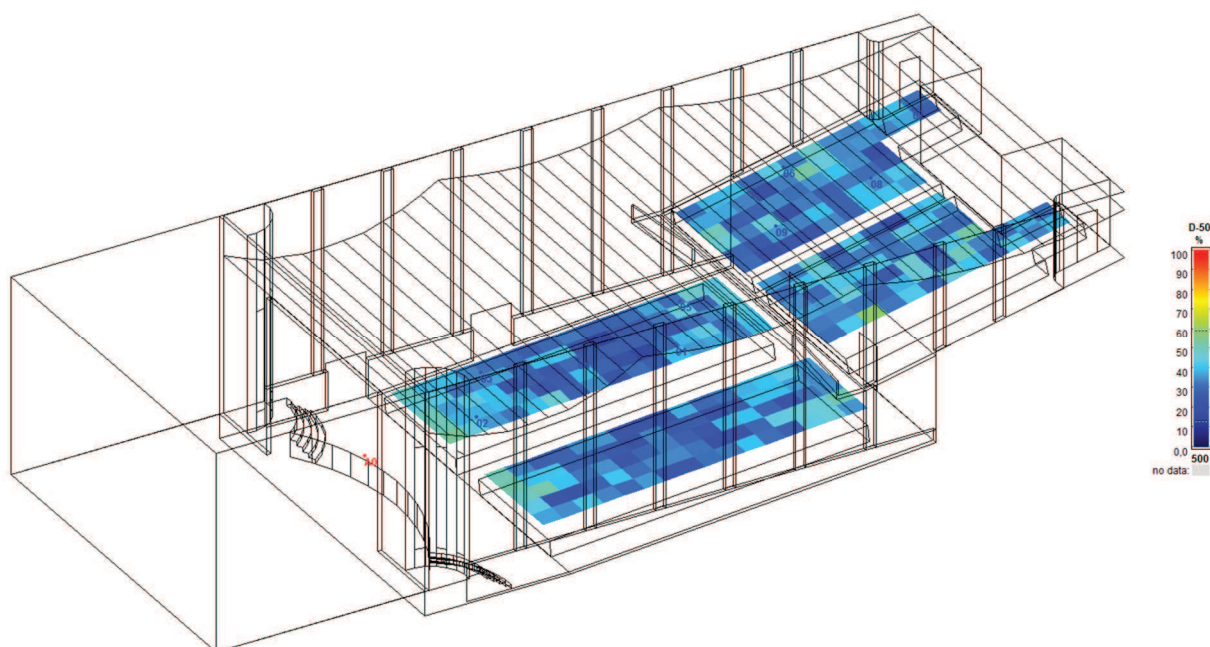
Fonte: Autor, 2019.

Figura 63 – D50 da modelagem com o forro original a 500 Hz.



Fonte: Autor, 2019.

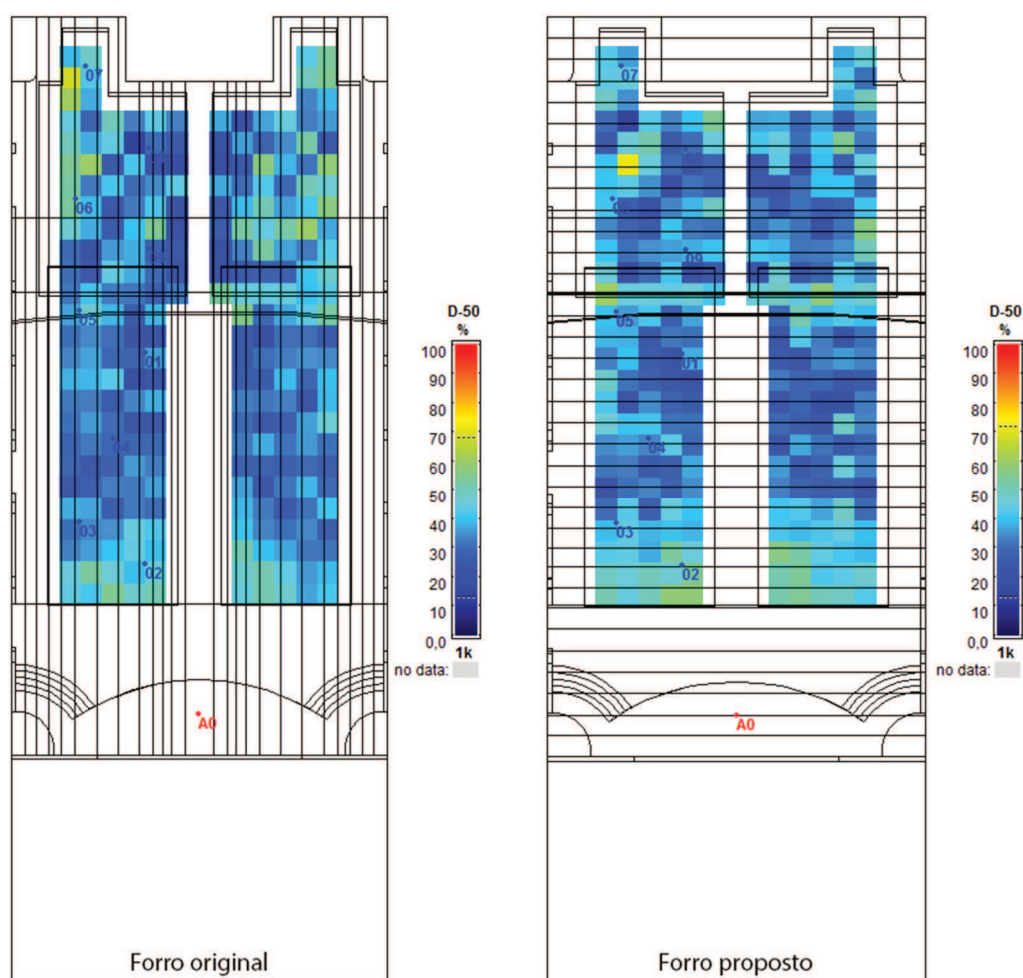
Figura 64 - D50 da modelagem com o forro proposto a 500 Hz.



Fonte: Autor, 2019.

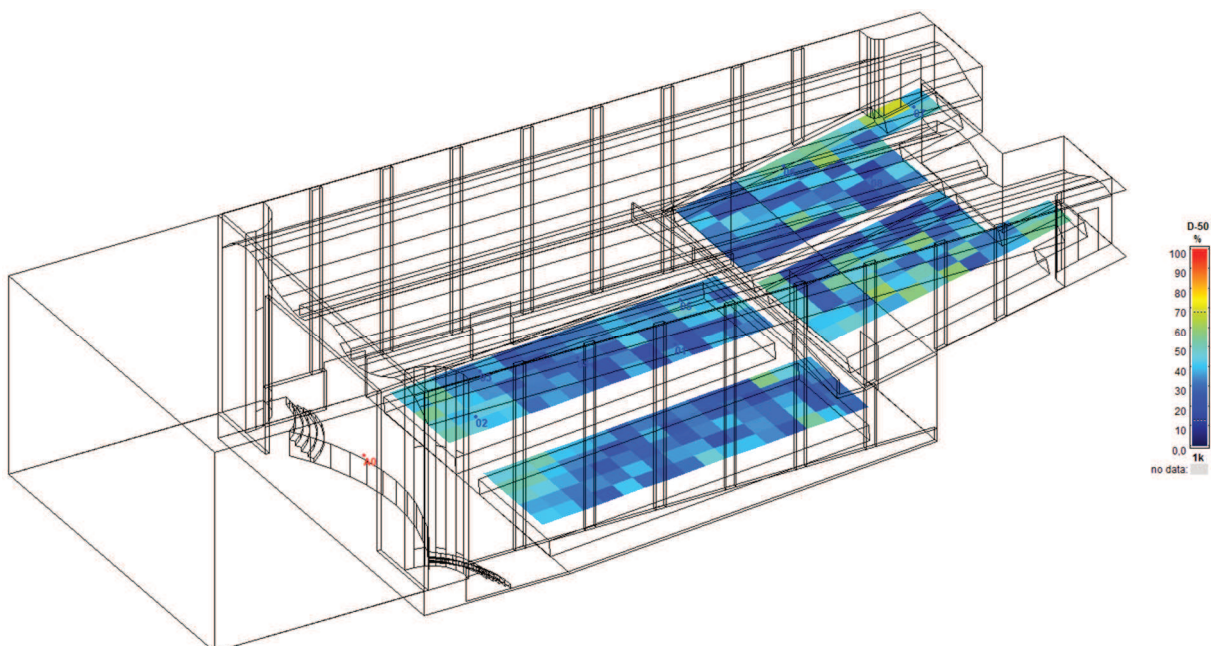
Da Figura 65 a 67, são apresentados os mapas do D50 na banda de 1 kHz. Assim como na banda de 500 Hz exposto anteriormente, a maior parte dos valores são inferiores a 50%. Nota-se que os valores favoráveis, na modelagem com o forro original, ainda se concentram ao final do mezanino, assim como, nos valores 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 65 – D50 das modelagens a 1000 Hz.



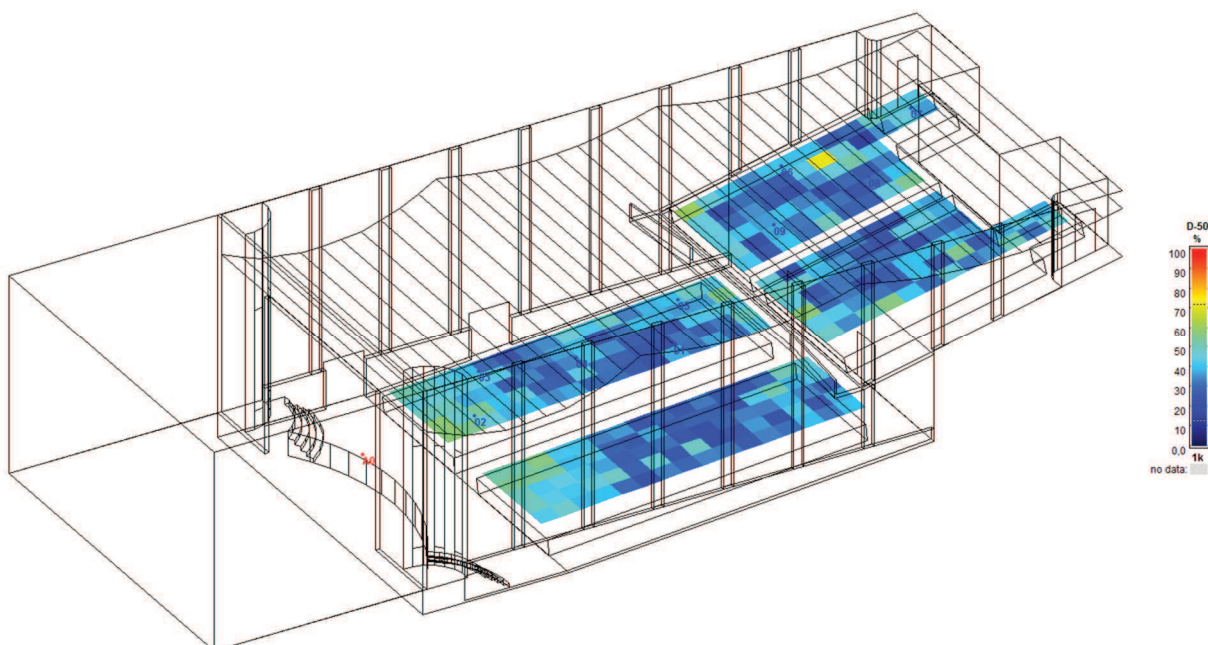
Fonte: Autor, 2019.

Figura 66 - D50 da modelagem com o forro original a 1000 Hz.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 67 - D50 da modelagem com o forro proposto a 1000 Hz.



Fonte: Autor, 2019.

Da Figura 68 a 70, 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 11. Ao comparar os valores apresentados na escala gráfica ao lado das Figuras 69, 70 e 71, com os valores da Tabela 11, é possível afirmar que, em ambas as modelagens, os valores não se enquadram plenamente aos valores apresentados por Beranek (2004) e Barron (2010). Isto porque, nas duas modelagens, grande parte dos valores está entre -5 e 5 dB. Contudo, 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.

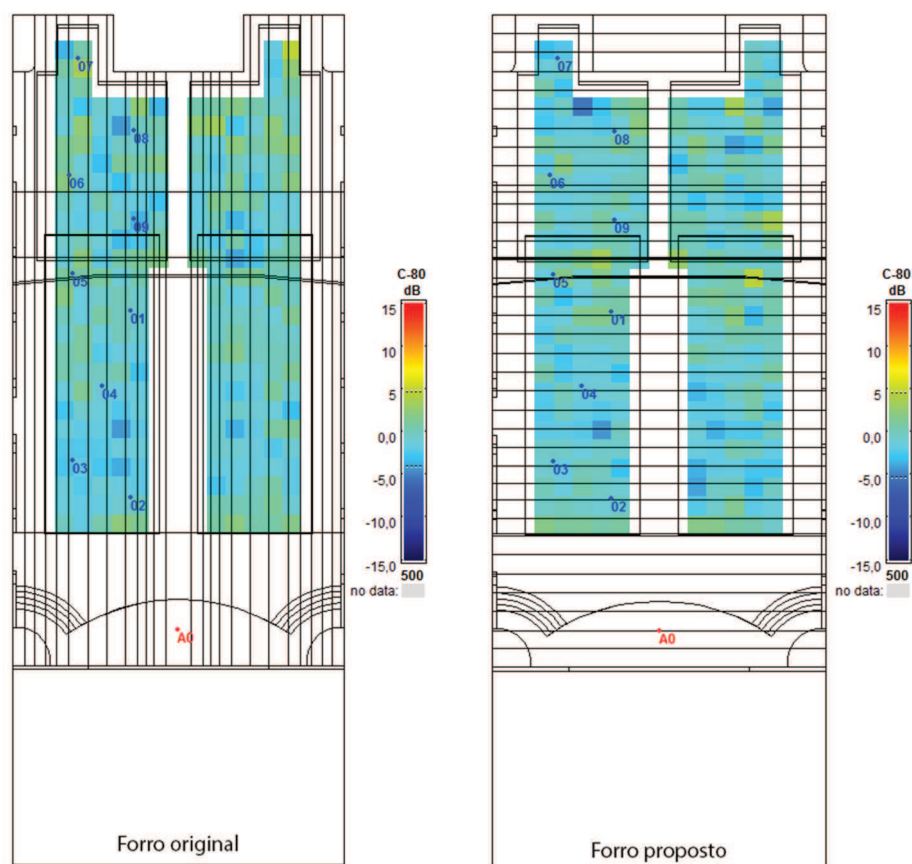
Tabela 11 - Referências para C80.

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).

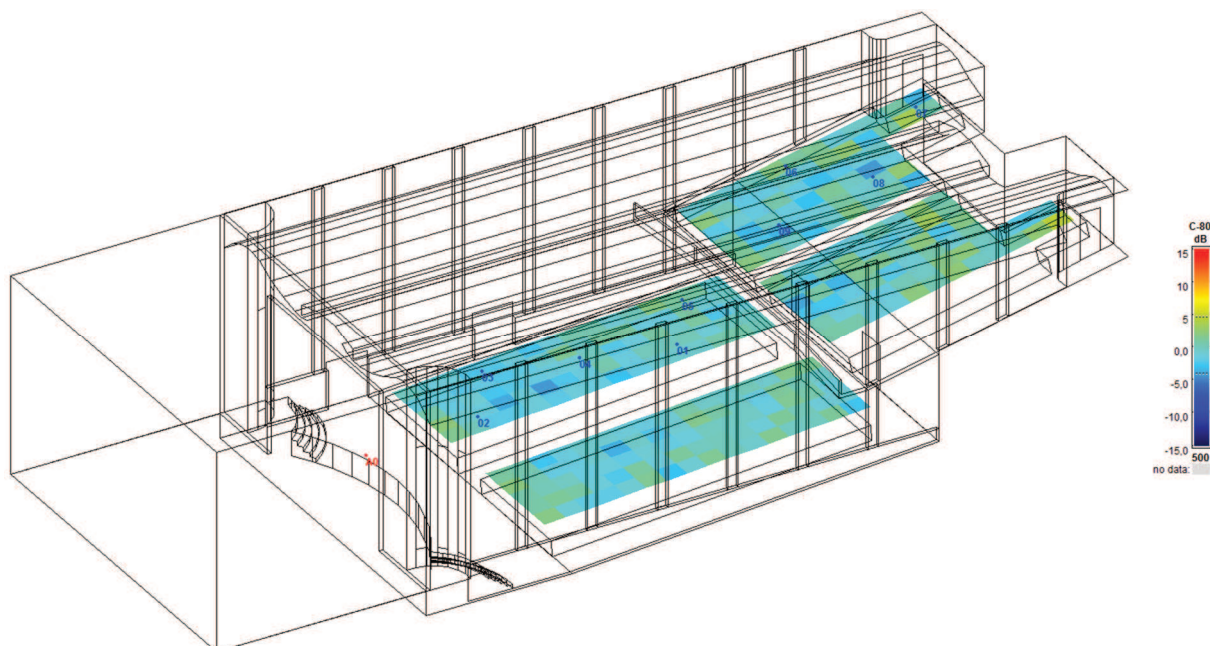


Figura 68 – C80 das modelagens a 500 Hz.



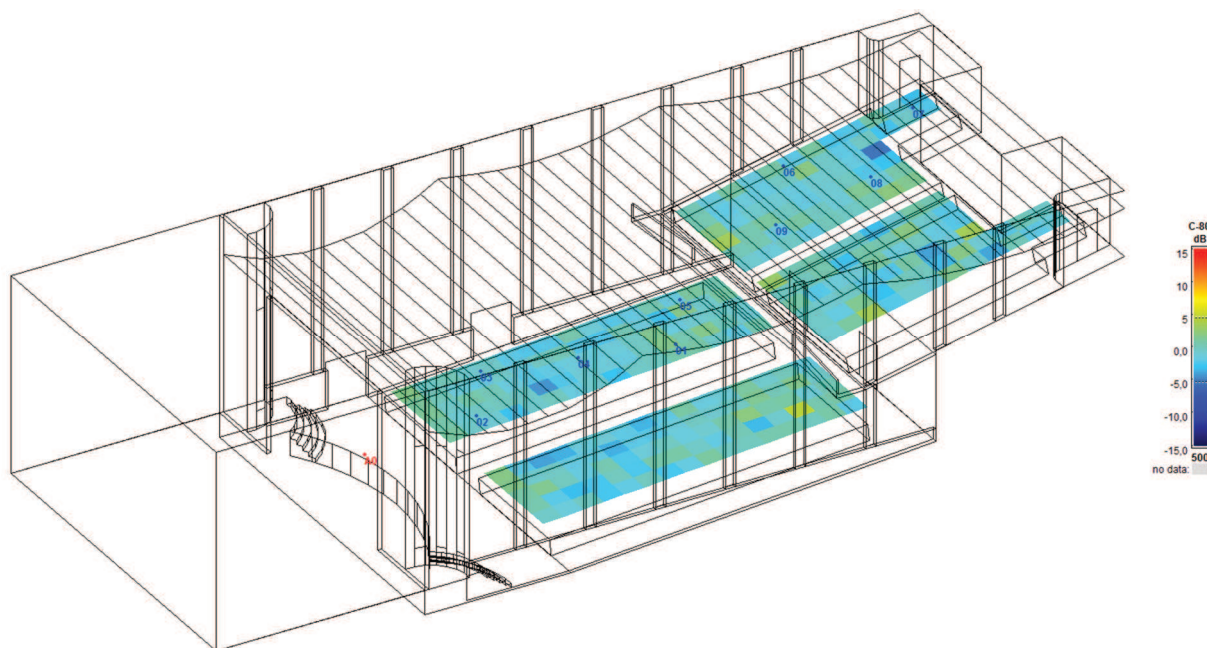
Fonte: Autor, 2019.

Figura 69 – C80 da modelagem com o forro original a 500 Hz.



Fonte: Autor, 2019.

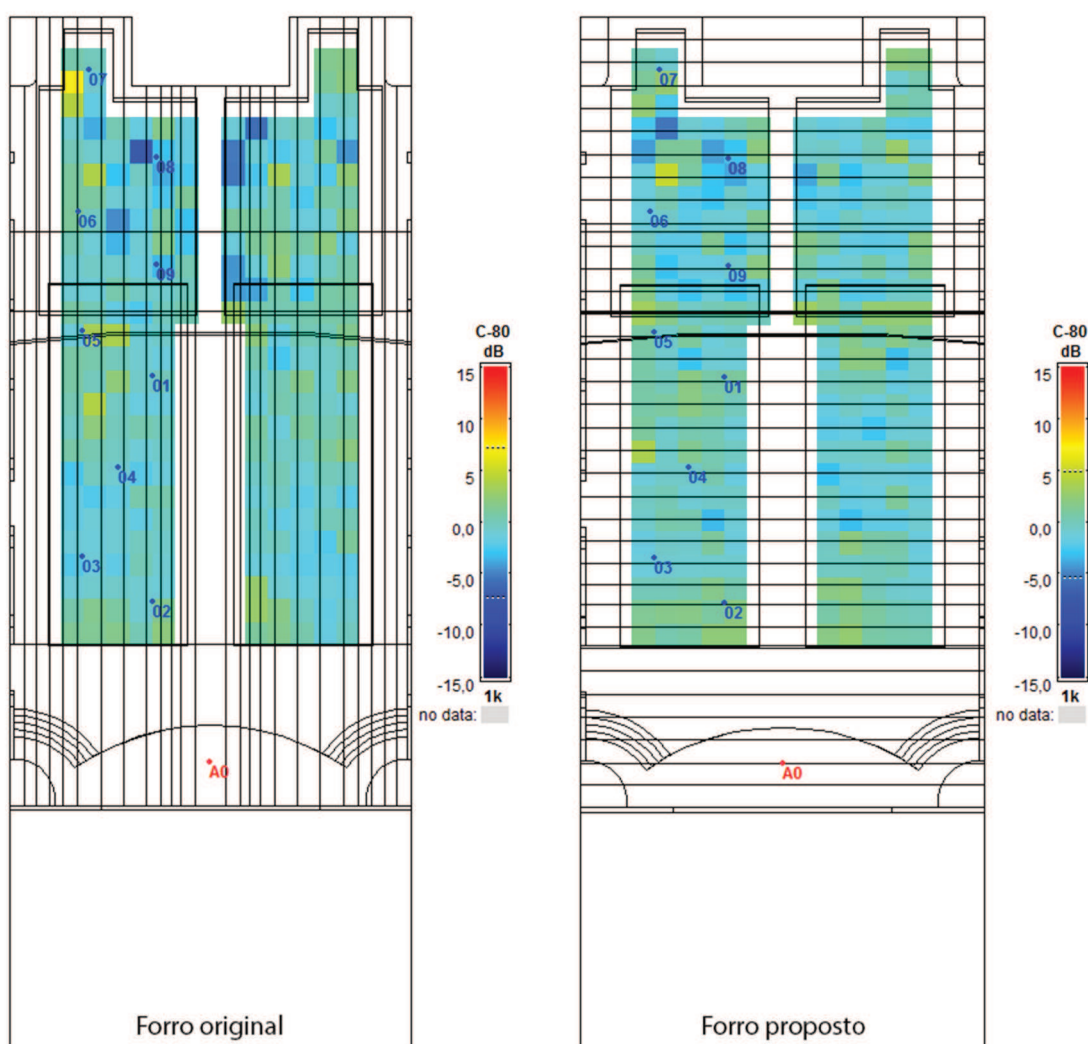
Figura 70 - C80 da modelagem com o forro proposto a 500 Hz.



Fonte: Autor, 2019.

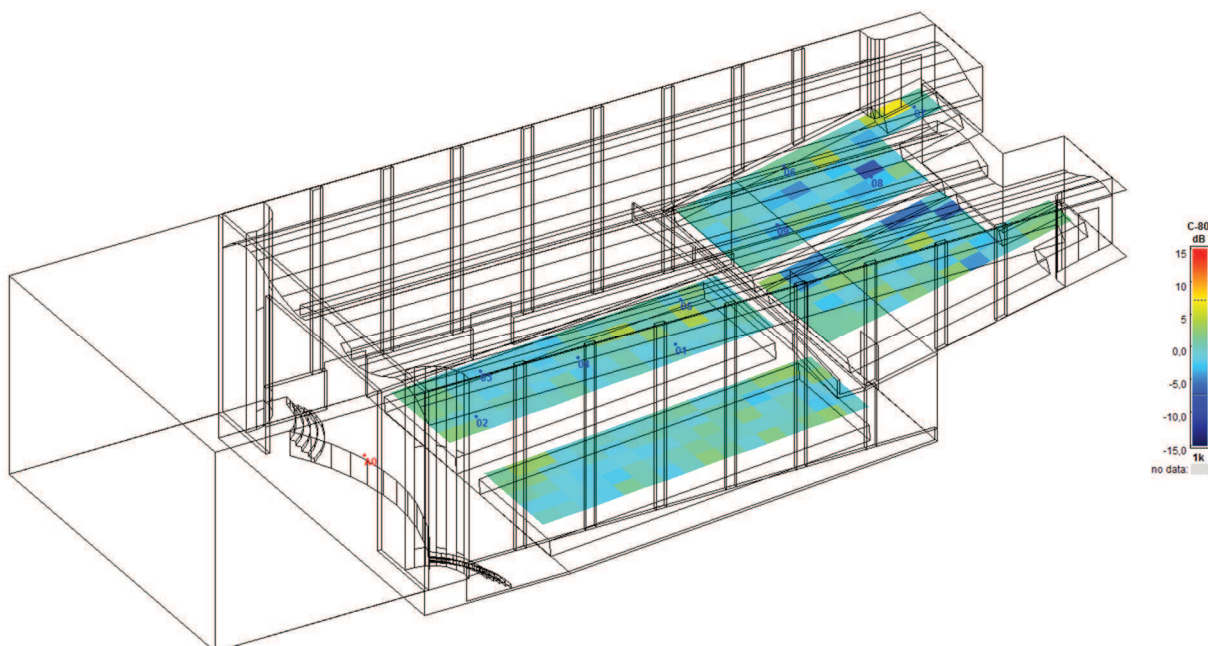
Da Figura 71 a 73 observa-se o mapa referente ao C80 para bandas de 1 KHz. Assim como ocorre na banda de 500 Hz, os valores não são conclusivos para enquadrá-los nos parâmetros da Tabela 11. Porém, analisando a escala gráfica na lateral das figuras, percebe-se que, para a frequência de 1 kHz, os melhores 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 71 – C80 das modelagens a 1000 Hz.



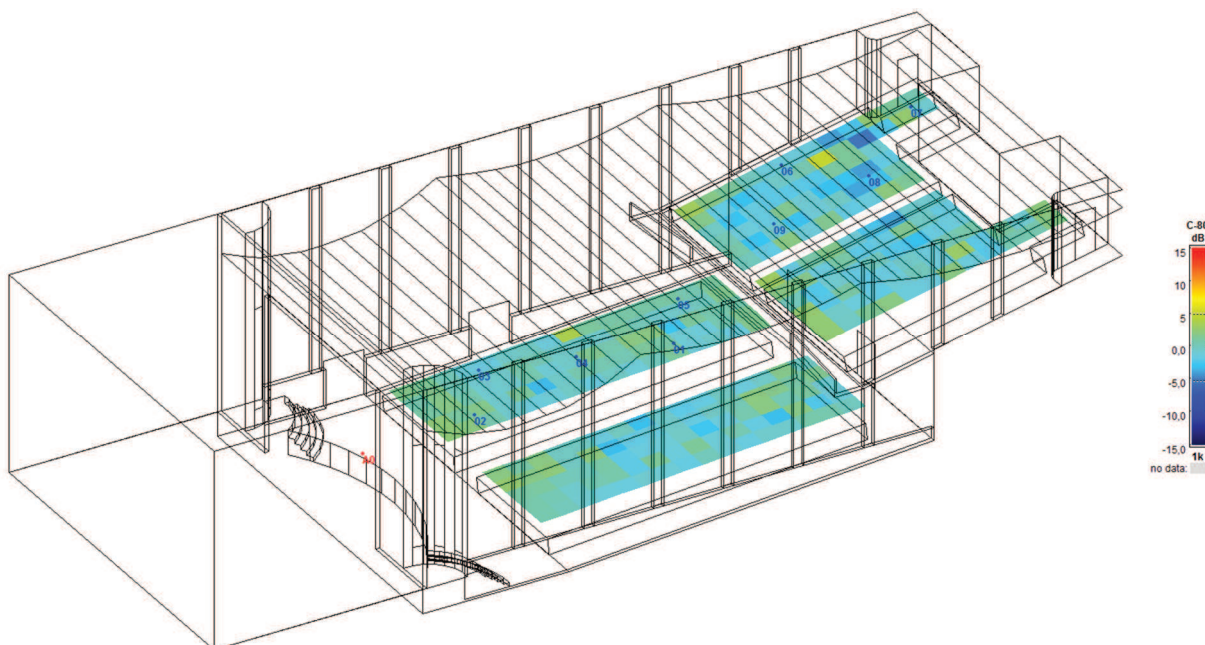
Fonte: Autor, 2019.

Figura 72 - C80 da modelagem com o forro original a 1000 Hz.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 73 - C80 da modelagem com o forro proposto a 1000 Hz.



Fonte: Autor, 2019.

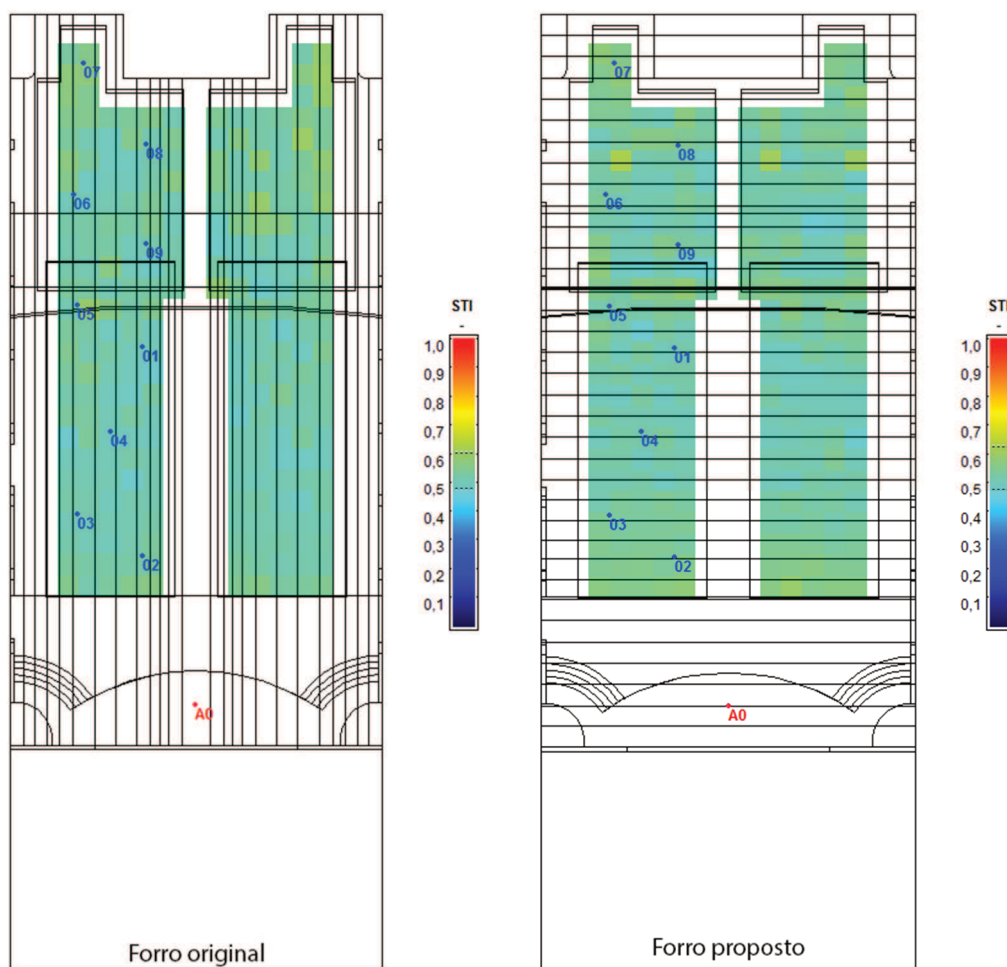
Da Figura 74 a 76, os mapas mostram a distribuição dos valores relacionados ao STI, nas modelagens com o forro original e com forro proposto. Os valores de referência são apresentados na Tabela 12. Desse modo, analisando as imagens, é possível perceber que, ambas as modelagens, apresentam valores entre 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 12 – Valores para qualificação de STI.

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

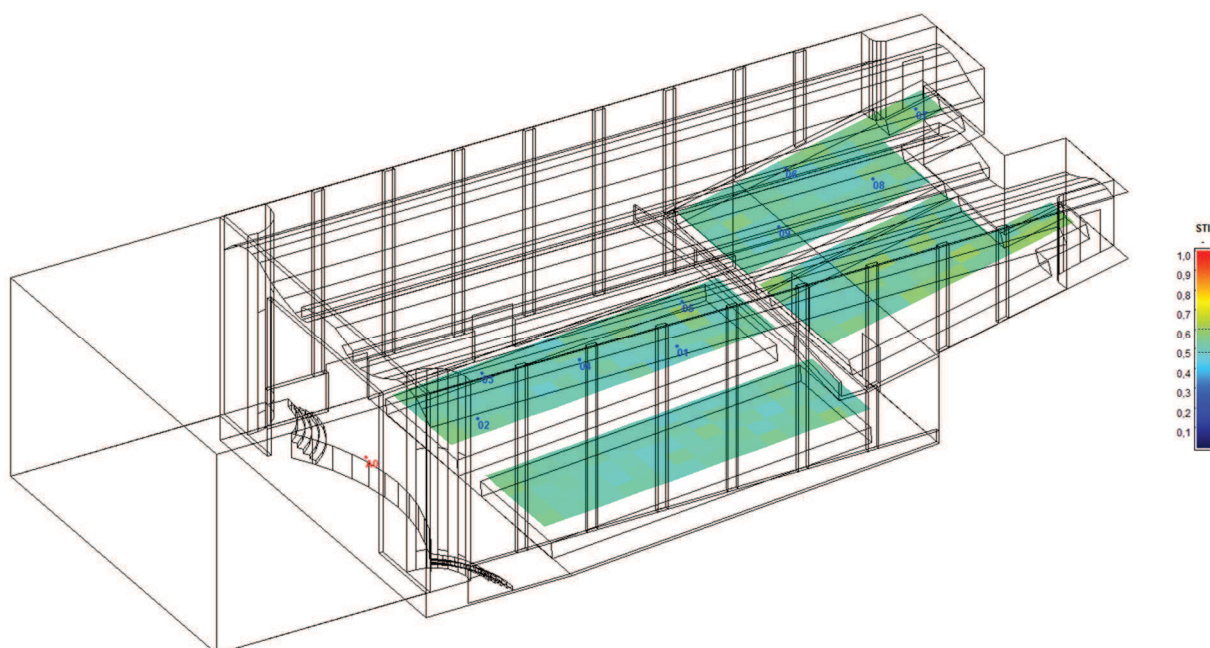
Fonte: Brandão (2016).

Figura 74 – STI das modelagens.



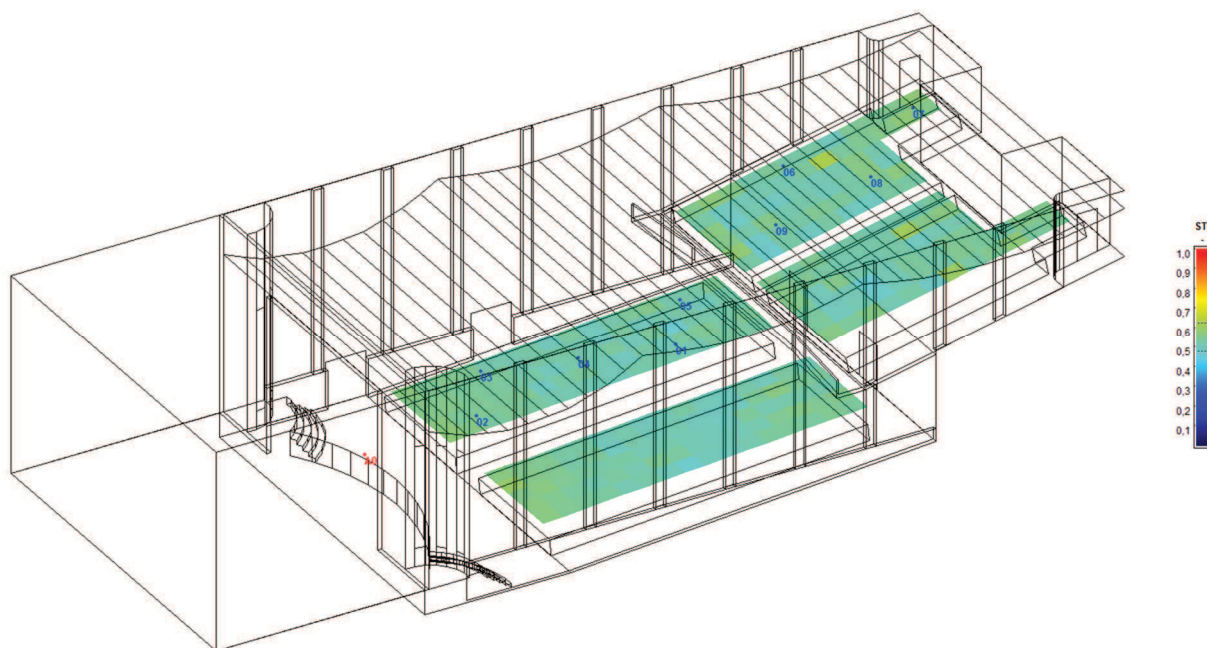
Fonte: Autor, 2019.

Figura 75 - STI da modelagem com o forro original.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 76 - STI da modelagem com o forro proposto.



Fonte: Autor, 2019.

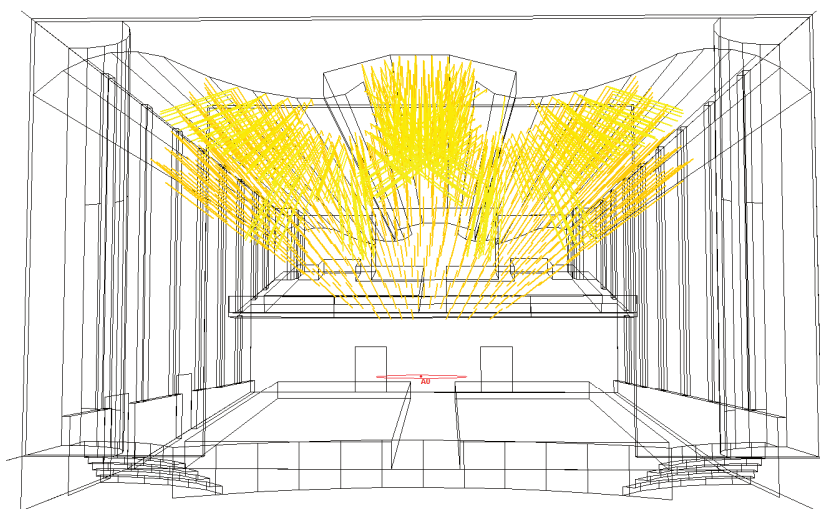
### 4.3 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DE RAIOS SONOROS

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*.

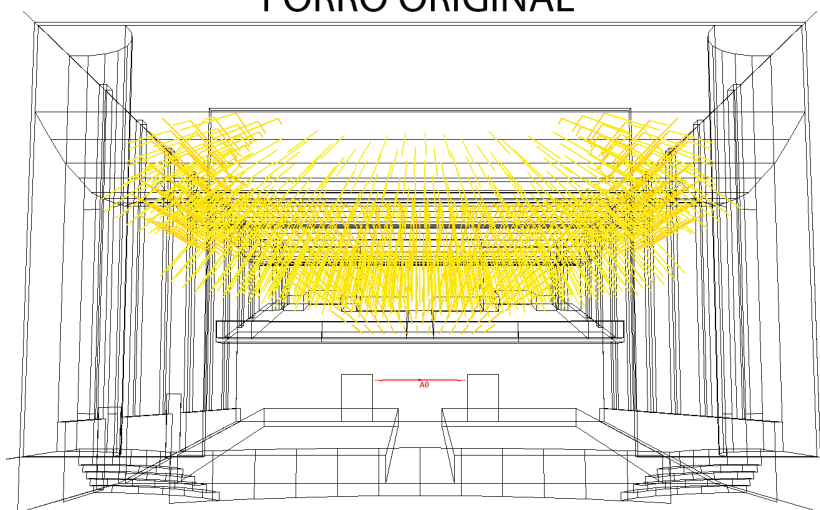
Na Figura 77 é apresentado o espalhamento dos raios sonoros incididos no forro original e no forro proposto na banda de 500 Hz entre 10 ms e 80 ms. Ao analisar a figura, é possível perceber que o forro original dissipa grande parte dos raios para as laterais. Já o espalhamento do forro proposto, comportou-se 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. As outras distribuições dos raios sonoros são apresentadas do apêndice B ao apêndice G.

Figura 77 – Reflexão da incidência sonora nos painéis dos forros a 20 ms.





FORRO ORIGINAL



FORRO PROPOSTO

Fonte: Autor, 2019.

## 5 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. Como dados de entrada para as simulações, considerou-se a simetria da sala na distribuição dos receptores, os posicionando ao lado esquerdo da plateia do Cine Teatro Luz, ao todo foram utilizados 9 receptores. A fonte foi posicionada a uma distância de 2 m a frente da boca de cena, e considerou-se a altura de 1,7 m. Os materiais utilizados no interior da sala apresentam coeficientes de absorção e espalhamento condizente com os materiais originais da sala. Os dados de saída são definidos de acordo com os objetivos e problema do trabalho, além de considerar que estes critérios são possíveis de serem analisados utilizando o simulador *CATT-Acoustic*, sendo eles TR, EDT, D50, C80 e STI.

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. Ao considerar que a área do forro original possui 17 m<sup>2</sup> a mais que a área do forro proposto, conclui-se que o forro proposto melhoraria o TR da sala, isto considerando que o Cine Teatro Luz é destinado ao multiuso.

A melhoria na qualidade do TR da sala tem base nos valores referenciais apresentados por autores. 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. Porém, considerando que a NBR 12.179 analisa o TR ideal com base nos parâmetros europeus, torna-se mais preciso considerar como valores referenciais, os valores apresentados por autores referência na acústica de salas como, por exemplo, Egan (1988), Beranek (2004) e Barron (2010).

Assim como os valores do TR, os valores do EDT são mais elevados na modelagem com o forro original, comparado à modelagem com o forro proposto. Neste critério, ambas as salas modeladas são classificadas como boas, segundo Barron (2010).

Nas análises dos resultados do D50, as duas salas apresentam valores inferiores a 50%, valor este apresentado como mínimo adequado à inteligibilidade da fala segundo Brandão (2010). Porém, nota-se que na banda de 500 Hz, a modelagem com o forro original proporciona pontos com maior energia, comparada à modelagem com o forro proposto. Na banda de 1 kHz, a situação é oposta, pois a modelagem com o forro proposto apresenta pontos com maior energia, comparada à modelagem com o forro original. Contudo, quando analisadas de modo geral, ambas as bandas de frequência, conclui-se que os valores de D50 nas modelagens são mais bem distribuídos na modelagem com o forro proposto.

No C80, ao observar a análise, conclui-se que, em ambas as modelagens, os valores, tanto na banda de 500 Hz, quanto na banda de 1 kHz, não se enquadram nos valores apresentados por Beranek (2004) e Barron (2010). Entretanto, analisando as imagens, nota-se que a modelagem com o forro original apresenta melhores valores de C80 comparada à modelagem com o forro proposto, podendo assim afirmar que a sala com o forro original seria melhor para a música, comparada à sala com o forro proposto, ainda que ambos não se enquadrem nos valores referenciais apresentados pelos autores.

Os valores estimados pela simulação para o STI indicam que ambas as salas possuem resultados aceitáveis, segundo Brandão (2016). Contudo, a análise comparativa entre as modelagens mostrou que a sala com o forro proposto apresentou melhores valores comparados às modelagens da sala como o forro original, colocando assim a sala com o forro proposto com melhor inteligibilidade da palavra, comparado à outra modelagem. Porém, entendendo que Cine Teatro Luz é destinado ao multiuso e, que o STI analisa a qualidade da inteligibilidade de cada palavra falada, conclui-se que, em ambas as modelagens, os valores deveriam ser mais elevados, considerando o uso da sala.

Ao comparar os resultados apresentados nas modelagens, observou-se que a alteração na geometria do forro não causou melhoria na qualidade acústica da sala. O fato dos valores estarem muito próximos, em todos os parâmetros analisados, ocorreu em função do material utilizado nas paredes (reboco liso), o qual apresenta coeficientes de absorção baixos em todas as bandas de oitava analisadas, com isso a reflexão sonora incidente nas paredes vinda do forro, é direcionada com mais intensidade para a plateia.

Dessa forma, o som quando é refletido do forro original para as paredes, tende a ser refletido para a plateia, com pouca perda de intensidade.

Entretanto, 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, são classificadas como boas, 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 clareza 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*.

Entretanto, é possível utilizar o mesmo método para propor outras formas geométricas de forro para sala, com formas mais adequadas à distribuição sonora no ambiente interno, ao não considerar a estética do forro como foi apresentado neste trabalho. Porém, torna-se interessante aliar a alteração do forro a alterações de alguns materiais no interior da sala, isto para que seja possível melhorar a qualidade acústica da sala de forma mais precisa e, principalmente, considerando que seu uso destina-se a atividades diversas.

## 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.
- BASSO, Gustavo J. et al. Salas para música: patrimônio acústico – musical de la ciudad de La Plata. **SEDICI Repositório Institucional de UNLP**. Buenos Aires, Octubre 2012. Disponível em: <<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/40685>>. Acesso em: 24 mar. 2018.
- BASSO, Gustavo J.; HAEDO, Alberto; QUINTANA, Rafeal Sánchez. Preservación de la calidad acústica del Teatro Colón de Buenos Aires. In: **VI Congreso Iberoamericano de Acústica FIA 2008**, Buenos Aires. Actas FIA. Buenos Aires: FIA, 2008, A-15.
- 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.
- BORGES, Antônio Newton; RODRIGUES, Clóves Gonçalves. **Introdução à física acústica**. São Paulo: Editora Livraria Física, 2017.
- 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.
- El Grande Tour. **Nick & Lucy's South American adventures!** Disponível em: <<https://elgrandetour.files.wordpress.com/2014/06/9f5c15e89.jpg>>. Acesso em: 24 nov. 2018.

FEITOZA, P. F. de B. Patrimônio cultural da nação: Tangível e Intangível. **Revista Eletrônica Aboré**, Amazonas, 2010. Disponível em: <[http://www.revistas.uea.edu.br/old/abore/artigos/artigos\\_2/Artigos\\_Professores/Paulo%20Feitoza.pdf](http://www.revistas.uea.edu.br/old/abore/artigos/artigos_2/Artigos_Professores/Paulo%20Feitoza.pdf)> Acesso em 24 mai. 2017.

FERNANDES JUNIOR; LOPES, Antonio Carlos. **Auralização: técnicas de modelagem e simulação binaural de ambientes acusticos virtuais**. Campinas, 2005. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Eletrica e de Computação, Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/261759>>. Acesso em: 5 fev. 2019.

FIGEIRAS GROUP. **The Philharmonie de Paris, an audacious building**. Disponível em: < [https://www.figueras.com/en/projects/performing-arts-centers/1476\\_philharmonie-de-paris.html](https://www.figueras.com/en/projects/performing-arts-centers/1476_philharmonie-de-paris.html)>. Acesso em: 12 nov. 2018.

FLEIG, K. **Alvar Aalto**. São Paulo: Martins Fontes, 1994.

GALERIA PONTO CIÊNCIA. **Reflexão especular e difusa**. Disponível em: < <http://www.pontociencia.org.br/galeria/?content%2FFisica%2FOptica%2FReflexao+e+specular+e+difusa.jpg> >. Acesso em: 24 nov. 2018.

GERGES, Samir, N. Y. **Ruído: Fundamentos e controle**. 2º ed. Santa Catarina: NR EDITORA, 2000.

GONZALEZ, M. S.; COLNAGHI, J.; NUNES, M. F. O. Acoustic analysis of the Padre Werner Unisinos Auditorium. **Rev. ing. constr.** Santiago, v. 33, n. 3, p. 291-300, Dez. 2018.

HASS, Rene. **World Timeline**. Disponível em: <<https://nossalinhadotempo.blogspot.com/2016/07/santa-cruz-do-sul-rio-grande-do-sul.html>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

HENRIQUE, Luís L. **Acústica musical**. 5. ed. Lisboa: Fundação Colouste Gulbekian, 2014.

INATEL. **Inatel Cultural**. Disponível em: <<https://nossalinhadotempo.blogspot.com/2016/07/santa-cruz-do-sul-rio-grande-do-sul.html>>. Acesso em: 12 nov. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 3382-1: Measurement of Room Acoustic Parameters – Part 1: Performance Rooms**, 2009.

IPHAN BRASÍLIA. **O Iphan**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/872>>. Acesso em: 1 ago. 2017.

KUTTRUFF, Henrich. **Room acoustic**. 5. ed. New York: Spon Press, 2009.

LEAL, Claudia Feierabend Baeta. Patrimônio e desenvolvimento: as políticas de patrimônio cultural nos anos 1960. **An. mus. paul.**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 99-136, abr. 2016. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/anaismp/v24n1/1982-0267-anaismp-24-01-00099.pdf> >. Acessos em 01 ago. 2017.

LERNER, Jaime. **Acupuntura urbana**. 5º ed. Rio de Janeiro: Record, 2011.

MELLO JUNIOR, Cordovan Frederico de. **Cine Luz no tempo do Cinema**. União da Vitória: Fundação Municipal de Cultura, 1996.

OLIVEIRA, Maria Fernanda. **Acoustical design with light**. [S.l.]: 2018. Não publicado.

PARANÁ. **Lei nº 1.211/53, de 16 de setembro de 1953**. Dispõe sobre o patrimônio histórico, artístico e natural do Estado do Paraná. Disponível em: <<http://www.patrimoniocultural.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=5>>. Acesso em: 01 ago. 2017.

PATRÍCIO, J. **Acústica nos Edifícios**. 7.ed. Porto: Publindustrial, 2008.

PIRES, J.R.; CHAVES, N.P.; NUNES, M.F.O.; PATRÍCIO, J.V. Igreja de São Miguel Arcanjo das Missões Jesuíticas: Influência das Posições do Coro nos Parâmetros Acústicos. **Revista Acústica e Vibrações**. Santa Maria, No. 47, p. 48-57, 2015.

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 ESPAÑOL DE ACÚSTICA, 46, 2015, Valencia. **Anais eletrônicos...** Valencia: sociedad española 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.

SCHREINER, Ana Inêz Kienen. **A plasticidade e as permanências nas arquiteturas históricas de Porto União/SC e União Da Vitória/PR**. Joinville, 2013. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado Universidade da Região de Joinville - UNIVILLE, 2013.

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: sociedad española de acústica, 2015. Disponível em: <<http://www.sea-acustica.es/fileadmin/Valencia15/Publicacion%20Oficial%20Congreso.pdf>>. Acesso em: 7 ago. 2017.

SILVA DE MARCO, C. J. **Análise acústica de auditórios musicais depois de construídos**. 2009. 115f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília – UnB, Brasília. 2009.

SILVA, Fernando F. **As cidades brasileiras e o patrimônio cultural da humanidade**. São Paulo: Peirópolis: Editora da Universidade de São Paulo, 2003.

TEATRO COLÓN. **História**. Buenos Aires, [2018?]. Disponível em: <<http://www.teatrocolon.org.ar/pt/content/hist%C3%B3ria>>. Acesso em: 25 mar. 2018.

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. 2017 Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-58782007000200012&lng=en&tIng=en#?](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-58782007000200012&lng=en&tIng=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. Pen Drive.

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

VIANNA, Letícia C. R. Patrimônio Imaterial. In: GRIECO, Bettina; TEIXEIRA, Luciano; THOMPSON, Analucia (Orgs.). **Dicionário IPHAN de Patrimônio Cultural**. 2. ed. rev. ampl. Rio de Janeiro, Brasília: IPHAN/DAF/Copedoc, 2016. (verbete). ISBN 978-85-7334-299-4. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/dicionarioPatrimonioCultural/detalhes/85/patrimonio-imaterial>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

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.



## APÊNDICE A – DADOS DO *CATT-EDIT – MASTER*, UTILIZADOS NA MODELAGEM TRIDIMENSIONAL.

```

;MASTER.GEO
;PROJECT=PROJETO MODELO 2019

;PROPOSTA PARA MATERIAIS

;Estofado médio ocupada HENRIQUE
ABS audiencia      = <56 68 79 83 86 86> L <30 40 50 60 70 70> {255 255 000}

;tecido leve para fundo da sala e fundo de palco 50% de area BISTAFA
ABS cortina        = <3 4 11 17 24 35> L <10 12 14 16 18 20> {255 100 000}

;reboco liso NBR 12.179
ABS argamassa      = <3 3 4 4 4 4 > L <10 10 10 10 10 10> {190 190 190}

;piso do palco, assoalho HENRIQUE
ABS assoalho      = <15 20 10 10 10 10> L <20 20 20 20 20 20> {220 220 000}

;piso da sala principal e mezanino HENRIQUE
ABS taco          = <4 4 7 6 6 7> L <10 10 10 10 10 10> {000 000 250}

;vidro espesso no palco HENRIQUE
ABS vidro         = <18 6 4 3 2 2> L <10 10 10 10 10 10> {255 010 010}

;porta acústica com desing original BISTAFA
ABS porta         = <15 11 10 7 6 7> L <20 20 20 20 20 20> {255 010 010}

;forro gesso acartonado com ou sem enchiemento BISTAFA
;ABS forro       = <10 8 5 3 3 3 > L <20 20 20 20 20 20> {050 200 000}

;divisória de gesso dry com ou sem enchimento BISTAFA
ABS gesso        = <10 8 5 3 3 3> L <20 20 20 20 20 20> {095 095 095}

ABS sans_def <10 10 10 10 10 10> ;L <10 10 10 10 10 10>

```

### CORNERS

```

;envoltoria piso
101  -8.750000  0.000000  -0.000000
102   8.750000  0.000000  0.000000
103   8.750000  13.747129  0.000000
104   8.750000  44.800000  -0.000000
105  -8.750000  44.800000  -0.000000

111   8.750000  10.300000  -0.000000
112   8.750000  17.500000  0.000000

```

113	-8.750000	17.500000	-0.000000
114	-8.750000	10.300000	-0.000000

;envoltoria paredes

201	-0.000000	0.000000	0.000000
202	-8.750000	0.000000	0.000000
203	-8.750000	0.000000	11.000000
204	8.750000	0.000000	11.000000
205	8.750000	0.000000	0.000000
206	8.750000	44.800000	11.000000
207	8.750000	44.800000	0.000000
208	-8.750000	24.675000	2.573750
209	-8.750000	24.675000	-0.000000
210	-8.750000	44.800000	-0.000000
211	-8.750000	44.800000	11.000000
212	-8.750000	15.500000	-0.000000
213	-8.750000	15.500000	2.200000
214	-8.750000	17.500000	2.200000
215	-8.750000	17.500000	-0.000000
216	-8.750000	22.675000	-0.000000
217	-8.750000	22.675000	2.573750

1	-8.750000	41.800000	11.000000
2	-8.750000	10.300000	11.000000
3	-8.750000	10.300000	1.200000
4	-8.750000	10.300000	-0.000000
5	-8.750000	15.500000	-0.000000
6	-8.750000	15.500000	2.200000
7	-8.750000	17.500000	2.200000
8	-8.750000	17.500000	-0.000000
9	-8.750000	22.675000	0.373750
10	-8.750000	22.675000	2.573750
11	-8.750000	24.675000	2.573750
12	-8.750000	24.675000	0.518194
13	-8.750000	35.500000	1.300000
14	-8.750000	35.500000	5.753846
15	-8.750000	41.800000	7.110769
16	8.750000	10.300000	-0.000000
17	8.750000	10.300000	11.000000
18	8.750000	41.800000	11.000000
19	8.750000	41.800000	7.110769
20	8.750000	35.500000	5.753846
21	8.750000	35.500000	1.300000
22	8.750000	17.500000	0.000000
23	8.750000	0.000000	11.000000
24	8.750000	0.000000	1.200000
25	-8.750000	0.000000	1.200000
26	-8.750000	0.000000	11.000000
27	8.750000	10.300000	1.200000

## ;envoltoria forro

301	8.750000	0.000000	11.000000
302	-8.750000	0.000000	11.000000
303	-8.750000	10.300000	11.000000
304	8.750000	10.300000	11.000000
305	-8.750000	44.800000	11.000000
306	-3.450000	44.800000	11.000000
307	-3.450000	41.799998	11.000000
308	3.450000	41.799998	11.000000
309	3.450000	44.800000	11.000000
310	8.750000	44.800000	11.000000
311	8.750000	10.500002	11.000000
312	-8.750000	10.500002	11.000000

## ;palco piso

401	-8.204036	13.484973	1.200000
402	-8.550000	13.494495	1.200000
403	-8.550000	12.500000	1.200000
404	-8.750000	12.500000	1.200000
405	-8.750000	0.000000	1.200000
406	8.750000	0.000000	1.200000
407	8.750000	12.501885	1.200000
408	8.550000	12.501885	1.200000
409	8.550000	13.494495	1.200000
410	8.204036	13.484973	1.200000
411	7.668286	13.378789	1.200000
412	7.157863	13.184443	1.200000
413	6.687162	12.907417	1.200000
414	6.269461	12.555524	1.200000
415	5.916542	12.138690	1.200000
416	5.023976	12.687229	1.200000
417	4.081020	13.143739	1.200000
418	3.097129	13.503640	1.200000
419	2.082174	13.763321	1.200000
420	1.046335	13.920180	1.200000
421	-0.000000	13.972641	1.200000
422	-1.046335	13.920180	1.200000
423	-2.082174	13.763321	1.200000
424	-3.097129	13.503640	1.200000
425	-4.081020	13.143739	1.200000
426	-5.023976	12.687229	1.200000
427	-5.916542	12.138690	1.200000
428	-6.269461	12.555524	1.200000
429	-6.687162	12.907417	1.200000
430	-7.157863	13.184443	1.200000
431	-7.668286	13.378789	1.200000

## ;palco frente

501	-5.023976	12.687229	-0.000000
502	-5.916542	12.138690	-0.000000
503	-5.916542	12.138690	1.200000
504	-5.023976	12.687229	1.200000
505	-4.081020	13.143739	0.000000
506	-4.081020	13.143739	1.200000
507	5.916542	12.138690	1.200000
508	5.916542	12.138690	-0.000000
509	5.023976	12.687229	-0.000000
510	5.023976	12.687229	1.200000
511	3.097129	13.503640	1.200000
512	4.081020	13.143739	1.200000
513	4.081020	13.143739	0.000000
514	3.097129	13.503640	0.000000
515	2.082174	13.763321	1.200000
516	2.082174	13.763321	0.000000
517	-2.082174	13.763321	1.200000
518	-1.046335	13.920180	1.200000
519	-1.046335	13.920180	0.000000
520	-2.082174	13.763321	0.000000
521	-0.000000	13.972641	1.200000
522	-0.000000	13.972641	0.000000
523	1.046335	13.920180	1.200000
524	1.046335	13.920180	0.000000
525	4.871237	12.761174	-0.000000
526	-3.107079	13.500000	1.200000
527	-3.107079	13.500000	0.000000

## ;palco escadas

601	7.585163	13.668150	0.800000
602	7.585163	13.668150	0.600000
603	7.143540	13.500000	0.600000
604	7.027486	13.455812	0.600000
605	7.027486	13.455812	0.800000
606	7.143540	13.500000	0.800000
607	6.513209	13.153139	0.600000
608	6.513209	13.153139	0.800000
609	6.687162	12.907417	1.200000
610	6.687162	12.907417	0.800000
611	6.269461	12.555524	0.800000
612	6.269461	12.555524	1.200000
613	8.204036	13.484973	1.200000
614	8.204036	13.484973	0.800000
615	7.668286	13.378789	0.800000
616	7.668286	13.378789	1.200000
617	5.916542	12.138690	0.800000
618	5.916542	12.138690	1.200000

619	8.170510	13.784164	0.600000
620	8.550000	13.794609	0.600000
621	8.550000	14.094723	0.600000
622	8.136985	14.083355	0.600000
623	7.502039	13.957511	0.600000
624	6.897109	13.727181	0.600000
625	6.511102	13.500000	0.600000
626	6.339257	13.398862	0.600000
627	5.844217	12.981815	0.600000
628	5.425954	12.487803	0.600000
629	5.399437	12.456484	0.600000
630	5.657989	12.297587	0.600000
631	6.056839	12.768669	0.600000
632	8.550000	13.494495	0.800000
633	8.550000	13.794609	0.800000
634	8.170510	13.784164	0.800000
635	6.056839	12.768669	0.800000
636	5.657989	12.297587	0.800000
637	7.157863	13.184443	0.800000
638	8.550000	13.494495	1.200000
639	7.157863	13.184443	1.200000

701	6.636355	14.269918	-0.000000
702	5.991352	13.890307	0.000000
703	5.991352	13.890307	0.200000
704	6.636355	14.269918	0.200000
705	8.103459	14.382546	0.400000
706	8.103459	14.382546	0.200000
707	7.418916	14.246871	0.200000
708	7.418916	14.246871	0.400000
709	6.766732	13.998550	0.400000
710	6.766732	13.998550	0.200000
711	6.165304	13.644585	0.200000
712	6.165304	13.644585	0.400000
713	6.897109	13.727181	0.400000
714	6.511102	13.500000	0.400000
715	6.339257	13.398862	0.400000
716	6.339257	13.398862	0.600000
717	6.511102	13.500000	0.600000
718	6.897109	13.727181	0.600000
719	5.528052	13.500000	-0.000000
720	5.418973	13.408106	-0.000000
721	5.418973	13.408106	0.200000
722	5.528052	13.500000	0.200000
723	4.935366	12.836916	-0.000000
724	4.871237	12.761174	-0.000000
725	4.871237	12.761174	0.200000
726	4.935366	12.836916	0.200000
727	5.844217	12.981815	0.400000

728	5.844217	12.981815	0.600000
729	8.069933	14.681737	-0.000000
730	7.335792	14.536232	0.000000
731	7.335792	14.536232	0.200000
732	8.069933	14.681737	0.200000
733	8.136985	14.083355	0.400000
734	8.550000	14.094723	0.400000
735	8.550000	14.394836	0.400000
736	5.993680	13.500000	0.400000
737	5.631595	13.194961	0.400000
738	5.180660	12.662360	0.400000
739	5.140885	12.615382	0.400000
740	5.399437	12.456484	0.400000
741	5.425954	12.487803	0.400000
742	7.502039	13.957511	0.400000
743	8.550000	14.694950	0.200000
744	8.550000	14.694950	-0.000000
745	8.136985	14.083355	0.600000
746	7.502039	13.957511	0.600000
747	5.399437	12.456484	0.600000
748	5.425954	12.487803	0.600000
749	8.550000	14.394836	0.200000
750	4.886239	12.753912	0.200000
751	5.023976	12.687229	0.200000
752	5.140885	12.615382	0.200000
753	5.180660	12.662360	0.200000
754	5.631595	13.194961	0.200000
755	5.993680	13.500000	0.200000
756	8.550000	14.094723	0.600000
801	-6.056839	12.768669	0.600000
802	-6.056839	12.768669	0.800000
803	-5.657989	12.297587	0.800000
804	-5.657989	12.297587	0.600000
805	-8.550000	13.794609	0.600000
806	-8.170510	13.784164	0.600000
807	-7.585163	13.668150	0.600000
808	-7.143540	13.500000	0.600000
809	-7.027486	13.455812	0.600000
810	-6.513209	13.153139	0.600000
811	-5.399437	12.456484	0.600000
812	-5.425954	12.487803	0.600000
813	-5.844217	12.981815	0.600000
814	-6.339257	13.398862	0.600000
815	-6.511102	13.500000	0.600000
816	-6.897109	13.727181	0.600000
817	-7.502039	13.957511	0.600000
818	-8.136985	14.083355	0.600000
819	-8.550000	14.094723	0.600000
820	-8.550000	13.494495	0.800000

821	-8.204036	13.484973	0.800000
822	-7.668286	13.378789	0.800000
823	-7.157863	13.184443	0.800000
824	-6.687162	12.907417	0.800000
825	-6.269461	12.555524	0.800000
826	-5.916542	12.138690	0.800000
827	-6.513209	13.153139	0.800000
828	-7.027486	13.455812	0.800000
829	-7.143540	13.500000	0.800000
830	-7.585163	13.668150	0.800000
831	-8.170510	13.784164	0.800000
832	-8.550000	13.794609	0.800000
833	-6.269461	12.555524	1.200000
834	-5.916542	12.138690	1.200000
835	-6.687162	12.907417	1.200000
836	-8.550000	13.494495	1.200000
837	-8.204036	13.484973	1.200000
838	-7.668286	13.378789	1.200000
839	-7.157863	13.184443	1.200000
901	-8.550000	14.694950	0.200000
902	-8.069933	14.681737	0.200000
903	-8.069933	14.681737	-0.000000
904	-8.550000	14.694950	-0.000000
905	-7.502039	13.957511	0.400000
906	-7.502039	13.957511	0.600000
907	-6.897109	13.727181	0.600000
908	-6.897109	13.727181	0.400000
909	-5.425954	12.487803	0.400000
910	-5.844217	12.981815	0.400000
911	-5.844217	12.981815	0.600000
912	-5.425954	12.487803	0.600000
913	-5.399437	12.456484	0.600000
914	-5.399437	12.456484	0.400000
915	-6.636355	14.269918	-0.000000
916	-7.335792	14.536232	0.000000
917	-7.335792	14.536232	0.200000
918	-6.636355	14.269918	0.200000
919	-8.550000	14.094723	0.400000
920	-8.136985	14.083355	0.400000
921	-6.511102	13.500000	0.400000
922	-6.339257	13.398862	0.400000
923	-5.140885	12.615382	0.400000
924	-5.180660	12.662360	0.400000
925	-5.631595	13.194961	0.400000
926	-5.993680	13.500000	0.400000
927	-6.165304	13.644585	0.400000
928	-6.766732	13.998550	0.400000
929	-7.418916	14.246871	0.400000
930	-8.103459	14.382546	0.400000

931	-8.550000	14.394836	0.400000
932	-5.528052	13.500000	-0.000000
933	-5.991352	13.890307	0.000000
934	-5.991352	13.890307	0.200000
935	-5.528052	13.500000	0.200000
936	-5.418973	13.408106	0.200000
937	-5.418973	13.408106	-0.000000
938	-6.511102	13.500000	0.600000
939	-6.339257	13.398862	0.600000
940	-4.935366	12.836916	-0.000000
941	-4.935366	12.836916	0.200000
942	-4.871237	12.761174	0.200000
943	-4.871237	12.761174	-0.000000
944	-8.103459	14.382546	0.200000
945	-7.418916	14.246871	0.200000
946	-6.766732	13.998550	0.200000
947	-8.550000	14.394836	0.200000
948	-6.165304	13.644585	0.200000
949	-5.993680	13.500000	0.200000
950	-5.631595	13.194961	0.200000
951	-5.180660	12.662360	0.200000
952	-5.140885	12.615382	0.200000
953	-5.023976	12.687229	0.200000
954	-4.886239	12.753912	0.200000
955	-8.550000	14.094723	0.600000
956	-8.136985	14.083355	0.600000

## ;palco boca de cena

1001	4.750000	10.500000	9.000000
1002	4.750000	10.500000	1.200000
1003	4.750000	10.300000	1.200000
1004	4.750000	10.300000	9.000000
1005	-4.750000	10.500000	1.200000
1006	-4.750000	10.500000	9.000000
1007	-4.750000	10.300000	9.000000
1008	-4.750000	10.300000	1.200000
1009	8.750000	10.300000	1.200000
1010	8.750000	10.300000	11.000000
1011	-8.750000	10.300000	11.000000
1012	-8.750000	10.300000	1.200000
1013	-8.750000	10.500000	1.200000
1014	-8.750000	10.500002	11.000000
1015	8.750000	10.500002	11.000000
1016	8.750000	10.500000	1.200000

## ;palco parede curva

1101	-7.095847	11.823944	7.100000
1102	-7.095847	11.823944	11.000000
1103	-6.863626	11.418790	11.000000
1104	-6.863626	11.418790	7.100000



1105	-6.863626	11.418790	2.100000
1106	-6.863626	11.418790	1.200000
1107	-7.095847	11.823944	1.200000
1108	-7.095847	11.823944	2.100000
1109	-7.831210	12.386374	7.100000
1110	-7.831210	12.386374	11.000000
1111	-7.426056	12.154153	11.000000
1112	-7.426056	12.154153	7.100000
1113	-7.426056	12.154153	2.100000
1114	-7.426056	12.154153	1.200000
1115	-7.831210	12.386374	1.200000
1116	-7.831210	12.386374	2.100000
1117	-6.745598	10.966965	2.100000
1118	-6.745598	10.966965	1.200000
1119	-6.745598	10.966965	11.000000
1120	-6.745598	10.966965	7.100000
1121	-8.283035	12.504402	2.100000
1122	-8.283035	12.504402	1.200000
1123	-8.283035	12.504402	7.100000
1124	-8.283035	12.504402	11.000000
1125	-6.750000	10.500003	11.000000
1126	-6.750000	10.500000	1.200000
1127	-8.750013	12.499998	1.200000
1128	-8.750013	12.499998	11.000000
1129	7.831210	12.386374	7.100000
1130	7.831210	12.386374	11.000000
1131	8.283035	12.504402	11.000000
1132	8.283035	12.504402	7.100000
1133	7.095847	11.823944	1.200000
1134	7.095847	11.823944	2.100000
1135	7.426056	12.154153	2.100000
1136	7.426056	12.154153	1.200000
1137	6.745598	10.966965	1.200000
1138	6.745598	10.966965	2.100000
1139	6.863626	11.418790	2.100000
1140	6.863626	11.418790	1.200000
1141	7.095847	11.823944	7.100000
1142	7.095847	11.823944	11.000000
1143	7.426056	12.154153	11.000000
1144	7.426056	12.154153	7.100000
1145	7.831210	12.386374	2.100000
1146	8.283035	12.504402	2.100000
1147	8.283035	12.504402	1.200000
1148	7.831210	12.386374	1.200000
1149	6.863626	11.418790	7.100000
1150	6.863626	11.418790	11.000000
1151	6.745598	10.966965	7.100000
1152	6.745598	10.966965	11.000000
1153	6.750000	10.500000	1.200000
1154	6.750000	10.500002	11.000000

1155	8.750013	12.499998	1.200000
1156	8.750013	12.499998	11.000000
;palco vidro			
1201	-7.426056	12.154153	7.100000
1202	-7.095847	11.823944	7.100000
1203	-7.095847	11.823944	2.100000
1204	-7.426056	12.154153	2.100000
1205	-6.745598	10.966965	2.100000
1206	-6.863626	11.418790	2.100000
1207	-6.863626	11.418790	7.100000
1208	-6.745598	10.966965	7.100000
1209	-7.831210	12.386374	2.100000
1210	-8.283035	12.504402	2.100000
1211	-8.283035	12.504402	7.100000
1212	-7.831210	12.386374	7.100000
1213	7.426056	12.154153	7.100000
1214	7.426056	12.154153	2.100000
1215	7.095847	11.823944	2.100000
1216	7.095847	11.823944	7.100000
1217	6.745598	10.966965	2.100000
1218	6.745598	10.966965	7.100000
1219	6.863626	11.418790	7.100000
1220	6.863626	11.418790	2.100000
1221	8.283035	12.504402	7.100000
1222	8.283035	12.504402	2.100000
1223	7.831210	12.386374	2.100000
1224	7.831210	12.386374	7.100000

;piso plateia

1301	-8.750000	35.500000	1.300000
1302	-8.750000	17.500000	0.000000
1303	8.750000	17.500000	0.000000
1304	8.750000	35.500000	1.300000

;mezanino piso

1401	-8.750000	30.700394	5.000000
1402	-4.254436	31.100000	5.000000
1403	4.254436	31.100000	5.000000
1404	8.750000	30.700394	5.000000
1405	8.750000	32.000000	5.000000
1406	-8.750000	32.000000	5.000000
1407	8.750000	44.800000	7.756923
1408	3.450000	44.800000	7.756923
1409	3.450000	41.800000	7.110769
1410	-3.450000	41.800000	7.110769
1411	-3.450000	44.800000	7.756923
1412	-8.750000	44.800000	7.756923

## ;mezanino guarda corpo

1501	-4.254436	31.100000	5.000000
1502	-4.254436	31.100000	5.700000
1503	4.254436	31.100000	5.700000
1504	4.254436	31.100000	5.000000
1505	-8.750000	30.600000	5.700000
1506	-4.250000	31.000000	5.700000
1507	4.250000	31.000000	5.700000
1508	8.750000	30.600000	5.700000
1509	8.750000	30.700394	5.700000
1510	-8.750000	30.700394	5.700000
1511	-8.750000	30.600000	4.804484
1512	-4.250000	31.000000	4.804484
1513	-8.750000	30.700394	5.000000
1514	8.750000	30.700394	5.000000
1515	4.250000	31.000000	4.804484
1516	8.750000	30.600000	4.804484

## ;mezanino forro

1601	-8.750000	30.600000	4.804484
1602	-8.750000	32.042111	4.804484
1603	8.750000	32.042111	4.804484
1604	8.750000	30.600000	4.804484
1605	4.250000	31.000000	4.804484
1606	-4.250000	31.000000	4.804484
1607	-8.750000	35.500000	5.549260
1608	8.750000	35.500000	5.549260

## ;mezanino parede baixa

1701	8.750000	35.500000	1.300000
1702	8.750000	35.500000	5.549260
1703	-8.750000	35.500000	5.549260
1704	-8.750000	35.500000	1.300000
1705	-3.750000	35.500000	1.300000
1706	-3.750000	35.500000	3.500000
1707	-2.250000	35.500000	3.500000
1708	-2.250000	35.500000	1.300000
1709	2.250000	35.500000	1.300000
1710	2.250000	35.500000	3.500000
1711	3.750000	35.500000	3.500000
1712	3.750000	35.500000	1.300000

## ;mezanino parede alta

1801	7.858658	41.838060	7.118967
1802	7.858658	41.838060	11.000000
1803	7.696446	41.946447	11.000000
1804	7.696447	41.946447	7.142312
1805	-3.450000	44.800000	7.756923

1806	-3.450000	41.800000	7.110769
1807	-3.450000	41.799998	11.000000
1808	-3.450000	44.800000	11.000000
1809	7.588060	42.108658	11.000000
1810	7.588060	42.108658	7.177249
1811	3.450000	41.800000	7.110769
1812	3.450000	41.799998	11.000000
1813	-8.750000	41.800000	11.000000
1814	-8.750000	41.800000	9.310826
1815	-8.750000	41.800000	7.110769
1816	-8.050000	41.800000	7.110769
1817	-8.050000	41.800000	11.000000
1818	-7.696447	41.946447	7.142312
1819	-7.696447	41.946447	11.000000
1820	-7.858658	41.838060	11.000000
1821	-7.858658	41.838060	7.118967
1822	8.750000	41.800000	7.110769
1823	8.750000	41.800000	11.000000
1824	8.050000	41.800000	11.000000
1825	8.050000	41.800000	7.110769
1826	-7.588060	42.108658	7.177249
1827	-7.588060	42.108658	11.000000
1828	7.550000	42.300000	7.218462
1829	7.549998	42.300000	11.000000
1830	7.549998	44.800000	11.000000
1831	7.550000	44.800000	7.756923
1832	7.549998	44.150000	7.616923
1833	7.549998	44.150000	9.716923
1834	7.549998	43.150000	9.716923
1835	7.549998	43.150000	7.401538
1836	-7.550000	44.800000	7.756923
1837	-7.549998	44.800000	11.000000
1838	-7.549998	42.300000	11.000000
1839	-7.550000	42.300000	7.218462
1840	-7.549999	43.150000	7.401538
1841	-7.549999	43.150000	9.716923
1842	-7.549999	44.150000	9.716923
1843	-7.549999	44.150000	7.616923
1844	3.450000	44.800000	7.756923
1845	3.450000	44.800000	11.000000
1851	-3.450000	44.800000	7.756923
1852	-3.450000	44.800000	11.000000
1853	-7.550000	44.800000	11.000000
1854	-7.550000	44.800000	7.756923
1855	7.549998	44.800000	11.000000
1856	3.450000	44.800000	11.000000
1857	3.450000	44.800000	7.756923
1858	7.549998	44.800000	7.756923

## ;elemento concreto

1901	8.550000	12.501885	1.900000
1902	8.750000	12.501885	1.900000
1903	8.750000	35.500000	1.900000
1904	8.550000	35.500000	1.900000
1905	8.550000	17.500000	-0.000000
1906	8.550000	12.501885	-0.000000
1907	8.550000	35.500000	1.300000
1908	-8.550000	15.500000	-0.000000
1909	-8.750000	15.500000	-0.000000
1910	-8.750000	15.500000	1.900000
1911	-8.550000	15.500000	1.900000
1912	-8.550000	12.500000	1.900000
1913	-8.550000	12.500000	-0.000000
1914	-8.750000	12.500000	1.900000
1915	-8.750000	24.675000	0.518194
1916	-8.550000	24.675000	0.518194
1917	-8.550000	24.675000	1.900000
1918	-8.750000	24.675000	1.900000
1919	-8.550000	35.500000	1.900000
1920	-8.750000	35.500000	1.900000
1921	-8.550000	35.500000	1.300000
1922	-8.750000	22.675000	1.900000
1923	-8.550000	22.675000	1.900000
1924	-8.550000	22.675000	0.373750
1925	-8.750000	22.675000	0.373750
1926	-8.550000	17.500000	1.900000
1927	-8.750000	17.500000	1.900000
1928	-8.550000	17.500000	-0.000000
1929	-8.750000	17.500000	-0.000000

## ;elemento coluna

2001	8.750000	22.200000	1.900000
2002	8.550000	22.200000	1.900000
2003	8.550000	22.200000	11.000078
2004	8.750000	22.200000	10.999984
2005	8.550000	21.700000	1.900000
2006	8.750000	21.700000	1.900000
2007	8.750000	21.700000	10.999986
2008	8.550000	21.700000	11.000078
2009	8.750000	18.250000	1.900000
2010	8.750000	18.250000	11.000000
2011	8.550000	18.250000	11.000093
2012	8.550000	18.250000	1.900000
2013	8.550000	14.800000	1.900000
2014	8.550000	14.800000	11.000106
2015	8.550000	15.300000	11.000106
2016	8.550000	15.300000	1.900000

2017	8.750000	15.300000	1.900000
2018	8.750000	15.300000	11.000012
2019	8.550000	25.150000	1.900000
2020	8.750000	25.150000	1.900000
2021	8.750000	25.150000	10.999973
2022	8.550000	25.150000	11.000065
2023	8.550000	25.650000	11.000063
2024	8.550000	25.650000	1.900000
2025	8.750000	25.650000	1.900000
2026	8.750000	25.650000	10.999971
2027	8.750000	14.800000	1.900000
2028	8.750000	14.800000	11.000014
2029	8.750000	18.750000	1.900000
2030	8.550000	18.750000	1.900000
2031	8.550000	18.750000	11.000091
2032	8.750000	18.750000	10.999998
2101	8.750000	35.500000	5.753846
2102	8.750000	35.500000	10.999930
2103	8.550000	35.500000	11.000022
2104	8.550000	35.500000	5.753846
2105	8.550000	38.950000	6.496923
2106	8.549999	38.950000	11.000012
2107	8.750000	38.950000	10.999918
2108	8.750000	38.950000	6.496923
2109	8.750000	29.100000	1.900000
2110	8.550000	29.100000	1.900000
2111	8.550000	29.100000	11.000012
2112	8.750000	29.100000	10.999919
2113	8.550000	28.600000	1.900000
2114	8.750000	28.600000	1.900000
2115	8.750000	28.600000	10.999959
2116	8.550000	28.600000	11.000013
2117	8.550000	36.000000	5.861538
2118	8.550000	36.000000	11.000022
2119	8.750000	36.000000	10.999930
2120	8.750000	36.000000	5.861538
2121	8.550000	32.050000	5.010769
2122	8.750000	32.050000	5.010769
2123	8.750000	32.050000	10.999945
2124	8.550000	32.050000	11.000038
2125	8.550000	32.550000	11.000037
2126	8.550000	32.550000	5.118462
2127	8.750000	32.550000	10.999944
2128	8.750000	32.550000	5.118462
2129	8.550000	38.450000	6.389231
2130	8.750000	38.450000	6.389231
2131	8.750000	38.450000	10.999920
2132	8.550000	38.450000	11.000013
2133	8.550000	32.550000	1.900000

2134	8.550000	32.550000	4.913875
2135	8.750000	32.550000	4.913875
2136	8.750000	32.550000	1.900000
2137	8.550000	32.050000	1.900000
2138	8.550000	32.050000	4.806183
2139	8.750000	32.050000	1.900000
2140	8.750000	32.050000	4.806183
2201	-8.750000	18.750000	1.900000
2202	-8.750000	18.750000	11.000080
2203	-8.550000	18.750000	11.000173
2204	-8.550000	18.750000	1.900000
2205	-8.550000	14.800000	1.900000
2206	-8.550000	15.300000	1.900000
2207	-8.550000	15.300000	11.000188
2208	-8.550000	14.800000	11.000188
2209	-8.550000	25.150000	1.900000
2210	-8.550000	25.150000	11.000146
2211	-8.750000	25.150000	11.000055
2212	-8.750000	25.150000	1.900000
2213	-8.750000	25.650000	1.900000
2214	-8.750000	25.650000	11.000053
2215	-8.550000	25.650000	11.000145
2216	-8.550000	25.650000	1.900000
2217	-8.750000	14.800000	11.000096
2218	-8.750000	14.800000	1.900000
2219	-8.750000	15.300000	1.900000
2220	-8.750000	15.300000	11.000094
2221	-8.550000	18.250000	1.900000
2222	-8.550000	18.250000	11.000175
2223	-8.750000	18.250000	11.000082
2224	-8.750000	18.250000	1.900000
2225	-8.550000	21.700000	1.900000
2226	-8.550000	21.700000	11.000160
2227	-8.750000	21.700000	11.000068
2228	-8.750000	21.700000	1.900000
2229	-8.750000	22.200000	1.900000
2230	-8.750000	22.200000	11.000066
2231	-8.550000	22.200000	11.000160
2232	-8.550000	22.200000	1.900000
2301	-8.550000	32.050000	4.806183
2302	-8.550000	32.050000	1.900000
2303	-8.550000	32.550000	1.900000
2304	-8.550000	32.550000	4.913875
2305	-8.750000	32.050000	4.806183
2306	-8.750000	32.050000	1.900000
2307	-8.750000	32.550000	1.900000
2308	-8.750000	32.550000	4.913875
2309	-8.550000	28.600000	1.900000

2310	-8.550000	29.100000	1.900000
2311	-8.550000	29.100000	11.000094
2312	-8.550000	28.600000	11.000095
2313	-8.550000	38.450000	6.389231
2314	-8.550000	38.450000	11.000095
2315	-8.750000	38.450000	11.000002
2316	-8.750000	38.450000	6.389231
2317	-8.750000	28.600000	11.000041
2318	-8.750000	28.600000	1.900000
2319	-8.750000	29.100000	1.900000
2320	-8.750000	29.100000	11.000001
2321	-8.550000	38.950000	6.496923
2322	-8.750000	38.950000	6.496923
2323	-8.750000	38.950000	11.000000
2324	-8.549999	38.950000	11.000094
2325	-8.550000	32.050000	5.010769
2326	-8.550000	32.050000	11.000120
2327	-8.750000	32.050000	11.000027
2328	-8.750000	32.050000	5.010769
2329	-8.550000	32.550000	5.118462
2330	-8.550000	32.550000	11.000119
2331	-8.750000	32.550000	5.118462
2332	-8.750000	32.550000	11.000026
2333	-8.550000	35.500000	5.753846
2334	-8.550000	35.500000	11.000104
2335	-8.750000	35.500000	11.000012
2336	-8.750000	35.500000	5.753846
2337	-8.550000	36.000000	5.861538
2338	-8.550000	36.000000	11.000104
2339	-8.750000	36.000000	5.861538
2340	-8.750000	36.000000	11.000012

;elementos porta

2401	7.549998	43.150000	9.716923
2402	7.549998	44.150000	9.716923
2403	7.549998	44.150000	7.616923
2404	7.549998	43.150000	7.401538
2405	-7.549999	43.150000	7.401538
2406	-7.549999	44.150000	7.616923
2407	-7.550000	44.150000	9.716923
2408	-7.550000	43.150000	9.716923
2409	-2.250000	35.500000	3.500000
2410	-3.750000	35.500000	3.500000
2411	-3.750000	35.500000	1.300000
2412	-2.250000	35.500000	1.300000
2413	2.250000	35.500000	3.500000
2414	2.250000	35.500000	1.300000
2415	3.750000	35.500000	1.300000
2416	3.750000	35.500000	3.500000
2417	-8.750000	17.500000	2.200000



2418	-8.750000	15.500000	2.200000
2419	-8.750000	15.500000	1.900000
2420	-8.750000	15.500000	-0.000000
2421	-8.750000	17.500000	-0.000000
2422	-8.750000	17.500000	1.900000
2423	-8.750000	22.675000	0.373750
2424	-8.750000	24.675000	0.518194
2425	-8.750000	24.675000	1.900000
2426	-8.750000	24.675000	2.573750
2427	-8.750000	22.675000	2.573750
2428	-8.750000	22.675000	1.900000

;forro original

3001	1.270007	10.499994	9.577905
3002	1.269986	41.799995	9.577824
3003	1.680058	41.799996	9.304442
3004	1.680080	10.499994	9.304523
3005	4.752441	10.499997	9.707425
3006	4.752418	44.800000	9.707335
3007	5.795438	44.800000	10.180319
3008	5.795461	10.500001	10.180410
3009	2.159009	41.799996	9.198009
3010	2.159030	10.499994	9.198090
3011	7.554477	42.277490	10.132279
3012	7.588060	42.108658	10.115224
3013	7.696446	41.946447	10.060176
3014	7.858658	41.838060	9.977791
3015	8.050000	41.800000	9.880611
3016	8.080901	41.800001	9.864916
3017	8.080937	10.500001	9.864990
3018	7.554499	10.500001	10.132362
3019	3.775260	10.499995	9.388573
3020	3.775236	44.800000	9.388483
3021	6.401133	44.800000	10.299669
3022	6.401157	10.500002	10.299759
3023	2.768196	10.499994	9.222288
3024	2.768175	41.799996	9.222207
3025	3.449999	41.799998	9.334787
3026	3.450000	44.800000	9.334779
3027	8.750000	41.800000	9.310721
3028	8.750027	10.500001	9.310802
3029	6.991385	44.800000	10.279379
3030	6.991414	10.500002	10.279492
3031	7.549998	44.800000	10.133427
3032	7.550000	42.300000	10.133435
3101	2.169981	41.799994	9.289694
3102	2.169981	10.500000	9.289694
3103	2.169981	10.500000	9.789694
3104	2.169981	41.799994	9.789694

3105	0.669981	10.500000	10.189694
3106	0.669981	41.799994	10.189694
3107	-2.169981	10.500000	9.789694
3108	-2.169981	41.799994	9.789694
3109	-0.669981	41.799994	10.189694
3110	-0.669981	10.500000	10.189694
3111	-2.169981	10.500000	9.289694
3112	-2.169981	41.799994	9.289694
3201	-2.768175	41.799996	9.222207
3202	-2.768196	10.499994	9.222288
3203	-3.775260	10.499995	9.388573
3204	-3.775237	44.800000	9.388483
3205	-3.450000	44.800000	9.334779
3206	-3.450000	41.799998	9.334787
3207	-5.795438	44.800000	10.180319
3208	-5.795462	10.500001	10.180410
3209	-6.401157	10.500002	10.299759
3210	-6.401133	44.800000	10.299669
3211	-4.752442	10.499997	9.707425
3212	-4.752418	44.800000	9.707335
3213	-7.588060	42.108658	10.115224
3214	-7.554477	42.277490	10.132279
3215	-7.554499	10.500001	10.132362
3216	-8.080937	10.500001	9.864990
3217	-8.080902	41.800001	9.864916
3218	-8.050000	41.800000	9.880611
3219	-7.858658	41.838060	9.977791
3220	-7.696447	41.946447	10.060176
3221	-1.680059	41.799996	9.304442
3222	-1.680080	10.499994	9.304523
3223	-2.159030	10.499994	9.198090
3224	-2.159009	41.799996	9.198009
3225	-1.269986	41.799995	9.577824
3226	-1.270008	10.499994	9.577905
3227	-7.550000	42.300000	10.133435
3228	-7.549998	44.800000	10.133427
3229	-6.991385	44.800000	10.279379
3230	-6.991414	10.500002	10.279492
3231	-8.750000	10.500000	9.310824
3232	-8.750000	41.800000	9.310721

## ;forro proposta 1

4001	8.750000	12.504402	8.610826
4002	8.750000	10.499991	9.563465
4003	-8.750000	10.499991	9.563465
4004	-8.750000	12.504402	8.610826
4005	8.750000	32.550000	10.126924
4006	-8.750000	32.550000	10.126924
4007	8.750000	41.844322	9.613144
4008	-8.750000	41.844322	9.613144
4009	8.750000	44.800000	10.126923
4010	-8.750000	44.800000	10.126923

## ;forro proposta 2

5001	8.750000	38.860660	9.379965
5002	8.750000	37.860750	9.366552
5003	-8.750000	37.860750	9.366552
5004	-8.750000	38.860660	9.379965
5005	8.750000	35.863973	9.463312
5006	8.750000	34.869098	9.564428
5007	-8.750000	34.869098	9.564428
5008	-8.750000	35.863973	9.463312
5009	8.750000	36.860926	9.385319
5010	-8.750000	36.860926	9.385319
5011	8.750000	40.857438	9.476725
5012	8.750000	39.860484	9.398732
5013	-8.750000	39.860484	9.398732
5014	-8.750000	40.857438	9.476725
5015	8.750000	42.841423	9.725018
5016	8.750000	41.852313	9.577841
5017	-8.750000	41.852313	9.577841
5018	-8.750000	42.841423	9.725018
5019	8.750000	43.825684	9.901736
5020	-8.750000	43.825684	9.901736
5021	8.750000	33.879988	9.711605
5022	-8.750000	33.879988	9.711605
5023	8.750000	44.800000	10.126931
5024	-8.750000	44.800000	10.126931
5025	8.750000	32.944939	9.879487
5026	-8.750000	32.944939	9.879487
5027	8.750000	31.921411	10.113510
5028	-8.750000	31.921411	10.113510
5101	8.750000	29.982498	9.623744
5102	8.750000	29.001578	9.429334
5103	-8.750000	29.001578	9.429334
5104	-8.750000	29.982498	9.623744
5105	8.750000	30.955301	9.855379
5106	-8.750000	30.955301	9.855379

5107	8.750000	27.015053	9.207663
5108	8.750000	26.015802	9.168964
5109	-8.750000	26.015802	9.168964
5110	-8.750000	27.015053	9.207663
5111	8.750000	22.037262	9.510005
5112	8.750000	21.054082	9.692644
5113	-8.750000	21.054082	9.692644
5114	-8.750000	22.037262	9.510005
5115	8.750000	23.025066	9.354299
5116	-8.750000	23.025066	9.354299
5117	8.750000	28.012069	9.284863
5118	-8.750000	28.012069	9.284863
5119	8.750000	31.921411	10.113510
5120	-8.750000	31.921411	10.113510
5121	8.750000	25.015802	9.168964
5122	8.750000	24.018083	9.236335
5123	-8.750000	24.018083	9.236335
5124	-8.750000	25.015802	9.168964
5201	8.750000	20.182367	9.202631
5202	8.750000	19.302825	8.726811
5203	-8.750000	19.302825	8.726811
5204	-8.750000	20.182367	9.202631
5205	8.750000	13.411001	8.095763
5206	8.750000	12.422071	8.244142
5207	-8.750000	12.422071	8.244142
5208	-8.750000	13.411001	8.095763
5209	8.750000	14.397839	7.934046
5210	-8.750000	14.397839	7.934046
5211	8.750000	11.484713	8.592511
5212	-8.750000	11.484713	8.592511
5213	8.750000	10.500001	8.976757
5214	-8.750000	10.500001	8.976757
5215	8.750000	18.344294	8.441822
5216	-8.750000	18.344294	8.441822
5217	8.750000	15.396959	7.975979
5218	-8.750000	15.396959	7.975979
5219	8.750000	17.389698	8.143918
5220	8.750000	16.394508	8.045954
5221	-8.750000	16.394508	8.045954
5222	-8.750000	17.389698	8.143918
5223	8.750000	21.054082	9.692644
5224	-8.750000	21.054082	9.692644

;audiencia

6001	-7.450000	32.000000	5.000000
6002	-0.600000	32.000000	5.000000
6003	-0.600000	31.831555	5.782065
6004	-7.450000	31.831555	5.782065
6005	-7.450000	41.800000	7.110769
6006	-7.450000	41.631555	7.892835
6007	-0.600000	41.142764	7.787557
6008	-0.600000	41.311209	7.005491
6009	-4.250000	41.311209	7.005491
6010	-4.250000	41.142764	7.787557
6011	6.350000	44.311209	7.651645
6012	4.250000	44.311209	7.651645
6013	4.250000	44.142764	8.433710
6014	6.350000	44.142764	8.433710
6015	4.250000	41.142764	7.787557
6016	0.600000	41.142764	7.787557
6017	0.600000	31.831555	5.782065
6018	7.450000	31.831555	5.782065
6019	7.450000	41.631555	7.892835
6020	6.350000	41.631555	7.892835
6021	0.600000	32.000000	5.000000
6022	7.450000	32.000000	5.000000
6023	-6.350000	44.311209	7.651645
6024	-6.350000	41.800000	7.110769
6025	-6.350000	41.631555	7.892835
6026	-6.350000	44.142764	8.433710
6027	4.250000	41.311209	7.005491
6028	-4.250000	44.142764	8.433710
6029	0.600000	41.311209	7.005491
6030	-4.250000	44.311209	7.651645
6031	7.450000	41.800000	7.110769
6032	6.350000	41.800000	7.110769
6101	-7.050000	17.442372	0.797922
6102	-1.000000	17.442372	0.797922
6103	-1.000000	33.148347	1.932242
6104	-7.050000	33.148347	1.932242
6105	-1.000000	33.205975	1.134320
6106	-7.050000	33.205975	1.134320
6107	-1.000000	17.500000	0.000000
6108	-7.050000	17.500000	0.000000
6109	7.050000	33.205975	1.134320
6110	1.000000	33.205975	1.134320
6111	1.000000	33.148347	1.932242
6112	7.050000	33.148347	1.932242
6113	1.000000	17.500000	0.000000
6114	7.050000	17.500000	0.000000

6115 7.050000 17.442372 0.797922

6116 1.000000 17.442372 0.797922

PLANES

;envoltoria piso

:[ 101 / 101 102 103 104 105 /

taco]

[ 111 / 111 112 113 114 /

taco]

;envoltoria paredes

[ 1 / 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 /

argamassa]

[ 2 / 16 17 18 19 20 21 22 /

argamassa]

[ 3 / 23 24 25 26 /

argamassa]

[ 4 / 24 23 17 27 /

argamassa]

[ 5 / 25 3 2 26 /

argamassa]

;envoltoria forro

[ 301 / 301 302 303 304 /

forro]

[ 302 / 305 306 307 308 309 310 311 312 /

forro]

;palco piso

[ 401 / 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416  
417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 / asoalho]

;palco frente

[ 501 / 501 502 503 504 /

asoalho]

[ 502 / 505 501 504 506 /

asoalho]

[ 503 / 507 508 509 510 /

asoalho]

[ 504 / 511 512 513 514 /

asoalho]

[ 505 / 515 511 514 516 /

asoalho]

[ 506 / 517 518 519 520 /

asoalho]

[ 507 / 518 521 522 519 /

asoalho]

[ 508 / 521 523 524 522 /

asoalho]

[ 509 / 510 509 525 513 512 /

asoalho]

[ 510 / 526 517 520 527 /

asoalho]

[ 511 / 523 515 516 524 /

asoalho]

[ 512 / 506 526 527 505 /

asoalho]

;palco escada

[ 601 / 601 602 603 604 605 606 /

asoalho]

[ 602 / 605 604 607 608 /

asoalho]

[ 603 / 609 610 611 612 /

asoalho]

[ 604 / 613 614 615 616 /

asoalho]

[ 605 / 612 611 617 618 /

asoalho]

[ 606 / 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 607 604 603  
602 / asoalho]

[ 607 / 614 632 633 634 601 606 605 608 635 636 617 611 610 637 615 /  
asoalho]

[ 608 / 613 638 632 614 /

asoalho]

[ 609 / 616 615 637 639 /

asoalho]

[ 610 / 639 637 610 609 /	asoalho]
[ 611 / 634 633 620 619 /	asoalho]
[ 612 / 635 631 630 636 /	asoalho]
[ 613 / 634 619 602 601 /	asoalho]
[ 614 / 608 607 631 635 /	asoalho]
[ 701 / 701 702 703 704 /	asoalho]
[ 702 / 705 706 707 708 /	asoalho]
[ 703 / 709 710 711 712 /	asoalho]
[ 704 / 713 714 715 716 717 718 /	asoalho]
[ 705 / 708 707 710 709 /	asoalho]
[ 706 / 702 719 720 721 722 703 /	asoalho]
[ 707 / 720 723 724 725 726 721 /	asoalho]
[ 708 / 716 715 727 728 /	asoalho]
[ 709 / 729 730 731 732 /	asoalho]
[ 710 / 733 734 735 705 708 709 712 736 737 738 739 740 741 727 715 714	asoalho]
713 742 /	asoalho]
[ 711 / 732 743 744 729 /	asoalho]
[ 712 / 745 733 742 746 /	asoalho]
[ 713 / 727 741 740 747 748 728 /	asoalho]
[ 714 / 706 749 743 732 731 704 703 722 721 726 725 750 751 752 753 754	asoalho]
755 711 710 707 /	asoalho]
[ 715 / 746 742 713 718 /	asoalho]
[ 716 / 711 755 754 737 736 712 /	asoalho]
[ 717 / 730 701 704 731 /	asoalho]
[ 718 / 754 753 752 739 738 737 /	asoalho]
[ 719 / 705 735 749 706 /	asoalho]
[ 720 / 745 756 734 733 /	asoalho]
[ 801 / 801 802 803 804 /	asoalho]
[ 802 / 805 806 807 808 809 810 801 804 811 812 813 814 815 816 817 818	asoalho]
819 /	asoalho]
[ 803 / 820 821 822 823 824 825 826 803 802 827 828 829 830 831 832 /	asoalho]
[ 804 / 825 833 834 826 /	asoalho]
[ 805 / 807 830 829 828 809 808 /	asoalho]
[ 806 / 809 828 827 810 /	asoalho]
[ 807 / 824 835 833 825 /	asoalho]
[ 808 / 806 831 830 807 /	asoalho]
[ 809 / 832 831 806 805 /	asoalho]
[ 810 / 836 837 821 820 /	asoalho]
[ 811 / 821 837 838 822 /	asoalho]
[ 812 / 823 839 835 824 /	asoalho]
[ 813 / 822 838 839 823 /	asoalho]
[ 814 / 810 827 802 801 /	asoalho]
[ 901 / 901 902 903 904 /	asoalho]
[ 902 / 905 906 907 908 /	asoalho]
[ 903 / 909 910 911 912 913 914 /	asoalho]
[ 904 / 915 916 917 918 /	asoalho]

930	[ 905 / 919 920 905 908 921 922 910 909 914 923 924 925 926 927 928 929	asoalho]
931	/	
	[ 906 / 932 933 934 935 936 937 /	asoalho]
	[ 907 / 921 908 907 938 939 922 /	asoalho]
	[ 908 / 940 937 936 941 942 943 /	asoalho]
	[ 909 / 944 930 929 945 /	asoalho]
	[ 910 / 933 915 918 934 /	asoalho]
	[ 911 / 922 939 911 910 /	asoalho]
	[ 912 / 945 929 928 946 /	asoalho]
918	[ 913 / 947 944 945 946 948 949 950 951 952 953 954 942 941 936 935 934	asoalho]
917	902 901 /	
	[ 914 / 955 956 920 919 /	asoalho]
	[ 915 / 931 930 944 947 /	asoalho]
	[ 916 / 949 948 927 926 925 950 /	asoalho]
	[ 917 / 951 950 925 924 923 952 /	asoalho]
	[ 918 / 916 903 902 917 /	asoalho]
	[ 919 / 946 928 927 948 /	asoalho]
	[ 920 / 920 956 906 905 /	asoalho]
	;palco boca de cena	
	[ 1001/ 1001 1002 1003 1004 /	argamassa]
	[ 1002/ 1005 1006 1007 1008 /	argamassa]
	[ 1003/ 1007 1004 1003 1009 1010 1011 1012 1008 /	argamassa]
	[ 1004/ 1006 1001 1004 1007 /	argamassa]
	[ 1005/ 1013 1014 1015 1016 1002 1001 1006 1005 /	argamassa]
	;palco parede curva	
	[ 1101/ 1101 1102 1103 1104 1105 1106 1107 1108 /	gesso]
	[ 1102/ 1109 1110 1111 1112 1113 1114 1115 1116 /	gesso]
	[ 1103/ 1113 1108 1107 1114 /	gesso]
	[ 1104/ 1112 1111 1102 1101 /	gesso]
	[ 1105/ 1106 1105 1117 1118 /	gesso]
	[ 1106/ 1104 1103 1119 1120 /	gesso]
	[ 1107/ 1121 1116 1115 1122 /	gesso]
	[ 1108/ 1123 1124 1110 1109 /	gesso]
	[ 1109/ 1120 1119 1125 1126 1118 1117 /	gesso]
	[ 1110/ 1122 1127 1128 1124 1123 1121 /	gesso]
	[ 1111/ 1129 1130 1131 1132 /	gesso]
	[ 1112/ 1133 1134 1135 1136 /	gesso]
	[ 1113/ 1137 1138 1139 1140 /	gesso]
	[ 1114/ 1141 1142 1143 1144 /	gesso]
	[ 1115/ 1145 1146 1147 1148 /	gesso]
	[ 1116/ 1149 1150 1142 1141 1134 1133 1140 1139 /	gesso]
	[ 1117/ 1144 1143 1130 1129 1145 1148 1136 1135 /	gesso]
	[ 1118/ 1151 1152 1150 1149 /	gesso]
	[ 1119/ 1153 1154 1152 1151 1138 1137 /	gesso]
	[ 1120/ 1155 1147 1146 1132 1131 1156 /	gesso]



;palco vidro	
[ 1201/ 1201 1202 1203 1204 /	vidro]
[ 1202/ 1205 1206 1207 1208 /	vidro]
[ 1203/ 1209 1210 1211 1212 /	vidro]
[ 1204/ 1213 1214 1215 1216 /	vidro]
[ 1205/ 1217 1218 1219 1220 /	vidro]
[ 1206/ 1221 1222 1223 1224 /	vidro]
;pisso plateia	
[ 1301/ 1301 1302 1303 1304 /	taco]
;pisso mezanino	
[ 1401/ 1401 1402 1403 1404 1405 1406 /	taco]
[ 1402/ 1406 1405 1407 1408 1409 1410 1411 1412 /	taco]
;mezanino guarda corpo	
[ 1501/ 1501 1502 1503 1504 /	argamassa]
[ 1502/ 1505 1506 1507 1508 1509 1503 1502 1510 /	argamassa]
[ 1503/ 1511 1512 1506 1505 /	argamassa]
[ 1504/ 1510 1502 1501 1513 /	argamassa]
[ 1505/ 1503 1509 1514 1504 /	argamassa]
[ 1506/ 1506 1512 1515 1507 /	argamassa]
[ 1507/ 1515 1516 1508 1507 /	argamassa]
;mezanino forro	
[ 1601/ 1601 1602 1603 1604 1605 1606 /	argamassa]
[ 1602/ 1602 1607 1608 1603 /	argamassa]
;mezanino parede baixa	
[ 1701/ 1701 1702 1703 1704 1705 1706 1707 1708 1709 1710 1711 1712 /	argamassa]
;mezanino parede alta	
[ 1801/ 1801 1802 1803 1804 /	argamassa]
[ 1802/ 1805 1806 1807 1808 /	argamassa]
[ 1803/ 1804 1803 1809 1810 /	argamassa]
[ 1804/ 1806 1811 1812 1807 /	argamassa]
[ 1805/ 1813 1814 1815 1816 1817 /	argamassa]
[ 1806/ 1818 1819 1820 1821 /	argamassa]
[ 1807/ 1822 1823 1824 1825 /	argamassa]
[ 1808/ 1826 1827 1819 1818 /	argamassa]
[ 1809/ 1828 1829 1830 1831 1832 1833 1834 1835 /	argamassa]
[ 1810/ 1836 1837 1838 1839 1840 1841 1842 1843 /	argamassa]
[ 1811/ 1839 1838 1827 1826 /	argamassa]
[ 1812/ 1810 1809 1829 1828 /	argamassa]
[ 1813/ 1825 1824 1802 1801 /	argamassa]
[ 1814/ 1844 1845 1812 1811 /	argamassa]
[ 1815/ 1821 1820 1817 1816 /	argamassa]

[ 1851/ 1851 1852 1853 1854 / argamassa]  
 [ 1852/ 1855 1856 1857 1858 / argamassa]

;elemento concreto

[ 1901/ 1901 1902 1903 1904 / argamassa]  
 [ 1902/ 1905 1906 1901 1904 1907 /  
 argamassa]

[ 1903/ 1908 1909 1910 1911 / argamassa]  
 [ 1904/ 1913 1908 1911 1912 / argamassa]  
 [ 1905/ 1911 1910 1914 1912 / argamassa]  
 [ 1906/ 1915 1916 1917 1918 / argamassa]  
 [ 1907/ 1917 1919 1920 1918 / argamassa]  
 [ 1908/ 1917 1916 1921 1919 / argamassa]  
 [ 1909/ 1922 1923 1924 1925 / argamassa]  
 [ 1910/ 1926 1923 1922 1927 / argamassa]  
 [ 1911/ 1926 1928 1924 1923 / argamassa]  
 [ 1912/ 1927 1929 1928 1926 / argamassa]

;elemento coluna

[ 2001/ 2001 2002 2003 2004 / argamassa]  
 [ 2002/ 2005 2006 2007 2008 / argamassa]  
 [ 2003/ 2009 2010 2011 2012 / argamassa]  
 [ 2004/ 2013 2014 2015 2016 / argamassa]  
 [ 2005/ 2005 2008 2003 2002 / argamassa]  
 [ 2006/ 2017 2016 2015 2018 / argamassa]  
 [ 2007/ 2019 2020 2021 2022 / argamassa]  
 [ 2008/ 2019 2022 2023 2024 / argamassa]  
 [ 2009/ 2025 2024 2023 2026 / argamassa]  
 [ 2010/ 2013 2027 2028 2014 / argamassa]  
 [ 2011/ 2029 2030 2031 2032 / argamassa]  
 [ 2012/ 2012 2011 2031 2030 / argamassa]

[ 2101/ 2101 2102 2103 2104 / argamassa]  
 [ 2102/ 2105 2106 2107 2108 / argamassa]  
 [ 2103/ 2109 2110 2111 2112 / argamassa]  
 [ 2104/ 2113 2114 2115 2116 / argamassa]  
 [ 2105/ 2113 2116 2111 2110 / argamassa]  
 [ 2106/ 2117 2118 2119 2120 / argamassa]  
 [ 2107/ 2121 2122 2123 2124 / argamassa]  
 [ 2108/ 2124 2125 2126 2121 / argamassa]  
 [ 2109/ 2103 2118 2117 2104 / argamassa]  
 [ 2110/ 2126 2125 2127 2128 / argamassa]  
 [ 2111/ 2129 2130 2131 2132 / argamassa]  
 [ 2112/ 2132 2106 2105 2129 / argamassa]  
 [ 2113/ 2133 2134 2135 2136 / argamassa]  
 [ 2114/ 2134 2133 2137 2138 / argamassa]  
 [ 2115/ 2139 2140 2138 2137 / argamassa]

[ 2201/ 2201 2202 2203 2204 / argamassa]  
 [ 2202/ 2205 2206 2207 2208 / argamassa]  
 [ 2203/ 2209 2210 2211 2212 / argamassa]  
 [ 2204/ 2213 2214 2215 2216 / argamassa]  
 [ 2205/ 2205 2208 2217 2218 / argamassa]  
 [ 2206/ 2219 2220 2207 2206 / argamassa]  
 [ 2207/ 2221 2222 2223 2224 / argamassa]  
 [ 2208/ 2225 2226 2227 2228 / argamassa]  
 [ 2209/ 2229 2230 2231 2232 / argamassa]  
 [ 2210/ 2221 2204 2203 2222 / argamassa]  
 [ 2211/ 2209 2216 2215 2210 / argamassa]  
 [ 2212/ 2225 2232 2231 2226 / argamassa]

[ 2301/ 2301 2302 2303 2304 / argamassa]  
 [ 2302/ 2305 2306 2302 2301 / argamassa]  
 [ 2303/ 2304 2303 2307 2308 / argamassa]  
 [ 2304/ 2309 2310 2311 2312 / argamassa]  
 [ 2305/ 2313 2314 2315 2316 / argamassa]  
 [ 2306/ 2309 2312 2317 2318 / argamassa]  
 [ 2307/ 2319 2320 2311 2310 / argamassa]  
 [ 2308/ 2321 2322 2323 2324 / argamassa]  
 [ 2309/ 2325 2326 2327 2328 / argamassa]  
 [ 2310/ 2325 2329 2330 2326 / argamassa]  
 [ 2311/ 2329 2331 2332 2330 / argamassa]  
 [ 2312/ 2333 2334 2335 2336 / argamassa]  
 [ 2313/ 2313 2321 2324 2314 / argamassa]  
 [ 2314/ 2333 2337 2338 2334 / argamassa]  
 [ 2315/ 2339 2340 2338 2337 / argamassa]

;elementos porta

[ 2401/ 2401 2402 2403 2404 / porta]  
 [ 2402/ 2405 2406 2407 2408 / porta]  
 [ 2403/ 2409 2410 2411 2412 / porta]  
 [ 2404/ 2413 2414 2415 2416 / porta]  
 [ 2405/ 2417 2418 2419 2420 2421 2422 / porta]  
 [ 2406/ 2423 2424 2425 2426 2427 2428 / porta]

;forro original

[ 3001/ 3001 3002 3003 3004 / forro]  
 [ 3002/ 3005 3006 3007 3008 / forro]  
 [ 3003/ 3004 3003 3009 3010 / forro]  
 [ 3004/ 3011 3012 3013 3014 3015 3016 3017 3018 / forro]  
 [ 3005/ 3019 3020 3006 3005 / forro]  
 [ 3006/ 3008 3007 3021 3022 / forro]  
 [ 3007/ 3023 3024 3025 3026 3020 3019 / forro]  
 [ 3008/ 3017 3016 3027 3028 / forro]  
 [ 3009/ 3022 3021 3029 3030 / forro]  
 [ 3010/ 3031 3032 3011 3018 3030 3029 / forro]  
 [ 3011/ 3010 3009 3024 3023 / forro]

[ 3101/ 3101 3102 3103 3104 /	forro]
[ 3102/ 3104 3103 3105 3106 /	forro]
[ 3103/ 3107 3108 3109 3110 /	forro]
[ 3104/ 3109 3106 3105 3110 /	forro]
[ 3105/ 3112 3108 3107 3111 /	forro]
[ 3201/ 3201 3202 3203 3204 3205 3206 /	forro]
[ 3202/ 3207 3208 3209 3210 /	forro]
[ 3203/ 3204 3203 3211 3212 /	forro]
[ 3204/ 3213 3214 3215 3216 3217 3218 3219 3220 /	forro]
[ 3205/ 3221 3222 3223 3224 /	forro]
[ 3206/ 3212 3211 3208 3207 /	forro]
[ 3207/ 3225 3226 3222 3221 /	forro]
[ 3208/ 3224 3223 3202 3201 /	forro]
[ 3209/ 3227 3228 3229 3230 3215 3214 /	forro]
[ 3210/ 3210 3209 3230 3229 /	forro]
[ 3211/ 3217 3216 3231 3232 /	forro]

## ;forro proposta

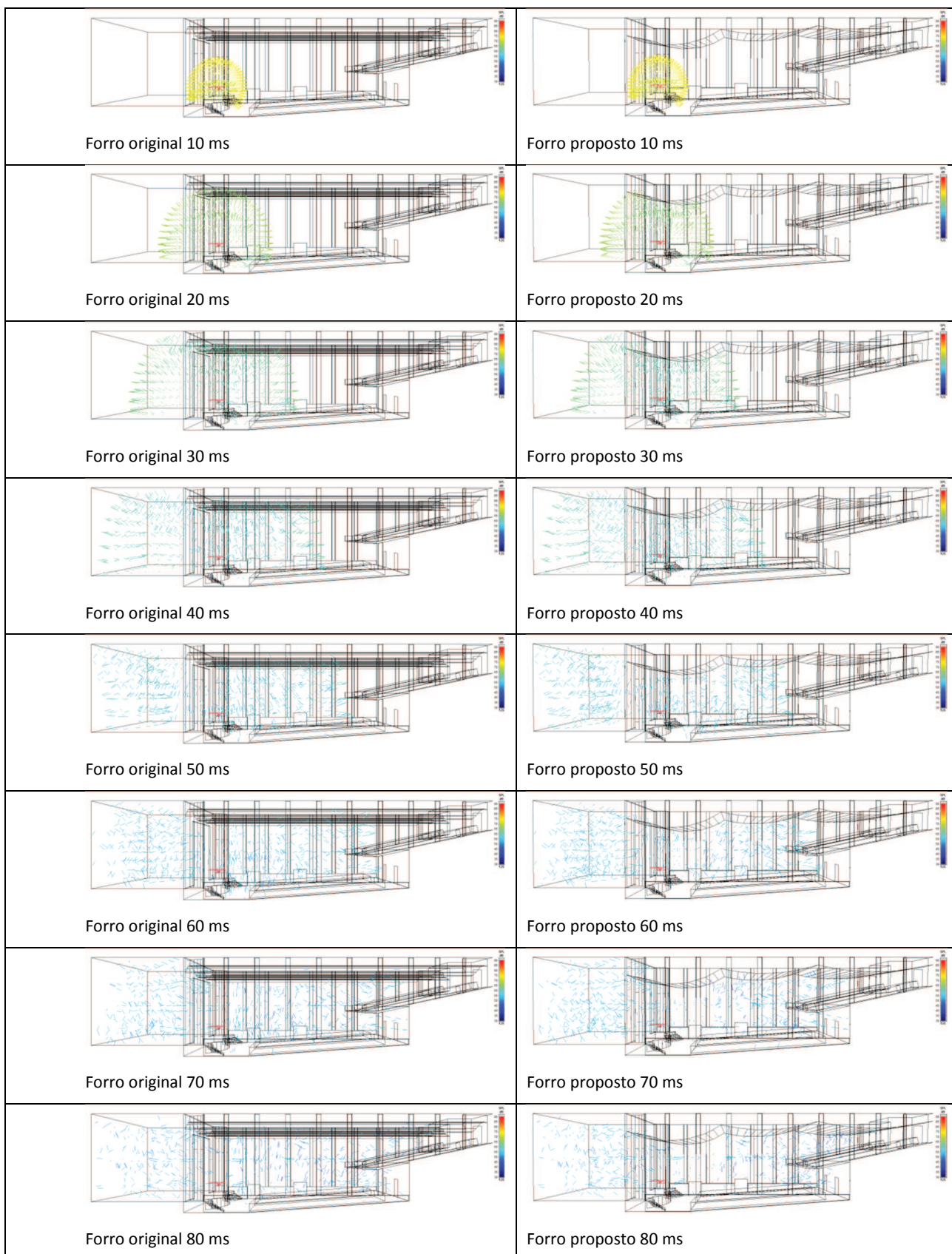
;[ 5001 / 5001 5002 5003 5004 /	forro]
;[ 5002 / 5005 5006 5007 5008 /	forro]
;[ 5003 / 5002 5009 5010 5003 /	forro]
;[ 5004 / 5011 5012 5013 5014 /	forro]
;[ 5005 / 5015 5016 5017 5018 /	forro]
;[ 5006 / 5019 5015 5018 5020 /	forro]
;[ 5007 / 5006 5021 5022 5007 /	forro]
;[ 5008 / 5023 5019 5020 5024 /	forro]
;[ 5009 / 5021 5025 5026 5022 /	forro]
;[ 5010 / 5016 5011 5014 5017 /	forro]
;[ 5011 / 5025 5027 5028 5026 /	forro]
;[ 5012 / 5012 5001 5004 5013 /	forro]
;[ 5013 / 5009 5005 5008 5010 /	forro]
;[ 5101 / 5101 5102 5103 5104 /	forro]
;[ 5102 / 5105 5101 5104 5106 /	forro]
;[ 5103 / 5107 5108 5109 5110 /	forro]
;[ 5104 / 5111 5112 5113 5114 /	forro]
;[ 5105 / 5115 5111 5114 5116 /	forro]
;[ 5106 / 5117 5107 5110 5118 /	forro]
;[ 5107 / 5119 5105 5106 5120 /	forro]
;[ 5108 / 5121 5122 5123 5124 /	forro]
;[ 5109 / 5108 5121 5124 5109 /	forro]
;[ 5110 / 5102 5117 5118 5103 /	forro]
;[ 5111 / 5122 5115 5116 5123 /	forro]
;[ 5201 / 5201 5202 5203 5204 /	forro]
;[ 5202 / 5205 5206 5207 5208 /	forro]
;[ 5203 / 5209 5205 5208 5210 /	forro]
;[ 5204 / 5206 5211 5212 5207 /	forro]
;[ 5205 / 5211 5213 5214 5212 /	forro]
;[ 5206 / 5202 5215 5216 5203 /	forro]
;[ 5207 / 5217 5209 5210 5218 /	forro]

;[ 5208	/ 5219 5220 5221 5222 /	forro]
;[ 5209	/ 5220 5217 5218 5221 /	forro]
;[ 5210	/ 5215 5219 5222 5216 /	forro]
;[ 5211	/ 5223 5201 5204 5224 /	forro]

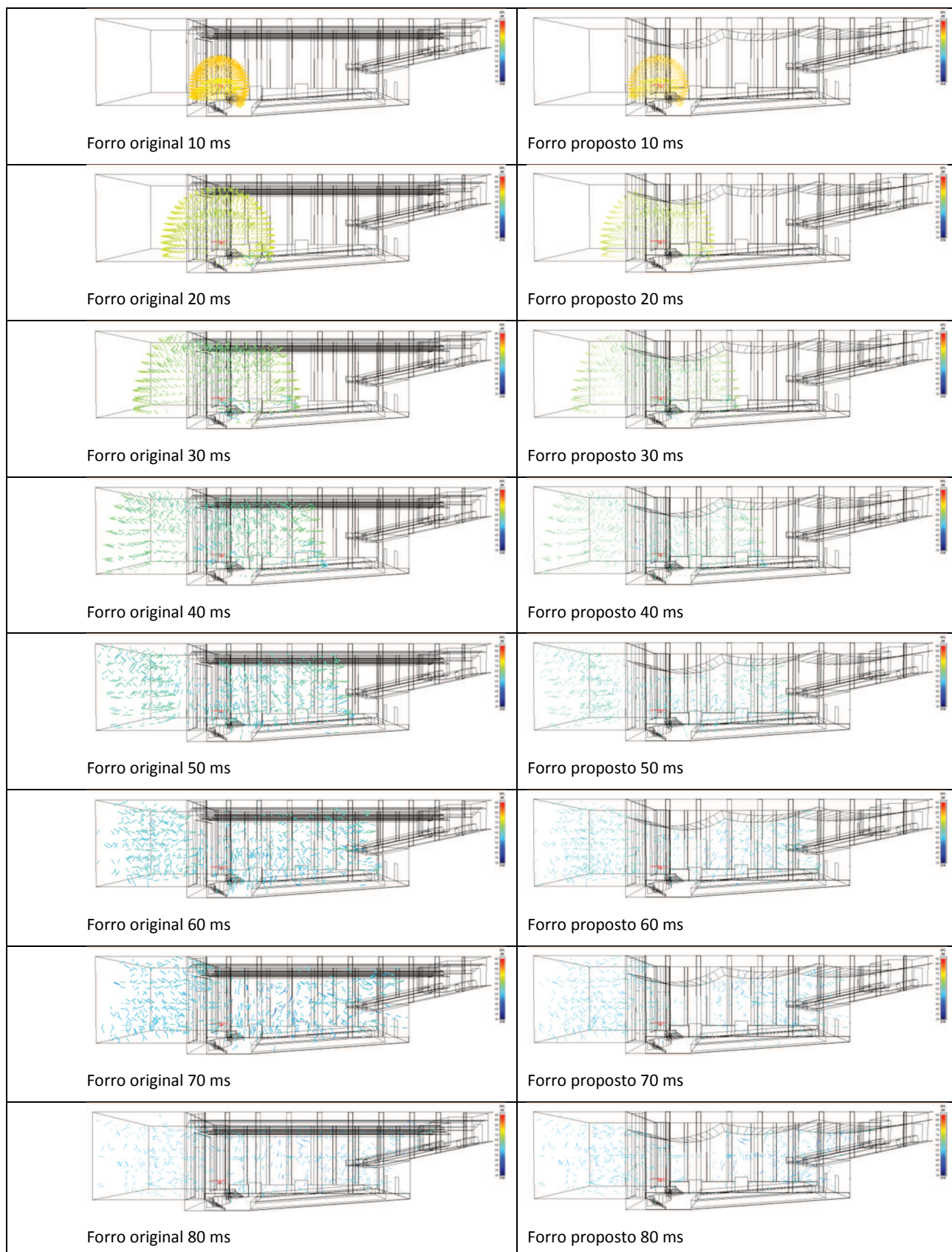
;audiencia

[ 6001/ 6001 6002 6003 6004 /	audiencia]
[ 6002/ 6005 6001 6004 6006 /	audiencia]
[ 6003/ 6007 6008 6009 6010 /	audiencia]
[ 6004/ 6011 6012 6013 6014 /	audiencia]
[ 6005/ 6015 6016 6017 6018 6019 6020 6014 6013 /	audiencia]
[ 6006/ 6007 6003 6002 6008 /	audiencia]
[ 6007/ 6017 6021 6022 6018 /	audiencia]
[ 6008/ 6023 6024 6025 6026 /	audiencia]
[ 6009/ 6012 6027 6015 6013 /	audiencia]
[ 6010/ 6004 6003 6007 6010 6028 6026 6025 6006 /	audiencia]
[ 6011/ 6027 6029 6016 6015 /	audiencia]
[ 6012/ 6017 6016 6029 6021 /	audiencia]
[ 6013/ 6030 6023 6026 6028 /	audiencia]
[ 6014/ 6024 6005 6006 6025 /	audiencia]
[ 6015/ 6010 6009 6030 6028 /	audiencia]
[ 6016/ 6022 6031 6019 6018 /	audiencia]
[ 6017/ 6031 6032 6020 6019 /	audiencia]
[ 6018/ 6020 6032 6011 6014 /	audiencia]
[ 6101/ 6101 6102 6103 6104 /	audiencia]
[ 6102/ 6105 6106 6104 6103 /	audiencia]
[ 6103/ 6107 6105 6103 6102 /	audiencia]
[ 6104/ 6106 6108 6101 6104 /	audiencia]
[ 6105/ 6108 6107 6102 6101 /	audiencia]
[ 6106/ 6109 6110 6111 6112 /	audiencia]
[ 6107/ 6113 6114 6115 6116 /	audiencia]
[ 6108/ 6114 6109 6112 6115 /	audiencia]
[ 6109/ 6116 6115 6112 6111 /	audiencia]
[ 6110/ 6110 6113 6116 6111 /	audiencia]

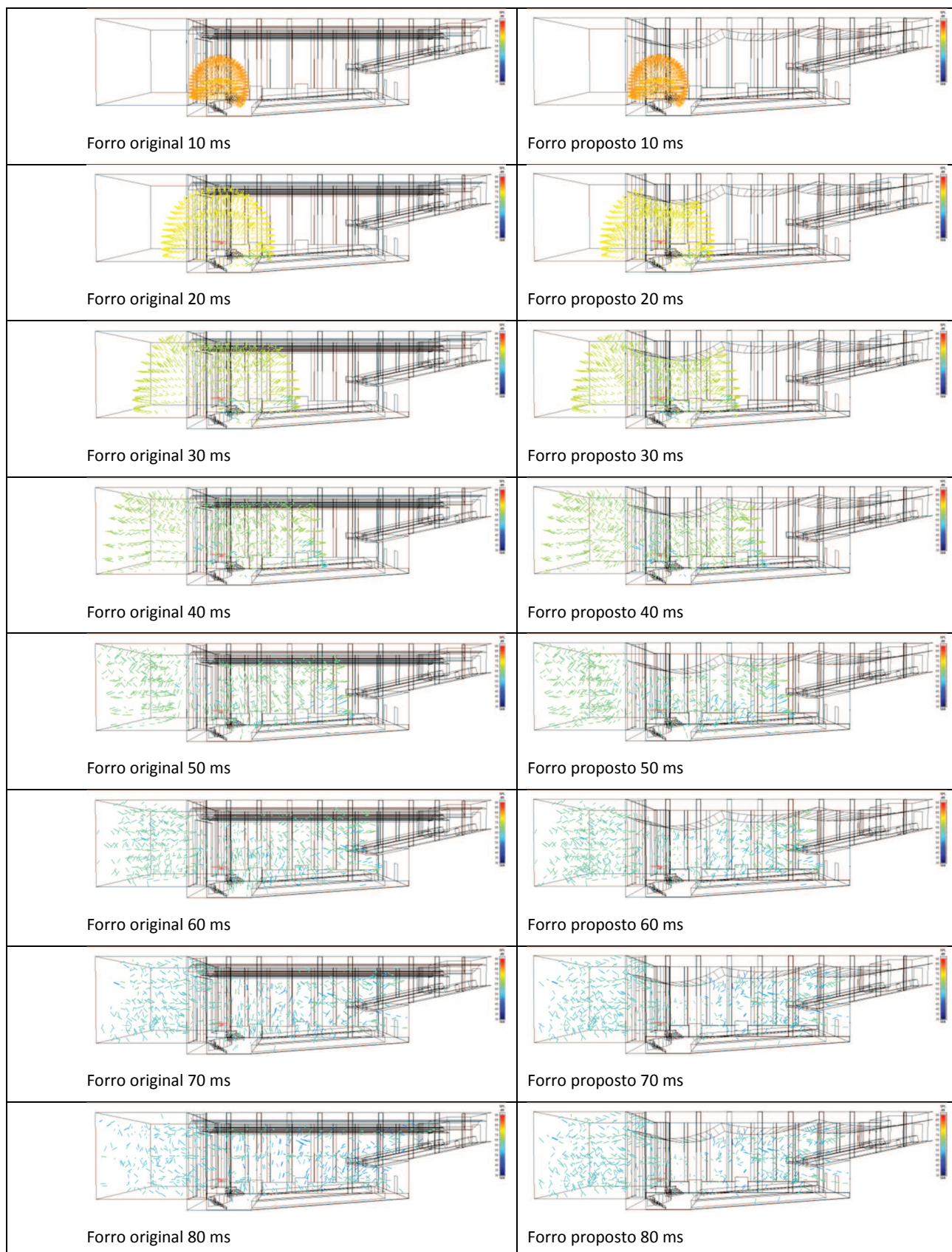
## APÊNDICE B – REFLEXÃO DOS RAIOS SONOROS EM 80 MS NA BANDA DE 125 HZ.



## APÊNDICE C – REFLEXÃO DOS RAIOS SONOROS EM 80 MS NA BANDA DE 250 HZ.

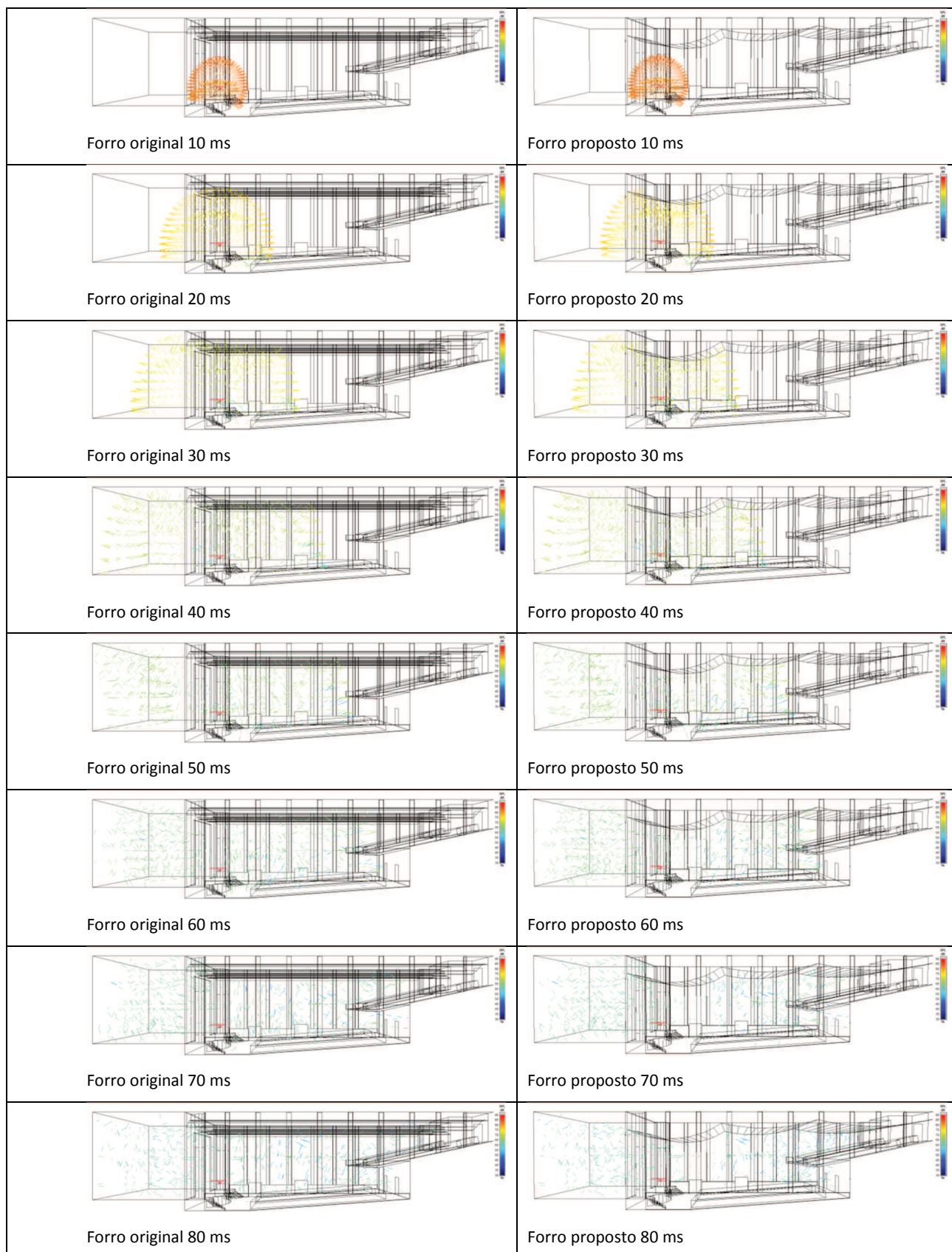


## APÊNDICE D – REFLEXÃO DOS RAIOS SONOROS EM 80 MS NA BANDA DE 500 HZ.

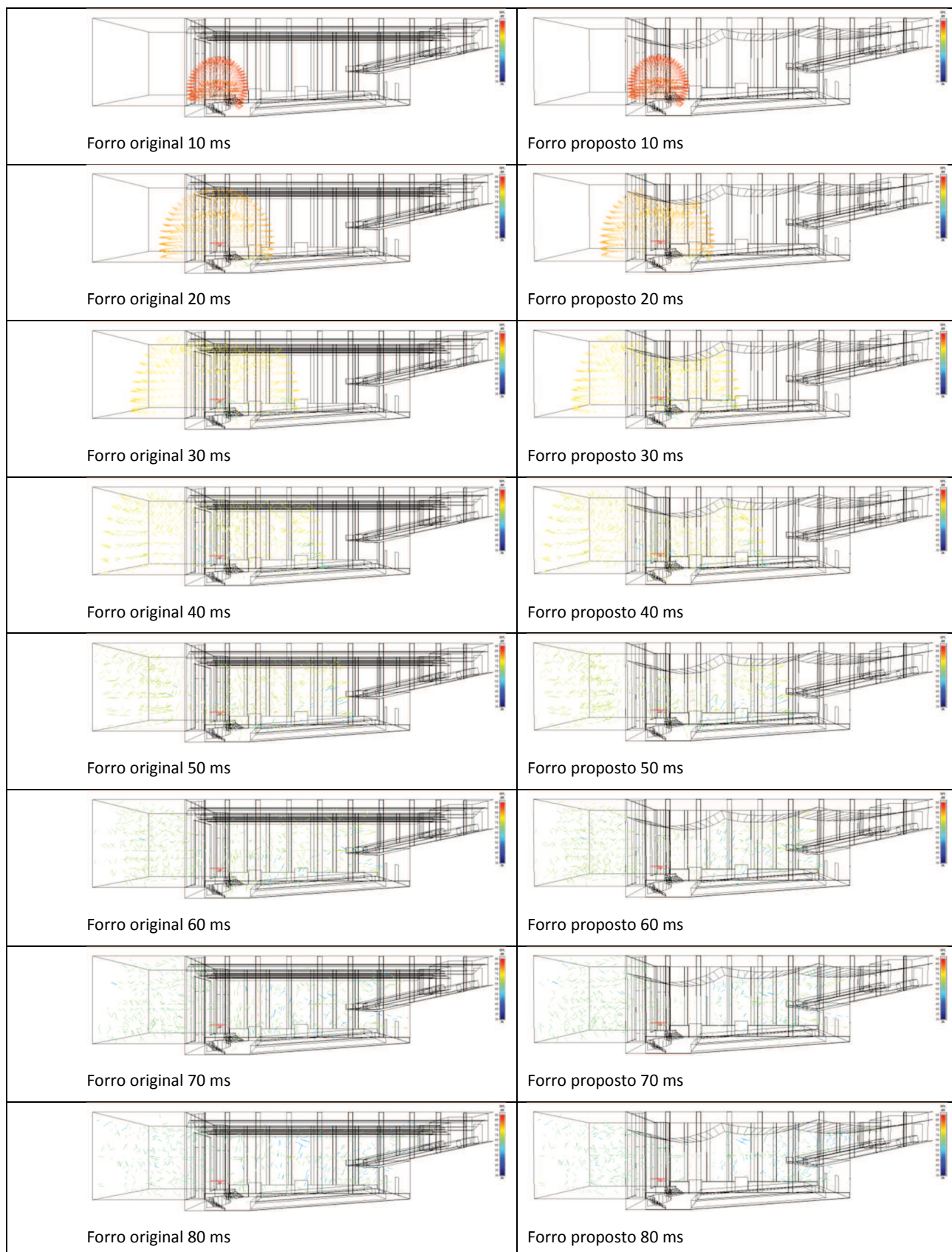




## APÊNDICE E – REFLEXÃO DOS RAIOS SONOROS EM 80 MS NA BANDA DE 1000 HZ.



## APÊNDICE F – REFLEXÃO DOS RAIOS SONOROS EM 80 MS NA BANDA DE 2000 HZ.



## APÊNDICE G – REFLEXÃO DOS RAIOS SONOROS EM 80 MS NA BANDA DE 4000 HZ.

