



# **INTERFERÊNCIA DO FORRO PARA MELHORIA DA QUALIDADE ACÚSTICA EM TEMPLO EVANGÉLICO**

**JÔSSANDRA RODRIGUES DE OLIVEIRA**

**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**JÔSSANDRA RODRIGUES DE OLIVEIRA**

**Interferência do forro para melhoria da qualidade acústica em templo evangélico:**  
**Estudo de caso**

**Maceió**

**2017**

JÔSSANDRA RODRIGUES DE OLIVEIRA

**Interferência do forro para melhoria da qualidade acústica em templo evangélico:  
Estudo de caso**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Alagoas como requisito para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Maria Lúcia Gondim da Rosa Oiticica

Maceió

2017

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

- O48i Oliveira, Jôssandra Rodrigues de.  
Interferência do forro para melhoria da qualidade acústica em templo evangélico : 12 estudo de caso / Jôssandra Rodrigues de Oliveira. – 2017.  
135 f.: il.
- Orientadora: Maria Lúcia Gondim da Rosa Oiticica.  
Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Maceió, 2017.
- Bibliografia: f. 127-130.  
Apêndices: f. 131-135.
1. Qualidade acústica. 2. Simulação (Acústica). 3. Edifícios religiosos - Forro.  
I. Título.

CDU: 726.5: 531.775(813.5)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Jôssandra Rodrigues de Oliveira

Interferência do forro para melhoria da qualidade acústica em templo evangélico:  
Estudo de caso

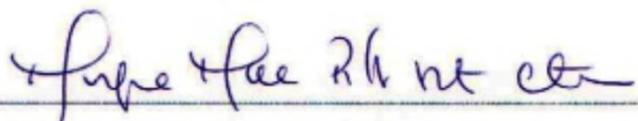
Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Arquitetura e Urbanismo da FAU/UFAL, área de concentração em Dinâmicas do Espaço Habitado, como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

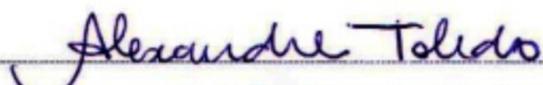
APROVADA em 25 /05/2017

BANCA EXAMINADORA

  
Prof.ª Dra. Maria Lúcia Gondim da Rosa Oiticica  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL

  
Prof.ª Dra. Bianca Carla Dantas de Araújo  
UFRN

  
Prof.ª Dra. Morgana Pitta Duarte Cavalcante  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL

  
Prof. Dr. Alexandre Márcio Toledo  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – UFAL

Aos meus sobrinhos Luiz Artur Filho e Sandoval Neto

À minha Família

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pelo que ele é. Obrigada pelo dom da vida e por toda sabedoria e direcionamentos dados até o momento.

Aos meus pais **Maria Josinalva e Sandoval**, que são minha base, meus exemplos de vida.

Obrigada por todo amor e compreensão até hoje.

À minha irmã **Jôssara**, por todo amor e cuidado. És meu orgulho! Se hoje estou chegando aqui é porque tenho uma irmã como você.

Ao meu cunhado **Luiz Artur** que tanto me ensina em como ser família. Obrigada por todo amor e cuidado.

Ao meu noivo **Laelson Gomes**, que dedicou tantas horas do seu tempo para me ajudar na conclusão dessa dissertação. Obrigada por sua disponibilidade, paciência, pelo empréstimo do notebook, por tudo. Amo você!

Ao meu amigo **Willams Raphael** que me incentivou a fazer o mestrado. Obrigada por se preocupar.

À **Universidade Federal de Alagoas** por todo ensinamento e compreensão.

À minha orientadora, **Lucinha Oiticica**, grande exemplo de ser humano. Obrigada por toda paciência, conselhos, por me ajudar a enfrentar os medos e por não desistir de mim.

À **CAPES** pelo investimento através da bolsa de estudos.

À **Thayse Nunes**, obrigada por todo incentivo e paciência. Entramos juntos nessa e vamos sair mestres!

Ao Apóstolo **Luiz Pereira** por ceder o templo para que este pudesse ser objeto de estudo da minha dissertação.

Ao mestre **Alexandre Maiorino** que não mediu esforços para me ajudar no aprendizado do software EASE, além de estar sempre disposto a tirar todas as minhas dúvidas, sempre prestativo. Obrigada de coração, você foi primordial!

Ao **Grupo de Estudos do Ambiente Sonoro (GEAS)** por todo conhecimento compartilhado.

Venceremos juntos!

Á todos meus amigos e familiares que de forma direta ou indireta me auxiliaram durante todo esse tempo.

## RESUMO

OLIVEIRA, Jôssandra Rodrigues de. **Interferência do forro para melhoria da qualidade acústica em templo evangélico: Estudo de caso.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, 2017.

O conforto acústico de um templo agrega valor ao conjunto arquitetônico, o local do culto é a união justa e o equilíbrio perfeito entre o espiritual e o material, como bem enfatiza Nicolas (2001). Os templos evangélicos caracterizam-se como espaços múltiplos, ou seja, espaços onde é executada tanto a palavra falada, quanto a música. Atuações distintas, que apresentam requisitos com exigências acústicas diferentes, entretanto, com graus de importância semelhantes. Em muitos casos, os templos já são concebidos com baixa inteligibilidade, além de apresentar alta intensidade sonora. O forro é uma das maiores áreas para ser tratada acusticamente dentro de uma edificação, podendo influenciar positiva ou negativamente na acústica da edificação. É necessário atentar para correta distribuição do som para a plateia, escolhendo a geometria e tipo de material adequado para o forro, em cada situação. Esta dissertação de mestrado trabalho tem como objetivo avaliar a interferência do forro como elemento para melhoria da qualidade acústica de um templo evangélico localizado no município de São Miguel dos Campos – AL. A metodologia abordou quatro situações, o templo sem forro, com forro paralelo ao piso – reto; com forro multifacetado; e com forro curvo. Houve uma preocupação em manter o mesmo volume da edificação nas três situações, para que fossem viáveis as comparações dos resultados. Para cada tipo de forro definiu-se dois tipos de material, um reflexivo e o outro absorvedor, em onze tipos de especificações. Através do software EASE 4.3 foi possível obter os resultados dos seguintes parâmetros: Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Índice de Clareza da fala (C50), Índice de clareza para música (C80), Definição (D50) e Índice de Transmissão da Fala (STI). Utilizou-se para avaliação as bandas de oitava. Foram realizados dois tipos de análises, a primeira se refere à análise de acordo com a ISO 3328-1 e a outra de acordo com o Sistema de Reforço Sonoro (SRS). Considerando a situação individual (por forro) e a situação comparativa (entre forros). De acordo com os resultados encontrados pode-se constatar que com a diminuição da área da superfície reflexiva nos forros, os resultados tenderam a se aproximar do que é recomendado para o templo, em todos os parâmetros. Ou seja, os Forros 100% reflexivo apresentaram piores resultados, enquanto os Forros 0% reflexivo, os melhores. Em se tratando da localização dos forros percebe-se que nas simulações de acordo com a ISO 3382-1, a medida que o forro se deslocou para o final do templo os resultados tenderam a se aproximar, e em alguns casos alcançar os valores recomendados nos parâmetros C50, C80 e D50. Para os parâmetros EDT e STI, a localização central de forro reflexivo apresentou os melhores resultados. Comparando-se as formas, houveram variações sutis nos valores dos parâmetros. De acordo com os resultados encontrados pode-se constatar que a interferência do forro na qualidade acústica do templo é positiva desde que este seja composto pelo material adequado, localização correta e quantidade necessária para atendimento aos parâmetros acústicos do templo.

**Palavras-chave:** Qualidade acústica. Templos. Forro. Simulações Acústicas.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Jôssandra Rodrigues de. **Interference liner to improve the acoustic quality of an evangelical temple**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, 2016.

The acoustic comfort of a temple adds value to the architectural ensemble, the place of worship is a just union and the perfect balance between the spiritual and the material, as Nicolas (2001) emphasizes. Evangelical temples are characterized as multiple spaces, that is, spaces where both a spoken word and a song are performed. Different performances, which require requirements with different acoustic requirements, between, with degrees of importance. In many cases, the temples are already designed with low intelligibility, in addition to presenting high sound intensity. The liner is one of the largest areas to be treated acoustically within a building, and can influence positively or negatively the acoustics of the building. It is necessary to distribute correspondence to a board by choosing a geometry and a material type suitable for the liner in each situation. This master 's dissertation aims to evaluate the interference of the liner as an element to improve the acoustic quality of an evangelical temple located in the municipality of. One methodology addressed four situations, the unlined temple, with lining parallel to the floor - straight; with multifaceted lining; and with curved lining. There was a concern to maintain the same volume of the building in the three situations, so that they were feasible as comparisons of the results. For each type of lining two types of material were defined, one reflective and the other absorbed, in eleven types of specifications. Through the software EASE 4.3, as well as the results of the respective parameters: Reverberation Time (TR), Initial Decision Time (EDT), Speech Clarity Index (C50), Clarity Index for Music (C80), Definition (D50) and Speech Transmission Index (STI). It was used for evaluation as octave bands. Two types of analysis were performed, a first analysis exam with one ISO 3328-1 and another according to Sound Reinforcement System (SRS). An individual situation (by lining) and a comparative situation (between lining). According to the results, it can be seen that with a decrease in the area of the reflective surface in the linings, the results tended to approximate what is recommended for the temple, in all parameters. That is, the 100% Reflective Liners presented worse results, while the 0% Reflective Liners, the better. In the case of the location of the linings, it can be seen that in the simulations according to ISO 3382-1, as the liner moves towards the end of the temple, the results tended to approximate and in some cases reach the values recommended in the Parameter C50, C80 and D50. For the EDT and STI parameters, a central reflective lining location presented the best results. By comparing them as shapes, there were subtle variations in parameter values. According to the results it can be seen that the lining interference in the acoustic quality of the temple is positive provided that it is composed of the appropriate material, correct location and quantity necessary to attend to the acoustic parameters of the temple.

**Palavras-chave:** Acoustic quality. Temples. Lining. Acoustic Simulations.

## LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Comportamentos do som diante de uma superfície.....	5
Figura 2 - Decaimento da intensidade do som em um recinto fechado, representado pelos caminhos dos raios sonoros ao longo de várias reflexões.....	6
Figura 3 – Registro da resposta impulsiva de um ambiente.....	8
Figura 4 - Tempo de Reverberação (TR).....	9
Figura 5 - Tempos de reverberação recomendados, em 500Hz, para recintos destinados a diversos usos.....	11
Figura 6 - Tempos de reverberação recomendados, em 500Hz, para auditórios e instalações similares.....	12
Figura 7 - Gráfico para obtenção dos tempos de reverberação recomendados para outras frequências, como porcentagem do tempo de reverberação em 500hz.....	12
Figura 8 - Escala de avaliação qualitativa do parâmetro STI.....	15
Figura 9 - Ondas primárias e secundárias.....	16
Figura 10 – Sala de forma retangular (Shoe Box) com a representação das reflexões laterais....	17
Figura 11 – Viena Musikvereinssaal (Áustria).....	18
Figura 12 - Amsterdam Concertgebouw (Holanda).....	18
Figura 13 - Boston Symphony Hall (EUA).....	18
Figura 14 – Sala em forma de leque com a representação das reflexões laterais.....	19
Figura 15 – Abertura recomendada e abertura máxima das paredes laterais para espaços em forma de leque.....	19
Figura 16 – Modificação da forma interna da sala, favorecendo a acústica.....	20
Figura 17 – Northern Alberta Jubilee Auditorium (Edmonton, Canadá).....	20
Figura 18 – Sala em forma de leque invertido com a representação das reflexões laterais.....	20
Figura 19 – Sala em forma de hexágono alongado ou “diamante” com a representação das reflexões laterais.....	21
Figura 20 – Bunka Kaikan (Tóquio, Japão).....	21
Figura 21 – Sala em forma de ferradura com a representação das reflexões laterais.....	22
Figura 22 - Carnegie Hall, Nova Iorque, EUA.....	22
Figura 23 - Comportamento do som em campo livre (espaço anecóico).....	23
Figura 24 - Câmara Anecóica.....	23
Figura 25 - Reflexão sonora especular.....	24

Figura 26 - Reflexão sonora difusa.....	24
Figura 27 - Reflexão em superfície côncava e convexa.....	25
Figura 28 – Três painéis perfurados com a mesma transparência visual (30%), mas com transparências acústicas diferentes.....	26
Figura 29 - Desempenho do som em um elemento pesado (a) e em um elemento leve (b).....	26
Figura 30 – Exemplo da chegada do som direto e das primeiras reflexões a um receptor.....	27
Figura 31 - Dimensões adequadas para um painel refletor.....	28
Figura 32 - Corte de um auditório mostrando a localização do refletor.....	29
Figura 33 – Refeitório do Groupama Arena (Hungria).....	29
Figura 34 - As três fases básicas de um sistema eletroacústico.....	30
Figura 35 - Esquema da interligação dos equipamentos eletroacústicos utilizados em igrejas..	32
Figura 36 - Comportamento das ondas sonoras que saem dos alto-falantes com e sem caixa acústica.....	34
Figura 37 - Microfone com captação unidirecional ou direcional.....	35
Figura 38 - Bateria acústica e bateria eletrônica.....	37
Figura 39 - Caixa acústica encostada na parede.....	37
Figura 40 - Caixa acústica com inclinação para plateia.....	38
Figura 41 – Software EASE. a) Tela inicial; b) Janela principal.....	40
Figura 42 - Localização do altar e nave dentro do templo.....	43
Figura 43 - Testes acústicos para classificação das frequências.....	44
Figura 44 - Comportamento da voz humana em um recinto fechado.....	45
Figura 45 - Limiares da audibilidade humana.....	45
Figura 46 - Informações sobre os três templos que foram avaliados no TFG.....	50
Figura 47 - Foto externa e interna do templo do Ministério Apostólico Betel (sede).....	51
Figura 48 - Planta baixa do templo com as especificações construtivas.....	52
Figura 49 - Corte AA' com as especificações construtivas.....	52
Figura 50 - Corte BB' com as especificações construtivas.....	53
Figura 51 - Corte CC' com as especificações construtivas.....	53
Figura 52 - Corte DD' com as especificações construtivas.....	54
Figura 53 - Modelo das esquadrias utilizadas no templo.....	54
Figura 54 - Teto em telhas metálicas.....	55

Figura 55 - Distribuição dos equipamentos de som em planta baixa.....	57
Figura 56 - Planta com disposição de fontes e microfones (receptores) – ISO 3382-1.....	59
Figura 57 - Planta com disposição de fontes e microfones (receptores) – Sistema de Reforço Sonoro.....	60
Figura 58 – Formas de forro escolhidos para estudo.....	61
Figura 59 – Coeficiente de absorção dos dois materiais de forros utilizados (absorvedor e reflexivo).....	62
Figura 60 – Materiais e localização dos forros.....	63
Figura 61 – Modelação do templo no Sketchup.....	64
Figura 62 – Modelação do templo no EASE 4.3.....	64
Figura 63 – Organização das nomenclaturas.....	65
Figura 64 – Classificação das bandas de oitava adotadas pra análises.....	67
Figura 65 – Tempo de Reverberação (TR) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média.....	68
Figura 66 – Tempo de Decaimento Inicial (EDT) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média.....	68
Figura 67 – Índice de Clareza da fala ( $C_{50}$ ) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média.....	69
Figura 68 – Índice de Clareza da música ( $C_{80}$ ) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média.....	70
Figura 69 – Definição ( $D_{50}$ ) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média.....	70
Figura 70 – Índice de Transmissão da Fala (STI) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média.....	71
Figura 71 - Resultados dos parâmetros acústicos referentes ao Forro Reto, segundo a ISO 3382-1.....	74
Figura 72 - Resultados dos parâmetros acústicos referentes ao Forro Multifacetado, segundo a ISO 3382-1.....	78
Figura 73 - Resultados dos parâmetros acústicos referentes ao Forro Curvo, segundo a ISO 3382-1.....	82
Figura 74 - Resultados dos parâmetros acústicos referentes á análise comparativa entre os três forros, segundo a ISO 3382-1.....	86
Figura 75 – Tempo de Reverberação (TR) do templo sem o forro (SRS). a) Valores de cada receptor b) Média.....	94

Figura 76 – Tempo de Decaimento Inicial (EDT) do templo sem o forro (SRS). a) Valores de cada receptor b) Média.....	89
Figura 77 – Índice de Clareza da fala ( $C_{50}$ ) do templo sem o forro (SRS). a) Valores de cada receptor b) Média.....	89
Figura 78 – Índice de Clareza da música ( $C_{80}$ ) do templo sem o forro (SRS). a) Valores de cada receptor b) Média.....	90
Figura 79 – Definição ( $D_{50}$ ) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média.....	90
Figura 80 – Índice de Transmissão da Fala (STI) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média.....	91
Figura 81 - Resultados dos parâmetros acústicos referentes ao Forro Reto, segundo o Sistema de Reforço Sonoro.....	94
Figura 82 - Resultados dos parâmetros acústicos referentes ao Forro Multifacetado, segundo o Sistema de Reforço Sonoro.....	98
Figura 83 - Resultados dos parâmetros acústicos referentes ao Forro Curvo, segundo o Sistema de Reforço Sonoro.....	102
Figura 82 - Resultados dos parâmetros acústicos referentes á análise comparativa entre os três forros, segundo o Sistema de Reforço Sonoro.....	106

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros acústicos com seus valores recomendáveis e referências.....	15
Tabela 2 – Coeficientes de absorção do som de materiais geralmente utilizados na construção de recintos.....	28
Tabela 3 - NBR 10152 – Intensidade de ruído por localidade.....	41
Tabela 4 – Características gerais do templo.....	55
Tabela 5 - Equipamentos do reforço sonoro: sistema de áudio.....	56
Tabela 6 - Número mínimo de posições receptor em função do número de assentos, de acordo com a ISO 3382-1.....	58
Tabela 7 – Características das áreas de acordo com a ISO 3382-1.....	59
Tabela 8 – Características das áreas de acordo com o sistema de reforço sonoro.....	60
Tabela 9 – Especificações dos forros.....	62
Tabela 10 – Áreas dos forros.....	64
Tabela 11 – Parâmetros acústicos com seus respectivos valores recomendados para o templo.....	66

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>3</b>
1.1.1	Objetivo Geral.....	3
1.1.2	Objetivos Específicos.....	3
1.1.3	Estrutura da Dissertação.....	3
2	<b>QUALIDADE ACÚSTICA DOS ESPAÇOS.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1</b>	<b>Parâmetros Acústicos.....</b>	<b>7</b>
2.1.1	Tempo de Reverberação (TR) .....	8
2.1.2	Tempo de Decaimento Inicial (EDT).....	13
2.1.3	Índice de Clareza da fala (C <sub>50</sub> ).....	13
2.1.4	Índice de Clareza para música (C <sub>80</sub> ).....	13
2.1.5	Definição (D50).....	14
2.1.6	Índice de Transmissão da Fala (STI).....	14
<b>2.2</b>	<b>Condicionamento Acústico.....</b>	<b>16</b>
2.2.1	Influência da forma arquitetônica na distribuição do som.....	16
2.2.2	Superfícies absorvedoras e reflexivas.....	22
2.2.3	Influências da transparência.....	25
2.2.4	Influência da espessura.....	26
<b>2.3</b>	<b>Elementos integrantes internos para reforço sonoro.....</b>	<b>26</b>
2.3.1	Desempenho do som após a interação com os elementos construtivos.....	27
2.3.2	Reforço sonoro através de aplicação de forro na edificação.....	28
2.3.3	Tipos de forro.....	30
<b>2.4</b>	<b>Áudio.....</b>	<b>30</b>
2.4.1	Componentes do sistema de áudio.....	31
2.4.2	Posicionamento do sistema de áudio.....	36
<b>2.5</b>	<b>Procedimentos de avaliação da qualidade acústica.....</b>	<b>38</b>
2.5.1	Simulações Computacionais.....	38
2.5.2	Softwares.....	39
2.5.2.1	EASE.....	40
2.5.2.2	Sketchup.....	40
2.5.3	Normas.....	40

2.5.3.1	NBR 10152.....	41
2.5.3.2	NBR 12179.....	41
2.5.3.3	ISO 3382-1.....	42
2.5.3.4	IEC 60268-16.....	42
<b>3</b>	<b>ACÚSTICA DE TEMPLOS EVANGÉLICOS.....</b>	<b>43</b>
3.1	Ambiente acústico: palavra falada e a música.....	43
3.2	Sistema de áudio em templos evangélicos.....	46
3.3	Pesquisas sobre o tema.....	47
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>50</b>
4.1	Seleção do objeto de estudo.....	50
4.1.1	Levantamento de dados – Aspectos físicos.....	51
4.1.2	Levantamento de dados – Sistema de Reforço Sonoro (Áudio).....	55
4.2	Procedimentos para simulação.....	57
4.2.1	Definição dos pontos.....	57
4.2.2	Forro como elemento de interferência na qualidade acústica.....	60
4.3	Simulações Computacionais.....	64
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>66</b>
5.1	Sistematizações dos resultados das simulações.....	66
5.2	Análises: ISO 3382-1.....	67
5.2.1	Sem Forro.....	67
5.2.2	Forro Reto.....	71
5.2.3	Forro Multifacetado.....	76
5.2.4	Forro Curvo.....	80
5.2.5	Comparativos entre os três forros.....	84
5.3	Análises: Sistema de Reforço Sonoro.....	88
5.3.1	Sem Forro.....	88
5.3.2	Forro Reto.....	91
5.3.3	Forro Multifacetado.....	96
5.3.4	Forro Curvo.....	100
5.3.5	Comparativos entre os três forros.....	104
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>108</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>111</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>115</b>

<b>APÊNDICE A</b> .....	116
<b>APÊNDICE B</b> .....	118

## 1. INTRODUÇÃO

A qualidade acústica é uma característica muito importante para o desempenho dos ambientes. Barbo (2009) sintetiza, “uma boa distribuição do som torna-se necessária, para preservar a inteligibilidade da comunicação, bem como a execução de uma música harmoniosa e clara, para isso as distorções acústicas devem ser evitadas”.

Os templos evangélicos, geralmente são divididos em dois espaços, o altar e a nave. Eles são aqui caracterizados como ambientes múltiplos, ou seja, onde são executadas tanto a palavra falada como também a música. Dessa forma, são atuações distintas, que apresentam requisitos com exigências acústicas diferentes, entretanto com graus de importância semelhantes. Segundo Silva (2011), geralmente, os sons musicais têm potência superior à da voz humana e até mesmo a potência da voz de uma pessoa que canta é duas ou mais vezes superior à da palavra falada. Ou seja, a música dissemina sons que permanecem por mais tempo no ambiente.

A inteligibilidade é uma característica de grande importância para o bom desempenho acústico de um ambiente interno. Ela consiste na qualidade do que pode ser compreendido. Sua avaliação encontra-se em perceber o quão compreensível é a palavra falada. Dentro de um templo, é um fator muito importante e dependerá das características acústicas do ambiente. Esses ambientes normalmente apresentam uma má inteligibilidade, recorrente à falta de tratamento e isolamento acústico, sonorização alta e, portanto, são considerados ambientes sem qualidade acústica, além de se constituírem muitas vezes como fonte de ruídos.

Uma das formas de proporcionar à um ambiente bom desempenho acústico é fazendo o seu condicionamento acústico, visando sanar as necessidades para a qualidade sonora existentes. Um condicionamento acústico adequado auxilia no alcance de um melhor desempenho de vários parâmetros referentes à avaliação da qualidade acústica de edificação.

É através dos parâmetros acústicos que são identificadas as propriedades que diferenciam os tipos de ambientes, auxiliando na constatação do nível de inteligibilidade. Os parâmetros analisados no presente trabalho são: TR (Tempo de Reverberação), EDT (Tempo de Decaimento Inicial),  $C_{50}$  (Índice de Clareza da fala),  $C_{80}$  (Índice de clareza para música), D50 (Definição) e Índice de Transmissão da Fala (STI).

Segunda Bistafa (2011), é importante que o tempo de reverberação seja compatível com o tipo de uso de determinado recinto. Bradley (2002) afirma que os tempos de reverberação em frequências altas são quase sempre menores que os de médias frequências. Isso ocorre devido a absorção do ar e às características dos materiais porosos, que são mais eficazes em absorver

o som nas altas frequências. Assim, quando se trata da inteligibilidade da fala, há uma maior preocupação com o comportamento das médias frequências.

Cada ambiente, a depender do seu uso, exigirá níveis de absorção e reflexão necessários para que este tenha um bom desempenho acústico. Além da forma arquitetônica e o volume influenciarem no comportamento das ondas sonoras dentro desse ambiente, os materiais usados como revestimento também são responsáveis em proporcionar níveis ótimos dos parâmetros acústicos.

É cada vez mais comum o uso de sistemas de reforço sonoro (áudio) dentro desse tipo de edificação, pois o sistema auxiliará na distribuição de energia sonora de forma mais eficaz. Reforço sonoro, nesse trabalho é entendido como sendo todo elemento que permita a reflexão do som, proporcionando a este, maior tempo de permanência no ambiente e/ou auxiliando em sua amplificação e distribuição. Ou seja, além dos elementos arquitetônicos, os equipamentos eletroacústicos também são aqui considerados como Sistema de Reforço Sonoro.

O som pode ter comportamentos diferentes de acordo com a sua interação com os elementos construtivos da edificação. Um dos elementos que pode ser mais explorado positivamente no desempenho acústico de uma edificação é o forro. Pois é uma das maiores áreas para ser tratada acusticamente dentro de um templo. Ou seja, ele não deve ser visto apenas como um produto inserido no teto do templo, a fim de evitar a visualização da cobertura (estrutura de sustentação e telhas). Em recintos onde não há espaço suficiente disponível para montagem da quantidade de material absorvente necessária, ou em que é essencial aumentar a superfície de absorção para além do estritamente associado às superfícies de contorno, será muitas vezes necessário serem utilizados materiais absorventes de teto suspenso (Carrion, 1998).

O aperfeiçoamento constante dos ambientes para uso da fala ou musica nortearam o avanço de tecnologias e novos softwares para melhor conhecimento sonoro desses espaços. Atualmente, existem softwares que permitem delinear qual o diagnóstico acústico de uma edificação antes mesmo que esta seja construída. Uma vez que os dados geométricos de uma sala são introduzidos no modelo computacional, pode-se calcular a forma como o som de uma fonte ou várias fontes incide em várias posições de escuta (Kleiner, 2012).

Dentre as formas de estudar as características acústicas de um ambiente, esse trabalho tem o enfoque nas simulações computacionais através dos softwares Sketchup e EASE,

norteado pelas normas brasileiras NBR 10152 (ABNT, 1992), NBR 12179 (ABNT, 1992) e as normas internacionais ISO 3382-1 (2009) e IEC 60268-16 (2011).

Diante dos resultados das simulações, é possível entender o comportamento do som dentro da edificação e assim ser criada uma base de dados que indiquem melhorias acústicas para a mesma. Isso consiste nas especificações de materiais mais adequados, como também especificação e distribuição dos equipamentos de reforço sonoro no ambiente.

## 1.1 Objetivos

**1.1.1 Objetivo Geral:** Avaliar a interferência do forro como elemento para melhoria da qualidade acústica de um templo evangélico localizado no município de São Miguel dos Campos – AL.

### 1.1.2 Objetivos Específicos:

- Apreender os parâmetros acústicos de avaliação de qualidade sonora: TR (Tempo de Reverberação), EDT (Tempo de Decaimento Inicial),  $C_{50}$  (Índice de Clareza da fala),  $C_{80}$  (Índice de clareza para música), D50 (Definição), e STI (Índice de Transmissão da Fala);
- Verificar as contribuições de tipologias de forro conforme a forma e os materiais do objeto de estudo;
- Verificar a qualidade sonora dos parâmetros acústicos através de simulações computacionais em softwares específicos de análise acústica, tendo como objetivo de investigação a variação das tipologias dos forros específicos;
- Identificar e avaliar as alterações acústicas e a distribuição sonora em diversos locais de usuários.

### 1.1.3 Estrutura da Dissertação

Este trabalho está estruturado em seis capítulos principais. O **primeiro capítulo** se refere à introdução, onde está descrito a delimitação do assunto, a problematização, a justificativa do tema escolhido para ser desenvolvido, assim como os objetivos da pesquisa.

No **capítulo dois** está descrito sobre a qualidade acústica dos espaços. Dentro deste capítulo foram trabalhados os seguintes tópicos: parâmetros acústicos, condicionamento acústico, elementos integrantes internos para reforço sonoro, áudio e procedimentos de avaliação da qualidade acústica.

O **capítulo três**, fala sobre a acústica de templos evangélicos caracterizando o ambiente acústico para palavra falada e música, a importância do sistema de áudio nesse tipo de edificação. No mesmo capítulo tem algumas pesquisas onde tratam de trabalhos que utilizaram a mesma temática, templos.

No **capítulo quatro** está apresentada a caracterização do objeto de estudo, assim como a metodologia adotada visando o alcance dos objetivos propostos.

O **capítulo cinco** trata dos resultados obtidos a partir dos dados coletados, bem como as discussões e interpretação dos dados, visando os objetivos propostos.

No **capítulo seis** está apresentada as conclusões finais a respeito do exposto.

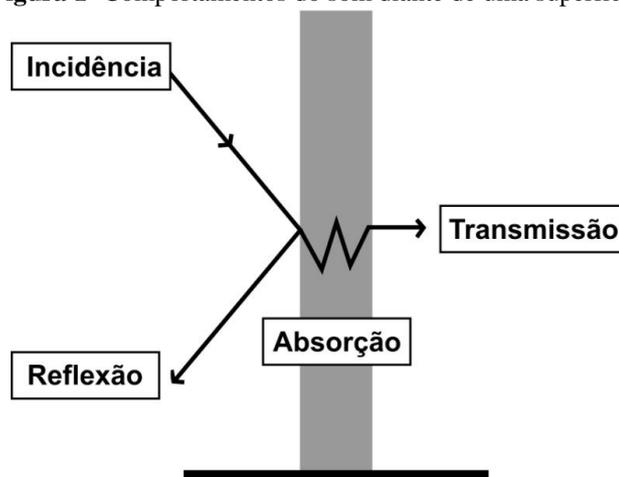
Neste trabalho há ainda dois apêndices. No Apêndice A está a matriz com nomenclaturas dos modelos simulados de acordo com a ISSO 3382-1. E no Apêndice B está a matriz com nomenclaturas dos modelos simulados de acordo com o Sistema de Reforço Sonoro.

## 2 QUALIDADE ACÚSTICA DOS ESPAÇOS

A acústica representa a parte da Física que estuda os sons. Carvalho (2010) define o som como o fenômeno vibratório ou onda mecânica suscetível a ser detectada pelo ouvido humano, que se propaga em todas as direções por meio de ondas esféricas. Este se configura em um movimento ondulatório capaz de contornar obstáculos. Barron (1998) afirma que para a sua propagação, o som dependerá de uma fonte, um receptor, do ar e do meio de propagação sonora.

O som ao ser emitido de uma fonte, parte será refletido, parte absorvido e parte transmitido através da superfície (Figura 1). O resultado sonoro que ouvimos é a composição das ondas sonoras que saem direto da fonte em conjunto com as ondas secundárias ou refletidas, que reforçam as primeiras ondas, as diretas.

**Figura 1-** Comportamentos do som diante de uma superfície.



Fonte: Autora.

Segundo Egan (1972), existem quatro elementos básicos para o estudo da acústica arquitetônica. Cada um desses elementos possui alguns aspectos importantes que merecem ser considerados. São eles:

- **Sala Acústica:** volume; forma da superfície interior; seleção e implantação do material na superfície; audiência e mobília;
- **Isolamento do som:** considerações do sítio; localização das atividades dentro do edifício; parede, piso, teto e construção de barreiras; níveis de som do fundo (natural a artificial); consideração com a sala acústica;
- **Sistema de reforço do som:** compatibilidade com sala acústica; seleção e instalação de alto falante; sistema de controle de equipamentos;

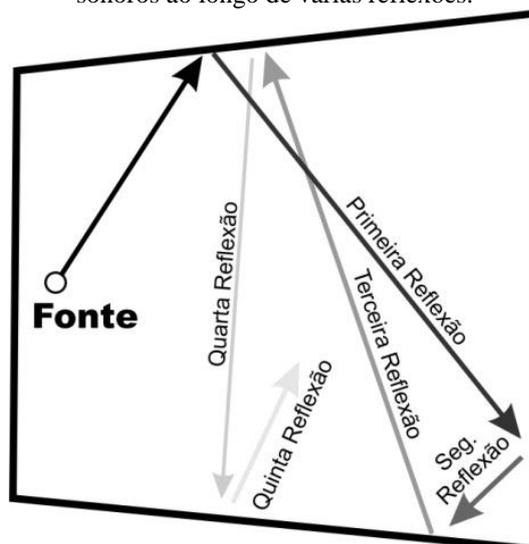
- **Sistema mecânico de controle de ruído:** isolamento e vibração; tratamento nas tubulações; seleção de equipamentos; geração de ruído de fundo.

Os elementos básicos apresentados demonstram o quanto que a acústica arquitetônica é ampla e pode abranger diversos aspectos relacionados ao ambiente e a relação desse ambiente com o usuário (atividades executadas, equipamentos utilizados).

A qualidade acústica é uma característica muito importante para o desempenho dos ambientes. Para se promover a qualidade acústica é necessário entender o som e como ele se propaga. Através desse conhecimento, a acústica pode se tornar um dado de projeto de qualquer ambiente.

As características de um recinto, em relação à geometria, o volume, as superfícies, os conteúdos internos existentes, influenciam na qualidade e no nível do som que é emitido em seu interior. A persistência do som no interior deste está atrelada à quantidade de absorção. A figura 2 ilustra o comportamento do som em um ambiente fechado mostrando o decaimento da intensidade do som, representado pelos caminhos dos raios ao longo de várias reflexões. Este som que sai da fonte percorre o espaço em diversas direções, portanto, sofre reflexão das paredes existentes. A cada reflexão, parte da energia é perdida por absorção, até o momento que todo o som seja extinto.

**Figura 2** - Decaimento da intensidade do som em um recinto fechado, representado pelos caminhos dos raios sonoros ao longo de várias reflexões.



**Fonte:** Adaptado de Mehta, Johnson, Rocafort, 1999.

Barbo (2009) sintetiza, “uma boa distribuição do som torna-se necessária, para preservar a inteligibilidade da comunicação, bem como a execução de uma música harmoniosa e clara, para isso as distorções acústicas devem ser evitadas”. Assim, com base nos estudos sobre

acústica arquitetônica, a qualidade acústica de um recinto fechado dependerá do atendimento aos seguintes requisitos: inteligibilidade do som, ausência de interferência de ruídos externos sobre o som de interesse, distribuição sonora uniforme, difusão sonora e tempo de reverberação adequado.

A avaliação da qualidade acústica de salas pode ser dividida em três grupos, de acordo com sua finalidade: (1) salas destinadas à palavra falada, (2) salas destinadas às atividades musicais e as (3) salas de uso múltiplo, ou seja, onde são executadas tanto palavras faladas como também a música. Nesse último grupo estão incluídas as igrejas e/ou basílicas. Makrinenko (1994) fez essa distinção para enfatizar que as exigências acústicas para salas destinadas para o discurso são bem diferentes, chegando a ser opostas às aquelas exigências aplicadas para as salas destinadas somente para execução musical. Essa é a maior dificuldade para se alcançar a qualidade acústica nos ambientes destinados tanto para a fala, quanto para a música, aqui denominados ambientes de múltiplos usos.

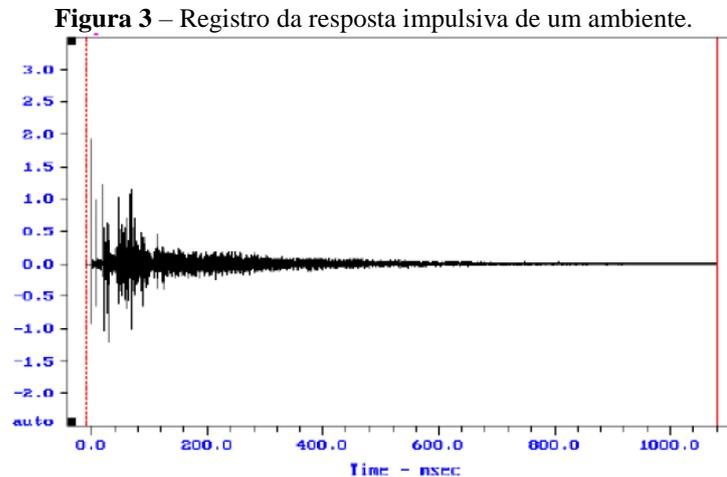
## 2.1 Parâmetros Acústicos

Para alguns ambientes ter uma boa funcionalidade, significa que este possua uma qualidade acústica. Concomitante a isso existem parâmetros que auxiliam na avaliação acústica desses ambientes, para então ser aplicadas as recomendações necessárias objetivando o alcance da qualidade acústica. São estes parâmetros que apresentam as propriedades acústicas que diferenciam os ambientes, auxiliando na constatação do nível de inteligibilidade.

O método objetivo para avaliação da inteligibilidade utiliza a modelagem matemática das características da sala, juntamente com a avaliação de respostas impulsivas de ambientes. A norma ISO 3382-1 (2009) define resposta impulsiva como sendo o registro do nível da pressão sonora, em função do tempo, para um ruído recebido em uma sala como resultado da excitação dela. Para isso, são utilizados sons transitórios de curta duração (tiros de pistola, por exemplo), que pode oferecer aproximações para medição na prática. A figura 3 apresenta o exemplo do registro de uma resposta impulsiva em um determinado ambiente. Nele pode-se perceber a incidência do som direto, as primeiras reflexões e das demais reflexões do decaimento do campo reverberante.

Existem técnicas alternativas de medição, como a utilização de um período de sequências de comprimento máximo (*Maximum Length Sequences* - MLS) ou a varredura de senos, que depois de processado produz resposta impulsiva do ambiente. Sendo assim, a técnica

da resposta impulsiva pode ser aplicada através de medições *in loco* ou através de simulações computacionais.



Fonte: Adaptado de Farina, 1993.

Através do método da resposta impulsiva é possível obter grande parte dos **parâmetros acústicos** utilizados para avaliação acústica de salas. A depender de qual necessidade um ambiente precisa atender, seja para música e/ou fala, existem valores adequados destes parâmetros que viabilizam um melhor desempenho acústico. A seguir serão detalhados seis dos diversos parâmetros acústicos existentes para avaliação da inteligibilidade de um recinto fechado.

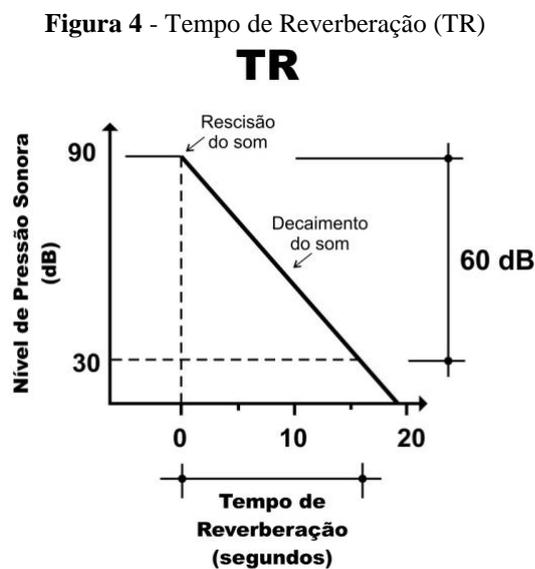
### 2.1.1 Tempo de Reverberação (TR)

Um dos parâmetros mais importante para avaliação da inteligibilidade de uma sala é o tempo de reverberação, o qual está atrelado à qualidade do som. Para Carvalho (2010), a reverberação consiste no prolongamento do som, indispensável para promover a inteligibilidade em todos os pontos de um recinto fechado. Esse prolongamento deve ser maior dependendo da distância entre a fonte e a recepção, ou quanto maior for o volume deste recinto.

A reverberação é um reforço ao som direto, que chega ao ouvinte. Para que esse reforço seja útil, é necessário que ele esteja dentro do intervalo de tempo que o nosso mecanismo de audição integra-o com o som direto. Conforme Metha; Johnson; Rocafort (1999), para o discurso, esse intervalo corresponde a 50 milissegundos, e para a música 80 milissegundos. Quando esse tempo é ultrapassado, a reverberação torna-se um meio de mascaramento da fala, reduzindo assim a inteligibilidade. Com relação à música, a reverberação aumenta os tons musicais, como também tende a mascarar algumas imperfeições. Quando o tempo de

reverberação é curto ele traz “definição” e “clareza” à música. Já um tempo mais longo pode confundir o som emitido.

O tempo de reverberação (TR), segundo Carvalho (2010) é o intervalo de tempo necessário para que o nível de intensidade de um determinado som decresça 60dB após o término da emissão de sua fonte. Na Figura 4 ilustra o tempo de reverberação em um gráfico que representa o nível de pressão sonora em função do tempo, de forma que enquanto o som é emitido o nível de pressão sonora continua constante. Após a rescisão do sinal do som, ocorre um decaimento sonoro.



Fonte: Adaptado de Mehta, Johnson, Rocafort, 1999.

O decaimento do som, após sua interrupção, está ligado ao poder de absorção dos materiais com os quais o som entra em contato, sendo esse tempo medido em segundos. O TR de um recinto geralmente varia com a frequência, e normalmente é avaliado em bandas de oitava.

Para se encontrar o tempo de reverberação de um ambiente faz-se necessário conhecer o seu volume, a área de cada material que compõe a superfície interna, o coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) desses materiais para as faixas de frequências desejadas. O coeficiente de absorção é propriedade do material definida como a taxa de energia absorvida sobre a taxa de energia incidente sobre um material. O coeficiente médio pode ser obtido através da Equação 1.

$$\alpha_m = \frac{\Sigma(S \times \alpha)}{\Sigma S} \quad (\text{eq. 1})$$

Onde,

S = Área de contato do material (m<sup>2</sup>)

$\alpha$  = Coeficiente de absorção do material

O TR pode ser obtido através do método de resposta impulsiva, como foi falado anteriormente, e também pode ser calculado através da fórmula de Sabine (Equação 2), esta equação é baseada nas condições de campo difuso. Para ambientes menos reverberantes é indicado utilizar a fórmula de Eyring (Equação 3).

$$Tr = \frac{0,161 \times V}{\Sigma(S \times \alpha)} \quad (\text{eq. 2})$$

Onde,

TR = Tempo de Reverberação, em segundos

0,161 = Constante de multiplicação

V = Volume em m<sup>3</sup>

S = Área de contato do material (m<sup>2</sup>)

$\alpha$  = Coeficiente de absorção do material

$$Tr = \frac{0,161 V}{-S \ln (1 - \alpha_m) + x V} \quad (\text{eq. 3})$$

Onde,

TR = Tempo de Reverberação

0,161 = Constante de multiplicação

V = Volume em m<sup>3</sup>

S = Área de contato do material (m<sup>2</sup>)

ln = logaritmo neperiano da expressão (1-  $\alpha_m$ )

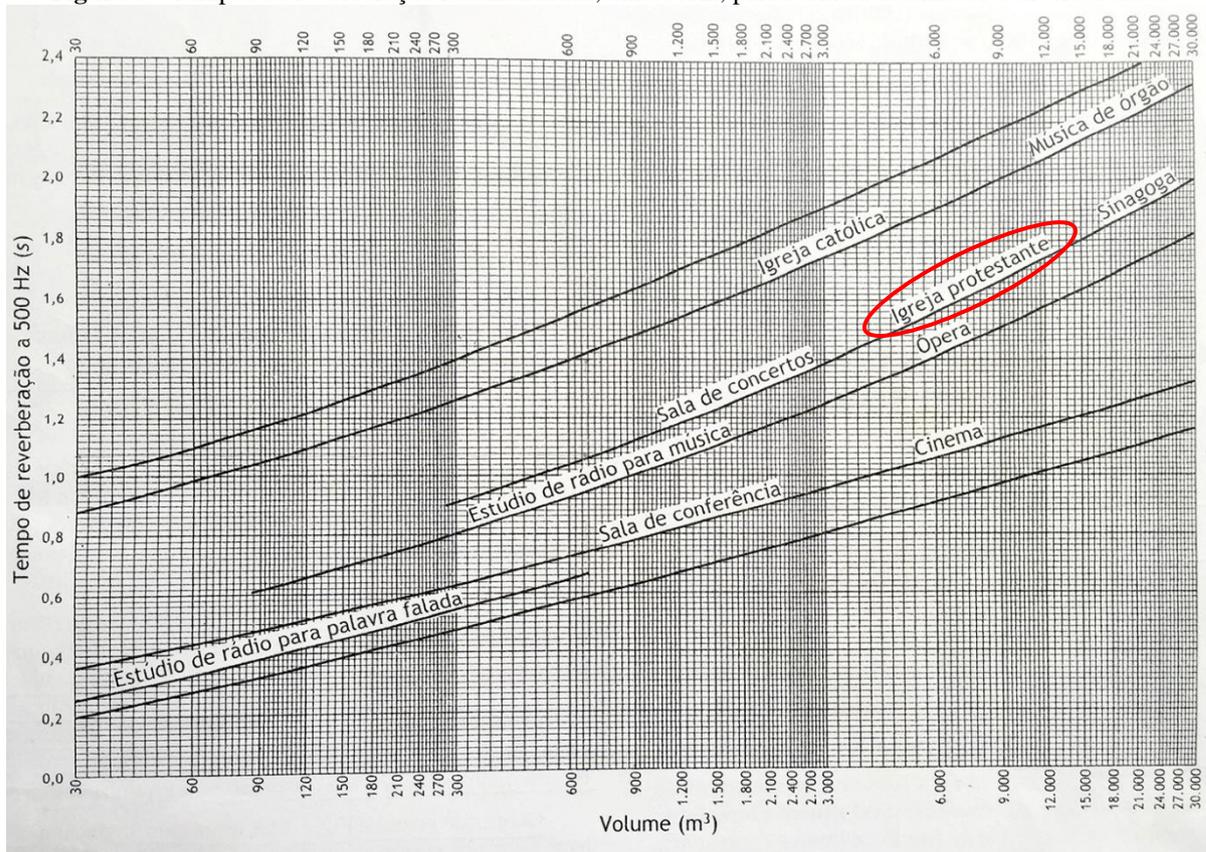
$\alpha_m$  = Coeficiente médio de absorção

x = Coeficiente de absorção para o ar

Segunda Bistafa (2011), é importante que o tempo de reverberação seja compatível com o tipo de uso de determinado recinto. Bradley (2002) afirma que os tempos de reverberação em frequências altas são quase sempre menores que os de médias frequências. Isso ocorre devido a absorção do ar e às características dos materiais porosos, que são mais eficazes em absorver o som nas altas frequências. Assim, quando se trata da inteligibilidade da fala, há uma maior preocupação com o comportamento das médias frequências.

A Figura 5 fornece tempo de reverberação recomendados para recintos destinados a diversos usos, de acordo com sua função e volume, correspondente à frequência de 500Hz. Neste gráfico, observa-se que o TR (em 500Hz) recomendados para as igrejas protestantes varia de 1,5s a 1,8s, dependendo do volume.

**Figura 5** - Tempos de reverberação recomendados, em 500Hz, para recintos destinados a diversos usos.

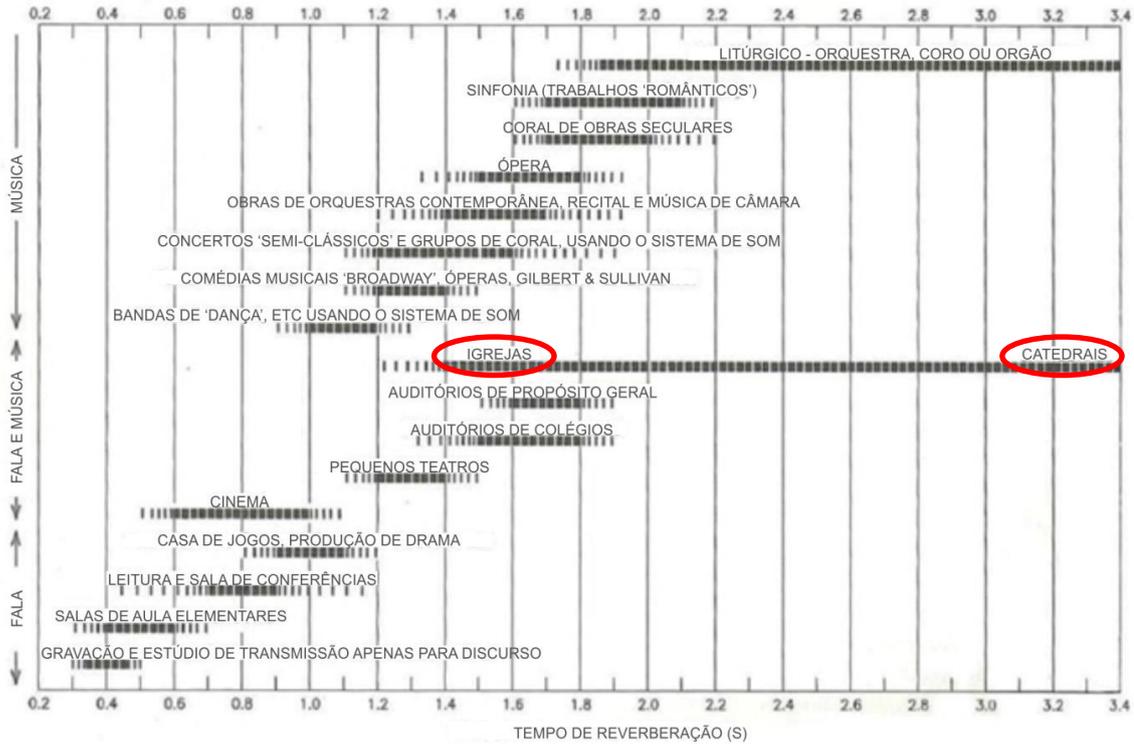


Fonte: Bistafa, S., 2011.

A Figura 6, também apresenta o Tempo de reverberação recomendados em 500Hz, mas os ambientes classificados no gráfico são auditórios e instalações similares. Neste gráfico, apresentado por Marchall (2010), os ambientes são classificados em três classes: ambientes destinados à fala, à música e os ambientes destinados para fala e a música. Observa-se que os ambientes destinados à fala apresentam valores de TR menores em relação aos ambientes

destinados à música. O TR recomendado para igrejas varia entre 1,2 até ultrapassar 3,4s, se forem consideradas as catedrais. Para igreja, os autores Fasold e Verez (1998) propõem o valor ótimo de TR para música de 2s e para fala de 1s.

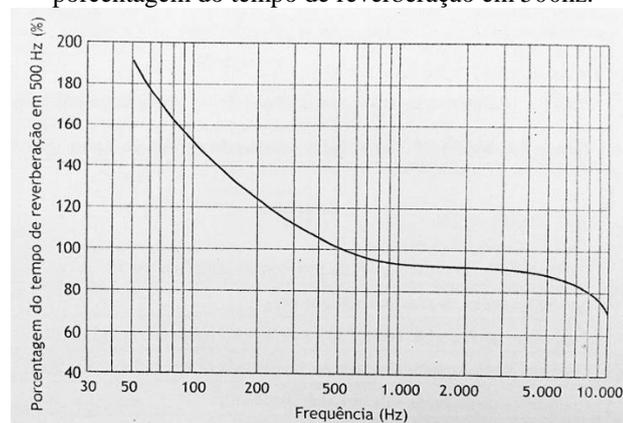
**Figura 6** - Tempos de reverberação recomendados, em 500Hz, para auditórios e instalações similares.



Fonte: Marshall, 2010.

Bistafa (2011) apresenta a Figura 7, este gráfico indica como encontrar os valores de TR nas outras frequências relacionando com a porcentagem de valor de TR referente à frequência de 500hz.

**Figura 7** - Gráfico para obtenção dos tempos de reverberação recomendados para outras frequências, como porcentagem do tempo de reverberação em 500hz.



Fonte: Bistafa, S. (2011)

### 2.1.2 Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

O Tempo de Decaimento Inicial (EDT), *Early Decay Time*, consiste no tempo necessário para que a energia sonora decaia os primeiros 10dB, medido em segundos. A forma de obtenção é a mesma utilizada para obtenção do Tempo de Reverberação (TR), e para obter comparações entre EDT e TR, faz-se necessário a multiplicação dos valores de EDT por 6. Bradley (2011) afirma que o EDT pode ser utilizado para a avaliação da percepção entre diferentes posições de uma sala. Deve-se ter o cuidado na avaliação dos pontos muito próximo da fonte sonora, há um decréscimo abrupto de energia antes do decaimento mais gradual (Egan, 1988).

Segundo a norma ISO 3382 (2009), o EDT é subjetivamente mais importante do que o TR, pois este mostra a percepção da reverberação, já o TR está associado às propriedades físicas do ambiente. O aspecto subjetivo do ouvinte para o parâmetro EDT é a reverberância percebida. Valores menores de EDT em relação ao TR propiciam a sensação de “sala seca”, privilegiando a clareza do som. Já o contrário, quando o EDT possui valores maiores do que os valores de TR, aumenta-se a sensação de reverberação, dando a sensação de estar em um “ambiente vivo”. De acordo com Mehta, Johnson e Rocafort (1999), em ambientes projetados para a fala, tais como as salas de aula, o EDT deve ser de até 50ms. Fasold e Verez (1998) propõem o valor ótimo de EDT para música em igreja de 2,2s.

### 2.1.3 Índice de Clareza da fala ( $C_{50}$ )

O parâmetro Clareza fala ( $C_{50}$ ) é o índice utilizado para medir a definição dos sons percebidos numa sala, seus valores são expressos em dB. Consiste na razão logarítmica entre a energia sonora das primeiras reflexões (*early sound*), recebida entre o instante 0 (zero) e t, e a energia final, ou seja, a energia reverberante após o instante t (CAVANAUGH; WILKES, 1999). O número 50 está relacionado ao intervalo das primeiras reflexões que correspondem entre 0 (zero) a 50 milissegundos. Assim, quanto maior a energia nos primeiros 50ms maior será a clareza na recepção do som. Quando a energia reverberante é maior, a clareza passa a ser prejudicada. Ou seja, a energia sonora inicial deve ser maior do que a energia reverberante. Para Jones (2011), nas igrejas, os valores de  $C_{50}$  devem ser positivos para favorecer a inteligibilidade da palavra.

### 2.1.4 Índice de Clareza para música ( $C_{80}$ )

O parâmetro Clareza para música ( $C_{80}$ ), segundo Ando (1998), consiste na razão entre a energia inicial (recebida por um ouvinte até 80 milissegundos a partir de um pulso inicial) e a energia total da reverberação do pulso. O aspecto subjetivo do ouvinte para o parâmetro  $C_{80}$  é a clareza percebida do som. Os resultados correspondem ao intervalo entre 0 (zero) a 80ms. Fasold e Verez (1998) indicam a faixa de valores otimizados para música encontra-se entre -1dB e 3dB. Esta faixa confere à audição musical uma boa ação do som direto com uma boa influência da reverberação do ambiente conferindo profundidade e clareza à música executada. Dependendo do compasso, as composições soam melhor com valores maiores ou menores da Clareza. Segundo Jones (2011), para igrejas recomendam-se valores positivos de  $C_{80}$ , onde muitas vezes se consegue esses valores com o sistema de som.

### **2.1.5 Definição ( $D_{50}$ )**

Segundo Beranek (1996), a Definição ( $D_{50}$ ) é a razão limiar entre a energia que chega aos ouvidos ou ao transdutor nos primeiros 50ms e a energia total que constitui a resposta impulsiva. Barron (1998), afirma que os valores de  $D_{50}$  abaixo de 0,5 indicam que menos de 50% da energia sonora atingiu o receptor no intervalo útil de 50 milissegundos. A definição varia entre 0 (péssima definição) e 1 (excelente definição) e pode ser obtida de acordo com a norma ISO 3382 (2009). Os valores insatisfatórios de  $D_{50}$  podem estar associados aos valores em excesso de TR, este que contribui para o comportamento tardio do som. A reverberação aumenta a porção tardia da energia sonora, isso faz com que ela seja maior do que a energia inicial que atinge os receptores em até 50ms, e conseqüentemente, reduzem os valores de  $D_{50}$ . Na prática, numa sala seca, a definição é maior do que numa sala mais reverberante. Ou seja, quanto maior o valor de  $D_{50}$  maior será a capacidade de um ouvinte distinguir cada sílaba. Os valores acima de 50% são considerados aceitáveis.

### **2.1.6 Índice de Transmissão da Fala (STI)**

O parâmetro Índice de Transmissão da Fala (STI), *Speech Transmission Index*, é normalizado pela IEC 60268-16/2011. O STI é largamente utilizado nas avaliações acústicas de salas onde é indispensável à compreensão de informações transmitidas de forma oral (escola, auditórios, igrejas, teatros, etc.). Segundo a norma ISO 3382 (2009), a inteligibilidade da fala também pode ser determinada pela medição do STI. Este parâmetro leva em consideração o tempo de reverberação, ecos e o ruído de fundo. Os valores do STI variam entre 0 (completamente ininteligível) e 1 (ótima inteligibilidade), e a classificação qualitativa de

inteligibilidade relativa a esses valores variam entre ruim, pobre, razoável, bom e excelente. Na Figura 8, observa-se a escala de avaliação qualitativa do parâmetro STI, segundo a norma IEC 60268-16 (2011).

**Figura 8** - Escala de avaliação qualitativa do parâmetro STI

Classificação	Parâmetro STI				
	Ruim	Pobre	Razoável	Bom	Excelente
Intervalos de valores de STI	0,00 - 0,30	0,30 - 0,45	0,45 - 0,60	0,60 - 0,75	0,75 - 1,00

Fonte: Adaptado de IEC 60268-16, 2011.

A tabela 1 consiste numa síntese de todos os parâmetros apresentados até aqui com os valores recomendados para templos (igrejas). Os valores estão referenciados com seus respectivos autores e/ou norma.

**Tabela 1** – Parâmetros acústicos com seus valores recomendáveis e referências.

Parâmetro Acústico	Conceito	Valores recomendáveis	Referências
<b>1 TR</b>	Tempo necessário para que o nível sonoro na sala decaia 60dB após o sinal de uma fonte sonora ser interrompido. Este parâmetro está associado às propriedades físicas do ambiente.	1,5 a 1,8s (500Hz) 1,2 a 3,4s (500Hz) 1 a 2s (500Hz)	Bistafa, 2006. Marchall, 2010. Fasold e Verez, 1998.
<b>2 EDT</b>	Consiste no tempo necessário para que a energia sonora decaia os primeiros 10dB. Este parâmetro mostra a percepção da reverberação no ambiente.	0,05s para fala  2,2s para música em igrejas	Mehta, Johnson e Rocafort, 1999. Fasold e Verez, 1998.
<b>3 C50</b>	Razão logarítmica entre a energia sonora das primeiras reflexões, recebida entre o instante 0 (zero) e t. É utilizado para medir a definição dos sons percebidos numa sala.	Valores positivos favorecem a inteligibilidade	Jones, 2011
<b>4 C80</b>	Razão logarítmica entre a energia inicial, recebida por um ouvinte até 80 milissegundos a partir de um pulso inicial, e a energia total da reverberação do pulso.	-1dB a 3dB  Valores positivos favorecem a inteligibilidade	Fasold e Verez, 1998. Jones, 2011.

5	<b>D50</b>	Razão limiar entre a energia que chega aos ouvidos ou ao transdutor nos primeiros 50ms e a energia total que constitui a resposta impulsiva. Os valores insatisfatórios de D50 podem estar associados aos valores em excesso de TR, este que contribui para o comportamento tardio do som.	0 (péssima definição) à 1 (excelente definição). Valores acima de 50% são aceitáveis.	Barron, 1998.
6	<b>STI</b>	Determina a inteligibilidade da fala. Este parâmetro leva em consideração o TR, ecos e o ruído de fundo.	0,00 - 0,30: Ruim 0,30 - 0,45: Pobre 0,45 - 0,60: Razoável 0,60 - 0,75: Bom 0,75 - 1,00: Excelente	IEC 60268-16, 2011.

Fonte: Autora.

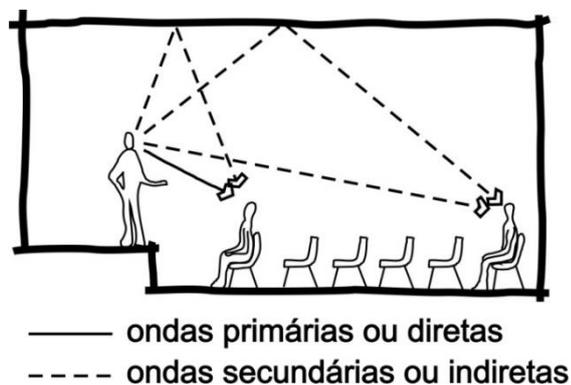
## 2.2 Condicionamento Acústico

Carvalho (2010) afirma que tratar da acústica de um ambiente consiste, basicamente, em observar três aspectos: (1) dar-lhes boas condições de audibilidade, (2) bloquear ruídos externos que por acaso possam a vir perturbar a audibilidade do recinto e, por fim, (3) bloquear possíveis ruídos no recinto de tal sorte que não perturbem o entorno.

### 2.2.1 Influência da forma arquitetônica na distribuição do som

O som que o ouvinte recebe consiste na junção das ondas primárias (som direto) e das ondas secundárias ou indiretas, também conhecida com ondas refletidas. A Figura 9 ilustra a onda primária em linha cheia e as ondas refletidas em linhas tracejadas.

Figura 9 - Ondas primárias e secundárias.



Fonte: Autora.

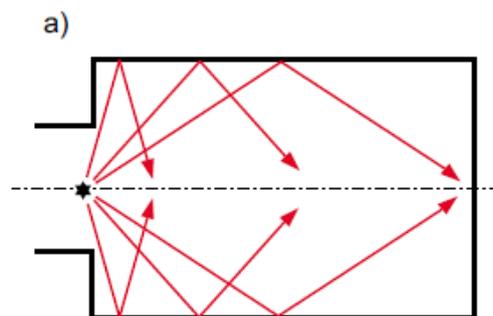
Essas ondas possuem energia que se dissipam de acordo com algumas características da sala onde estas são emitidas. Carrion (1998) afirma que:

Em qualquer ponto do invólucro da edificação, a energia corresponde ao som direto depende apenas da distância da fonte sonora. Já a energia associada com cada reflexão depende do caminho percorrido pelo feixe de som, bem como o grau de absorção dos materiais acústicos usados como revestimentos das superfícies. Logicamente, quanto maior for a distância percorrida e quanto maior a quantidade de materiais absorventes usados, menor será a energia associada, com o som direto e as reflexões posteriores. (CARRION, 1998, p. 49)

A forma da sala é de grande importância em função do seu uso. A direção dos raios refletidos é influenciada pela forma do ambiente. No estudo da acústica geométrica existem diversas tipologias de salas que demonstram as várias possibilidades para se trabalhar o som em um recinto fechado.

As **salas de forma retangular** (Shoe Box) são salas relativamente estreitas (Figura 10). Essa forma proporciona grande número de reflexões laterais. Possuirá elevado grau de difusão, se no interior desta existirem ornamentação e superfícies irregulares. Um problema que pode advir desse tipo de forma são os ecos que são gerados por conta das grandes distâncias entre as superfícies ou superfícies paralelas muito próximas.

**Figura 10** – Sala de forma retangular (Shoe Box) com a representação das reflexões laterais.



Fonte: Carrion, 1998.

Segundo Carrion (1998) existem três edificações, com planta de forma retangular, que são consideradas unanimemente como as melhores do mundo por sua excelente acústica. São essas: Viena Musikvereinssaal (Áustria), Figura 11; Amsterdam Concertgebouw (Holanda), Figura 12; e Boston Symphony Hall (EUA), Figura 13.

**Figura 11** – Viena Musikvereinssaal (Áustria)



**Fonte:** <http://viajandobembarato.com.br/2016/09/passeio-imperdivel-em-viena-musikverein-o-luxuoso-teatro-de-musica-classica.html>

**Figura 12** - Amsterdam Concertgebouw (Holanda)



**Fonte:** <http://www.saveachildsheart.com/netherlands/nieuws/het-concertgebouw/>

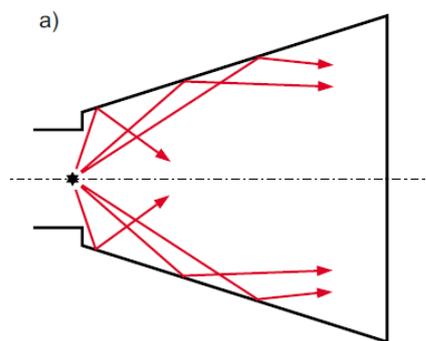
**Figura 13** - Boston Symphony Hall (EUA)



**Fonte:** [http://www.lemessurier.com/boston\\_symphony\\_hall](http://www.lemessurier.com/boston_symphony_hall)

A **forma trapezoidal ou em leque** promove uma boa audibilidade e visibilidade, pois reduz as distâncias ao ouvinte. Evita também problemas decorrentes do eco palpitante que são gerados por superfícies paralelas muito próximas. Uma das vantagens de uma sala em forma de leque, em comparação com uma sala retangular é que os sons refletidos nas paredes laterais são direcionados para a parte traseira da sala, onde eles são mais necessários (Figura 14). Ou seja, os primeiros reflexos laterais não são direcionados para parte central da sala.

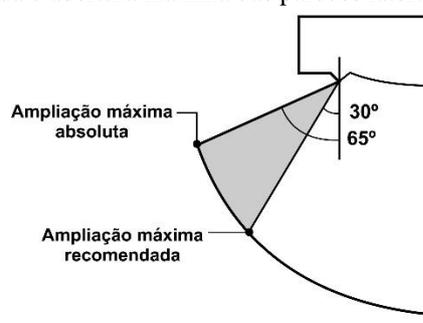
**Figura 14** – Sala em forma de leque com a representação das reflexões laterais.



**Fonte:** Carrion, 1998.

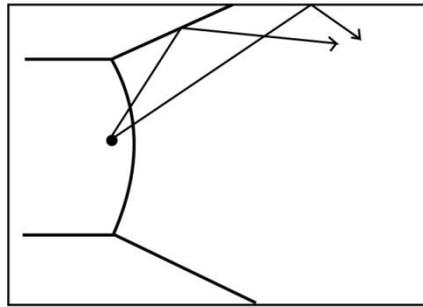
Considerando a direcionalidade da fala, há limites para aumentar a distância da parede lateral. Metha, Johnson, Rocafort (1999) afirmam que o espaço máximo para ampliar a forma é de  $30^\circ$ , sendo o máximo absoluto,  $65^\circ$  (Figura 15). De tal modo, a forma em leque é desejável para teatros e auditórios onde capacidade ultrapasse 400 pessoas. Abaixo dessa quantidade, se o ambiente for bem dimensionado, a forma retangular poderá ser utilizada. Existem casos, onde a sala precisa ser retangular, externamente, nessas situações pode-se optar por modificar a forma interna do ambiente. A Figura 16 exemplifica bem esta situação.

**Figura 15** – Abertura recomendada e abertura máxima das paredes laterais para espaços em forma de leque.



**Fonte:** Adaptado de Mehta; Johnson; Rocafort, 1999.

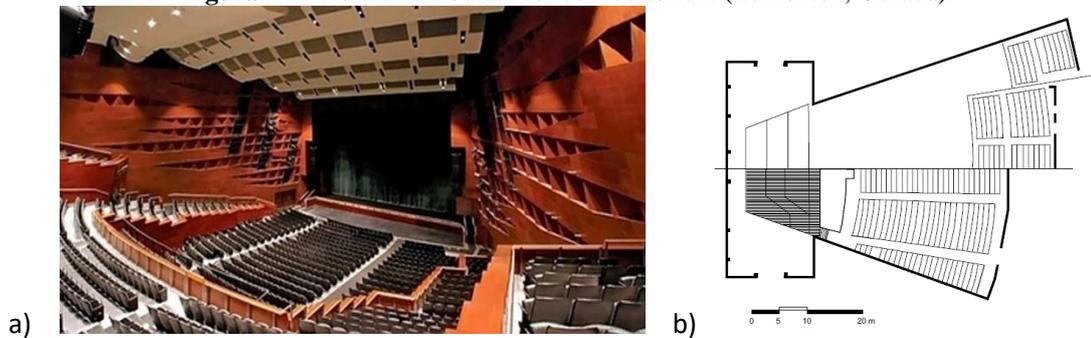
**Figura 16** – Modificação da forma interna da sala, favorecendo a acústica.



**Fonte:** Adaptado de Mehta; Johnson; Rocafort, 1999.

A Figura 17 ilustra um exemplo prático de uma edificação que tem a planta em forma de leque, o Northern Alberta Jubilee Auditorium, Canadá.

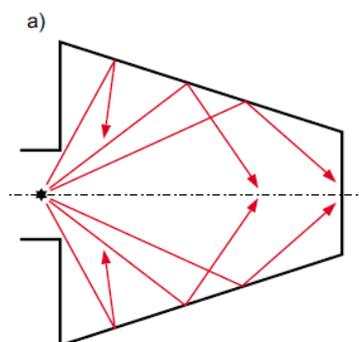
**Figura 17** – Northern Alberta Jubilee Auditorium (Edmonton, Canadá).



**Fonte:** a) <https://www.shenyunperformingarts.org/city/edmonton>; b) CARRION, 1998.

A sala com forma trapezoidal, sendo o **leque invertido**, existe um grande número de reflexões laterais (Figura 18). Por ter a visibilidade comprometida em boa parte de suas localidades, não há espaço concebido exclusivamente com essa forma.

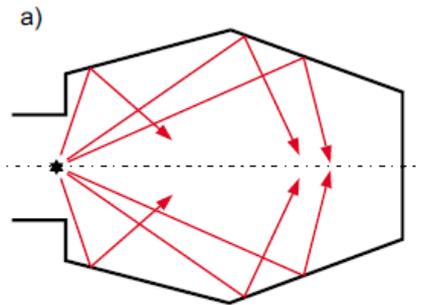
**Figura 18** – Sala em forma de leque invertido com a representação das reflexões laterais.



**Fonte:** Carrion, 1998.

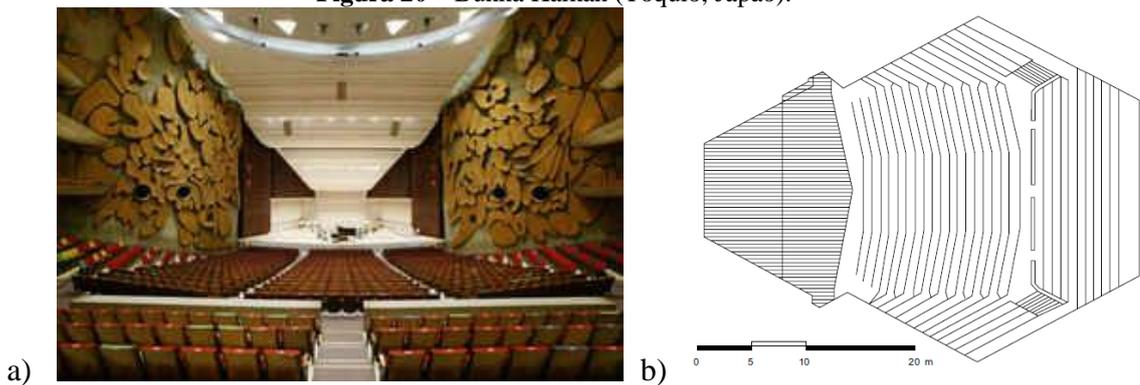
A **forma de hexágono alongado ou “diamante”** é resultado da combinação entre a sala em forma de leque e a sala em forma de leque invertido (Figura 19). Portanto, possui as vantagens que estas salas possuem. Uma edificação que possui a planta nesse formato é o Bunka Kaikan, Tóquio, Japão (Figura 20).

**Figura 19** – Sala em forma de hexágono alongado ou “diamante” com a representação das reflexões laterais.



Fonte: Carrion, 1998.

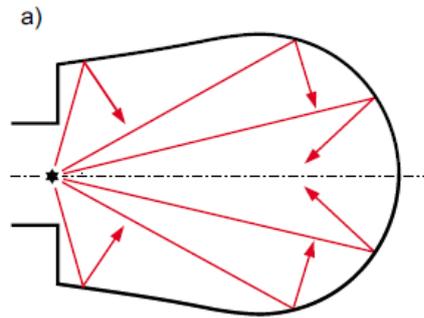
**Figura 20** – Bunka Kaikan (Tóquio, Japão).



Fonte: a) <https://www.discogs.com/label/333336-Tokyo-Bunka-Kaikan>; b) CARRION, 1998.

A **forma de ferradura** (Figura 21) é amplamente utilizada para concepção de teatros e óperas. Segundo Carrion (1998) as características básicas desse tipo de forma é a baixa energia associada com as primeiras reflexões laterais; possível existência de focalizações, causada pela concavidade da parede posterior e a possibilidade de grande capacidade. Um exemplo de edificação com a planta nesse perfil é o Carnegie Hall, Nova Iorque, EUA (Figura 22).

**Figura 21** – Sala em forma de ferradura com a representação das reflexões laterais.



Fonte: Carrion, 1998.

**Figura 22** - Carnegie Hall, Nova Iorque, EUA.



Fonte: <http://www.gustavopierral.net/?p=24185>

Metha, Johnson, Rocafort (1999), afirma que as características da geometria de uma sala (volume e características de absorção das suas superfícies e conteúdo), influenciam tanto na qualidade do som, bem como no seu nível. A seguir, será abordado sobre como o comportamento do som pode ser alterado de acordo com o tipo de superfície.

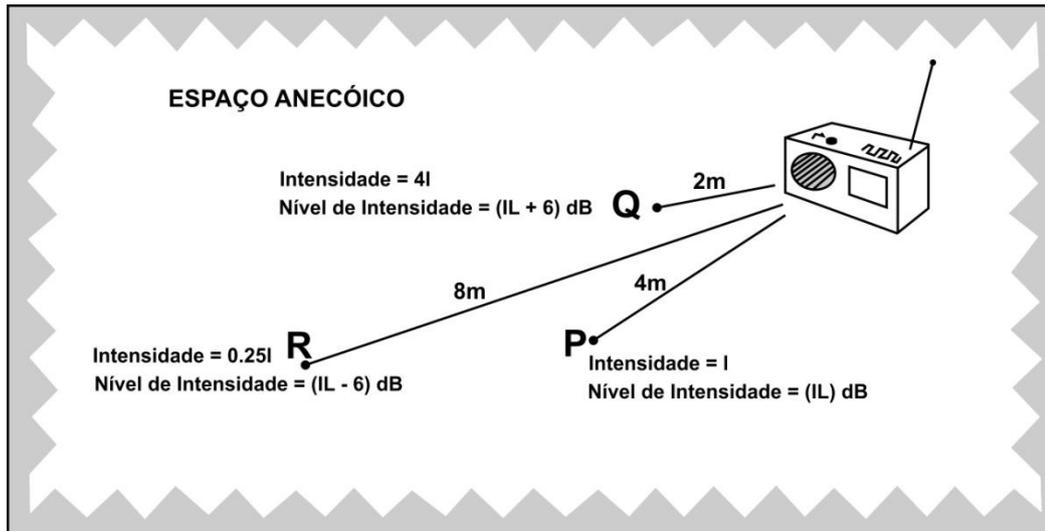
### 2.2.2 Superfícies absorvedoras e reflexivas

A absorção sonora é responsável em suavizar a intensidade sonora nos ambientes. Os materiais que possuem superfícies fibrosa e porosa absorvem parcela significativa do som. Alguns exemplos de materiais que podem ser usados para absorver o som: lã de rocha e lã de vidro (superfície fibrosa), espuma de poliuretano e esponja (superfície porosa). A absorção nesse tipo de material ocorre pela dissipação de energia por atrito, isso ocorre devido ao movimento do ar no interior do material. Os valores do coeficiente de absorção ( $\alpha$ ) varia entre 0 e 1. Este coeficiente corresponde ao quociente entre a quantidade de energia sonora absorvida e a quantidade de energia incidente.

Um espaço onde não existe reflexão de som, ou seja, todos os sons emitidos vêm diretamente da fonte é chamado de campo livre (liberdade de reflexões). Nesse tipo de situação,

a cada duplicação da distância, o nível do som cai 6dB (Figura 23). Na prática, esse tipo de campo é obtido numa sala feita exatamente para esse fim, denominada câmara anecóica (Figura 24). Nessa câmara todas as superfícies são revestidas com materiais absorventes, o material absorvente do chão é protegido por uma rede de arame estrutural acima dela. Ou seja, o nível de som reverberante é zero.

**Figura 23** - Comportamento do som em campo livre (espaço anecóico).



Fonte: Adaptado de Mehta; Johnson; Rocafort, 1999.

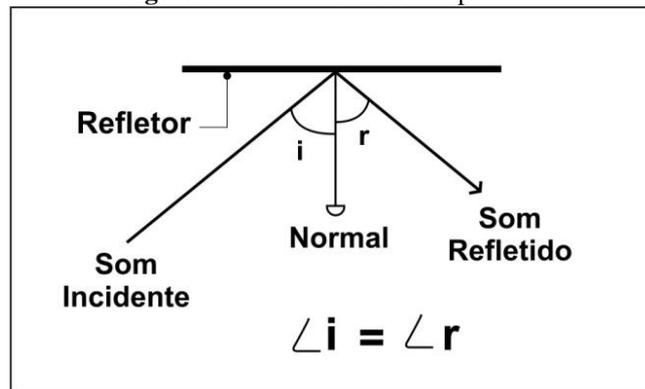
**Figura 24** - Câmara Anecóica.



Fonte: Disponível em: <<http://www.mundogump.com.br/camara-anecoica-o-maior-silencio-que-voce-pode-imaginar/>> Acesso em: 10/11/2015.

A reflexão sonora ocorre quando a onda não é absorvida pela superfície, sendo refletida de volta para o ambiente com o ângulo igual ao ângulo de incidência (Valle, 2009). Dentro deste conceito existem dois tipos de reflexão sonora, a difusa e a especular. A reflexão especular (Figura 25) ocorre quando o ângulo de incidência ( $i$ ) das ondas sonoras é igual ao ângulo de reflexão ( $r$ ). Para que ocorra a reflexão especular a superfície precisa ter irregularidades e texturas muito menores do que o comprimento de onda do som.

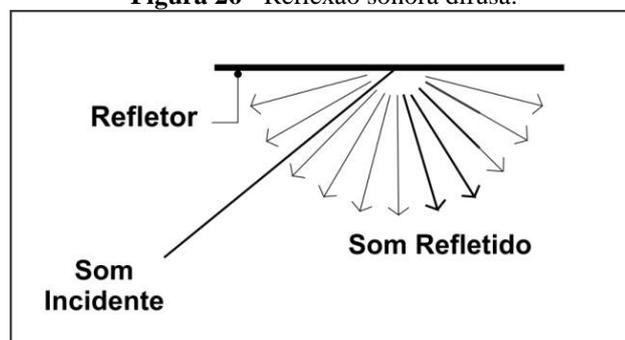
**Figura 25 - Reflexão sonora especular.**



**Fonte:** Adaptado de Mehta; Johnson; Rocafort, 1999.

A reflexão especular é o oposto da reflexão difusa (Figura 26). Esta ocorre quando a superfície apresenta irregularidades e texturas fazendo com que o som incidente reflita igualmente em todas as direções, dispersão uniforme (Mehta; Johnson; Rocafort, 1999). As irregularidades da superfície, nesse tipo de reflexão, precisam ter dimensões semelhantes ao comprimento de onda. Por conseguinte, uma superfície será especular ou difusa a depender de suas irregularidades em relação ao comprimento de onda sonora que nela for incidida.

**Figura 26 - Reflexão sonora difusa.**

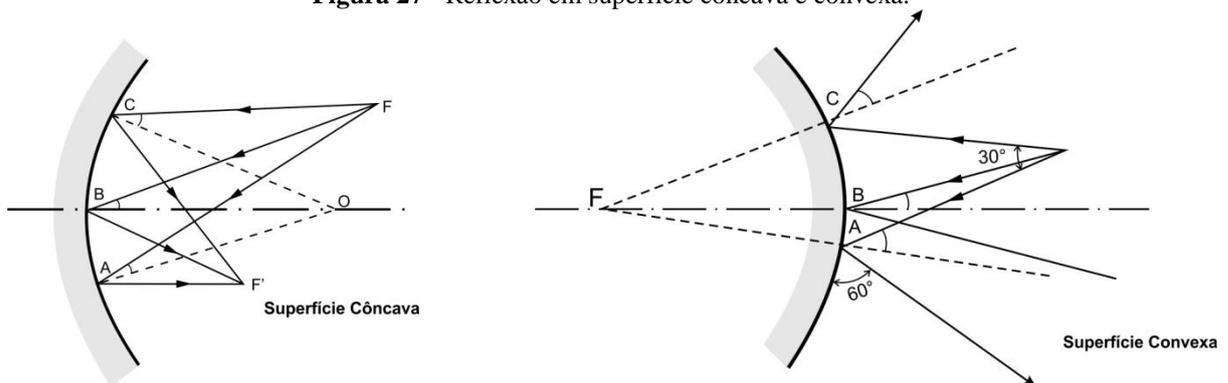


**Fonte:** Adaptado de Mehta; Johnson; Rocafort, 1999.

Um campo de som completamente difuso costuma não existir, pois o som direto acaba predominando sobre os sons refletidos. Ambientes com muita difusão do som é um dos requisitos para salas destinadas às apresentações musicais. Alguns fatores promovem uma melhor difusão sonora, como por exemplo, a irregularidade da forma e, sendo assim, quanto mais superfícies irregulares um ambiente tiver, maior será a difusão do som em seu interior.

Em superfícies reflexivas côncavas ou convexas o fenômeno da reflexão ocorre do mesmo modo, pois essas superfícies são compostas de um número infinito de pequenos planos (SILVA, 2011). As superfícies côncavas tendem a convergir o som, ou seja, concentrar um som. Já as superfícies convexas difundirão o som, melhorando sua difusão (Figura 27). Quanto ao tamanho dos ambientes, a difusão é mais facilmente obtida nos espaços grandes do que em ambientes pequenos. Outros fatores que acabam contribuindo para melhor difusão sonora são os elementos no interior dos ambientes como pilares, mezaninos, vigas expostas, tetos trabalhados, entre outros.

**Figura 27** - Reflexão em superfície côncava e convexa.



Fonte: Adaptado de SILVA, 2011.

### 2.2.3 Influências da transparência

A transparência acústica está relacionada a três fatores, a transparência visual, a frequência do som e a distribuição dos vazios. Segundo Mehta; Johnson; Rocafort (1999) a transparência acústica é sempre maior do que a transparência visual de uma abertura. Outro fato destacado pelos autores é que a transparência acústica de uma abertura aumenta com a diminuição da frequência. Por sua vez, uma tela com pequenos vazios espaçados terá maior transparência acústica do que a mesma tela com grandes espaços vazios mais afastados. A Figura 28 apresenta três painéis, onde o painel (a) possui uma maior transparência acústica do que o painel (b), que por sua vez tem maior transparência acústica do que o painel (c). Entretanto, as transparências visuais dos três painéis são iguais, 30%.

**Figura 28** – Três painéis perfurados com a mesma transparência visual (30%), mas com transparências acústicas diferentes.

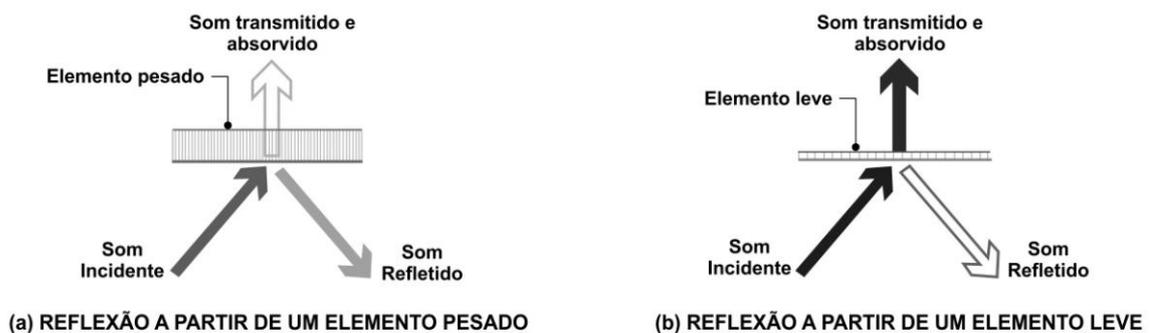


Fonte: Adaptado de Mehta; Johnson; Rocafort, 1999.

### 2.2.4 Influência da espessura

Outra característica a se considerar é a influência da espessura dos elementos que compõe a envoltória da edificação ou dos elementos acústicos utilizados para tratar o ambiente. A espessura determinará o grau de transmissão e reflexão da onda sonora. Para uma melhor compreensão, a Figura 29 demonstra o comportamento do som incidente em dois tipos de elementos. No elemento mais pesado ou espesso, percebe-se que uma parcela menor do raio incidente será transmitida e absorvida. Nesse caso, uma maior parcela do som será refletida de volta ao ambiente. Ao passo que no elemento mais leve ou mais flexível, a parcela de raio transmitida e absorvida é bem maior que a situação anterior, ou seja, uma pequena parcela do som será refletida para o interior do ambiente.

**Figura 29** - Desempenho do som em um elemento pesado (a) e em um elemento leve (b).



Fonte: Adaptado de Mehta; Johnson; Rocafort, 1999.

### 2.3 Elementos integrantes internos para reforço sonoro

Em ambientes fechados (auditórios, escolas, templos, teatros), é crescente o uso de sistema de reforço sonoro. Kleiner (2012) afirma que os sistemas de reforço sonoro são frequentemente utilizados para proporcionar melhores condições para ouvir a fala em ambientes acusticamente difíceis, como aqueles caracterizados por distância, reverberação ou reflexões inadequadas. Essas interferências podem prejudicar significativamente a realização de

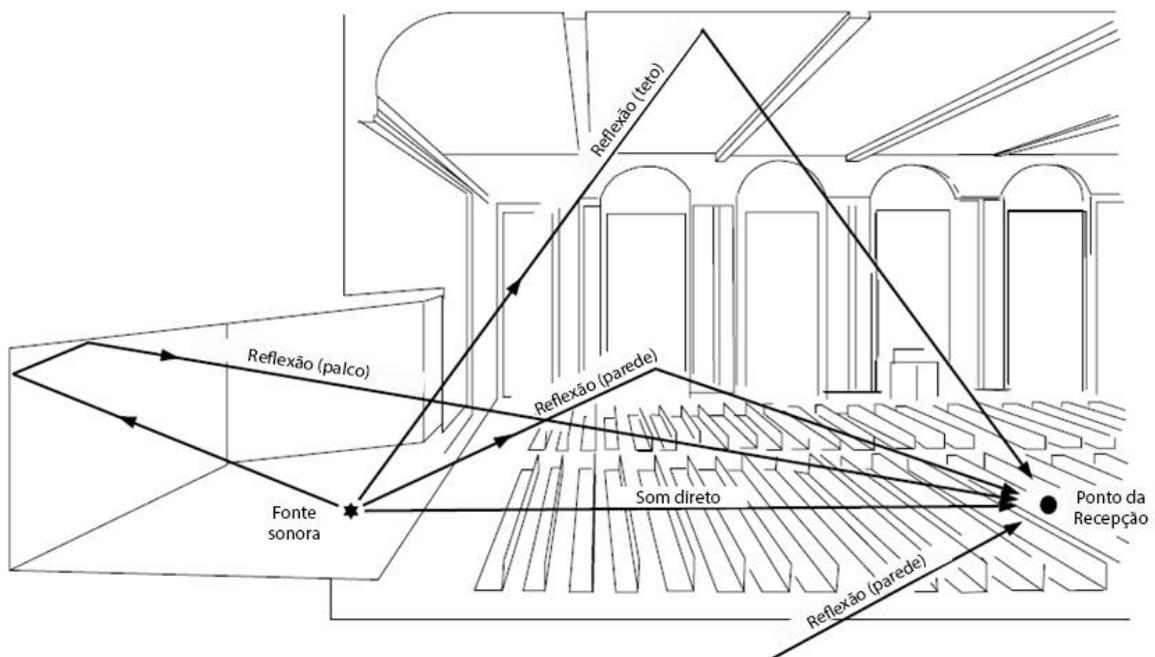
atividades no interior desse tipo de ambiente. Porém, é de suma importância atentar para a interação entre o sistema de reforço sonoro e o ambiente onde será inserido. Reforço sonoro, nesse trabalho é entendido como sendo todo elemento que permita a reflexão do som, proporcionando a este, maior tempo de permanência no ambiente e/ou auxiliando em sua amplificação e distribuição. Dentro deste conceito estão inseridos também os equipamentos eletroacústicos que também auxiliam na distribuição do som no interior da edificação.

### 2.3.1 Desempenho do som após a interação com os elementos construtivos

Cada ambiente, a depender do seu uso, exigirá níveis de absorção e reflexão necessários para que este tenha um bom desempenho acústico. Além da forma arquitetônica e o volume influenciarem no comportamento das ondas sonoras dentro desse ambiente, os materiais usados como revestimento também são responsáveis em proporcionar níveis ótimos dos parâmetros acústicos.

Carrion (1998) afirma que em geral deve existir uma preocupação com o desempenho das primeiras reflexões (Figura 30), pois estas têm o nível de energia mais alto em relação às reflexões posteriores. Assim, entende-se que os materiais poderão ter basicamente três efeitos acústicos, são esses: absorção do som (materiais absorventes, ressonadores, público e cadeiras); reflexão do som (elementos refletoras); e difusão do som (difusores que dispersam uniformemente e em múltiplas direções a energia sonora incidente).

**Figura 30** – Exemplo da chegada do som direto e das primeiras reflexões a um receptor.



Fonte: Adaptado de Carrion, 1998.

Materiais muito rígidos e sem porosidade geralmente apresenta pouca absorção sonora. A Tabela 2 apresenta os valores dos coeficientes de absorção de materiais geralmente utilizados na construção de recintos. Observa-se que esses valores são extremamente baixos, o material que apresenta um pouco mais de rugosidade apresenta valores ligeiramente mais altos.

**Tabela 2** – Coeficientes de absorção do som de materiais geralmente utilizados na construção de recintos.

Frequencia (Hz)	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Concreto sólido	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04
Blocos de concreto pintados	0,10	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Tijolo revestido com gesso	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04

Fonte: Adaptado de Carrion, 1998.

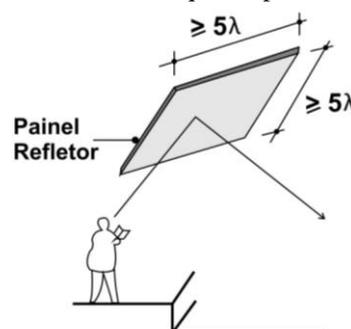
### 2.3.2 Reforço sonoro através de aplicação de forro na edificação

O forro é uma das maiores áreas para ser tratada acusticamente dentro de uma edificação. Ou seja, ele não deve ser visto apenas como um produto inserido no teto, a fim de evitar a visualização da cobertura (estrutura de sustentação e telhas).

O desempenho do som após sua interação com o forro dependerá do comprimento de onda, da geometria e do material que o compõe. O forro pode influenciar positiva ou negativamente na acústica da edificação. É necessário atentar para correta distribuição do som para a plateia, escolhendo a geometria e tipo de material adequado para cada situação.

Nos templos, uma forma de contribuir positivamente para a acústica é implantar o forro. Este pode funcionar como refletor e distribuir o som em toda ou em parte da edificação. Segundo Metha; Johnson; Rocafort (1999), para que um painel possa funcionar como refletor de forma eficaz é necessário que ambas as suas dimensões sejam pelo  $5\lambda$ , ou seja, pelo menos cinco vezes o comprimento de onda do som refletido (Figura 31). Outro fator importante para determinar eficácia do forro é sua rigidez.

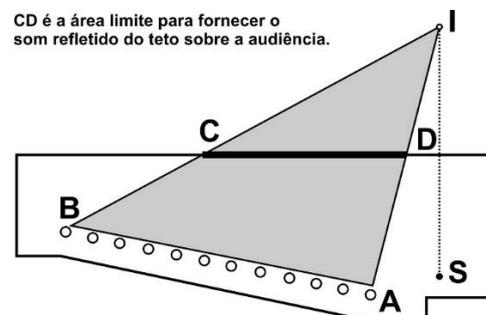
**Figura 31** - Dimensões adequadas para um painel refletor.



Fonte: Adaptado de Metha; Johnson; Rocafort, 1999.

Segundo Metha; Johnson; Rocafort (1999) existe uma forma de dimensionar a superfície refletora do teto. Com base na Figura 32, observa-se que a fonte S possui uma imagem acústica I, e a audiência está disposta de A até B. Basta ligar os pontos A, I e B. Isto implica que apenas uma parte do teto, que se estende de C para D é necessário ser refletora especular. O restante do teto pode ser tratado de forma diferente. Se ocorrer de o refletor ser menor do que CD, parte da audiência AB não receberá o som refletido. Caso contrário, parte do som refletido irá cair fora da área da audiência, aumentando a reverberação da edificação, prejudicando a inteligibilidade.

**Figura 32** - Corte de um auditório mostrando a localização do refletor.



**Fonte:** Adaptado de Metha; Johnson; Rocafort, 1999.

Em recintos onde não há espaço suficiente disponível para montagem da quantidade de material absorvente necessária, ou em que é essencial aumentar a superfície de absorção para além do estritamente associado às superfícies de contorno, será muitas vezes necessário serem utilizados materiais absorventes de teto suspenso (Carrion, 1998). A figura 33 mostra a solução adotada em um refeitório, do estádio Groupama Arena (Hungria), onde foram utilizados elementos retangulares, de fibra mineral, denominados popularmente como baffles.

**Figura 33** – Refeitório do Groupama Arena (Hungria).



**Fonte:** <http://www.armstrong.pt/commc1geu/eu1/pt/pt/baffle-optima.html>, Acesso em: 03 abr. 2017.

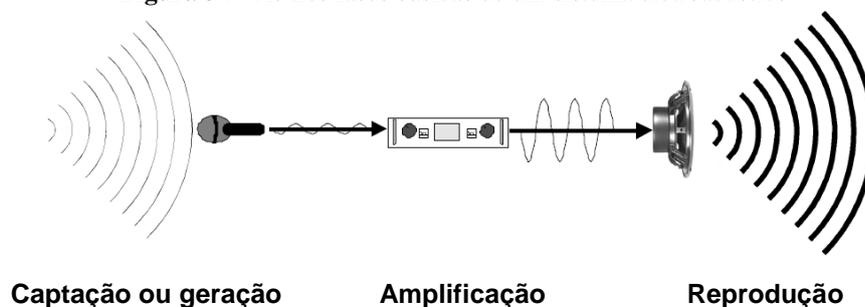
### 2.3.3 Tipos de forro

Existem dois tipos de forro, aderentes e suspensos. Os forros aderentes são aqueles que servem de proteção e são aplicados diretamente na laje (argamassa e gesso em pasta). Os forros suspensos, também chamados de “forro falso”, nele poderão ser embutidos as instalações elétricas, de água, esgoto entre outros. Existem diversos materiais que compõe os forros suspensos, tais como, PVC, gesso, madeira/lambri, metal, ferro, cimento, concreto aparente, fibra mineral, poliestireno expandido (isopor), pallets, entre outros. O forro suspenso poder ser fixo ou móvel. Esse trabalho irá explorar sobre três formas de forros: o forro paralelo ao piso – denominado reto; o forro multifacetado; e o forro curvo. Nas três situações o forro é suspenso e fixo.

### 2.4 Áudio

A eletroacústica consiste na transmissão, gravação e reprodução de sinais acústicos por meio de equipamentos eletrônicos. Esse recurso é utilizado em ambientes no qual a fonte sonora de interesse (voz humana) se apresenta limitada, agindo assim, como reforço sonoro. Em um sistema eletroacústico o som passará, no mínimo, por 3 fases: captação ou geração, amplificação e reprodução (Figura 34).

**Figura 34** - As três fases básicas de um sistema eletroacústico



- **Captação ou geração:** o som é captado pelos microfones ou gerado pelos instrumentos, só que em baixas intensidades (por volta de 0,001W) e são transformados em sinais elétricos;
- **Amplificação:** os sinais elétricos são amplificados e saem com intensidade elevada (10W, 100W, 1000W ou mais);
- **Reprodução:** nesta fase os sinais elétricos são reproduzidos com intensidade bem maiores em relação aos que entraram no sistema.

O objetivo de um sistema de reforço sonoro é fazer com que o ouvinte mais distante do orador receba a voz com intensidade suficiente sem nenhum esforço do quem está sendo falado. A grande vantagem de um sistema eletroacústico é poder ajustar a projeção do som, controlando-se o nível de pressão sonora, sua distribuição e o tempo que o sinal deve atingir determinadas áreas do público ouvinte (FUJIMOTO, 2004). Alguns cuidados devem ser tomados antes da instalação desses equipamentos, tais como, prever locais de instalação e ajustar para que o som emitido pelo sistema não chegue antes do som emitido pela fonte, assim não causará no receptor a errônea identificação do local da fonte sonora.

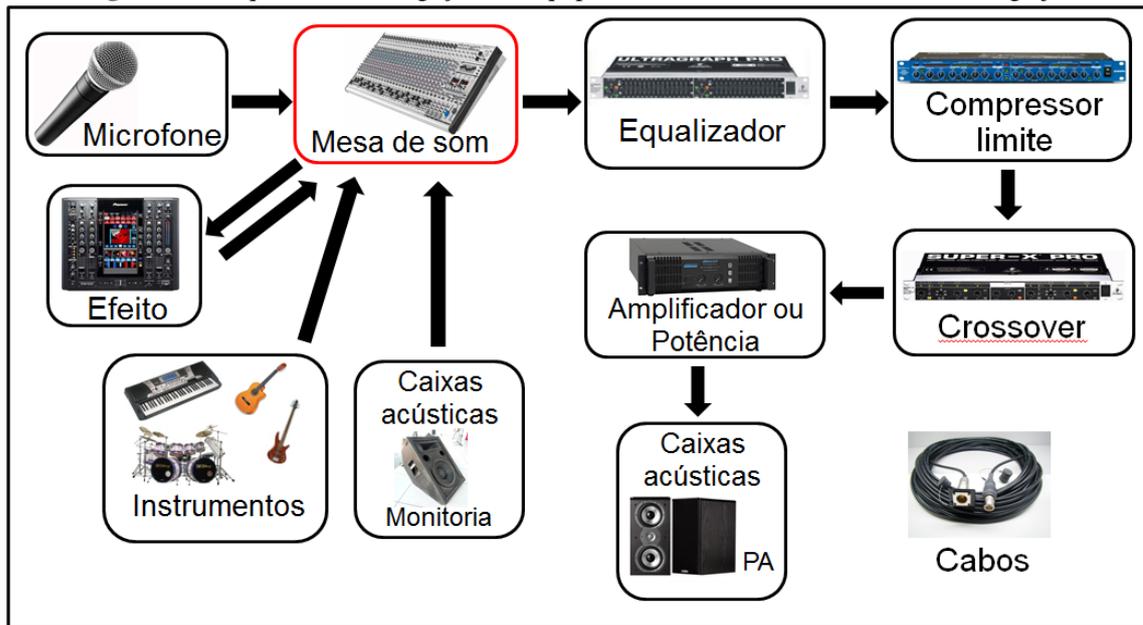
Os equipamentos permitirão, quando necessário, a distribuição do som, o melhoramento em sua resposta final, compressão ou limitação da saída de áudio, a divisão de frequências, a ampliação e até mesmo a produção de efeitos sonoros. Esses equipamentos podem influenciar significativamente nos resultados. Por conta disso, é de suma importância que estes se apresentem com uma boa qualidade técnica.

Um fator importante a se considerar é a reverberação, que está ligado ao prolongamento do som em um ambiente. Para aperfeiçoar o uso de uma sala com o tempo de reverberação adequado, faz-se através da especificação de materiais de absorção, como foi dito anteriormente. Porém, essa aplicação ou modificação de materiais nem sempre é possível ou prático. Sendo assim, segundo Fujimoto (2004) a sensação de reverberação na sala pode ser alterada através do sistema eletroacústico. Esse seria o método mais versátil e talvez menos demorado.

#### **2.4.1 Componentes e posicionamento do sistema de áudio**

Existem diversos tipos e marcas de equipamentos eletroacústicos, porém, a seguir será apresentado o esquema de interligação desses equipamentos (Figura 35) comumente empregado em templos evangélicos, objeto de estudo desse trabalho. A seguir, para melhor compreensão será definido cada um deles com suas respectivas funções.

**Figura 35** - Esquema da interligação dos equipamentos eletroacústicos utilizados em igrejas



Fonte: Oliveira, 2015.

A **mesa de som**, também conhecida como *mix*, é o principal componente do sistema de sonorização. É usada como centro de operações quando o sistema digital é utilizado apenas, ou principalmente, como gravador, ou quando se tem poucas trilhas físicas e poucas fontes de sinal – o que exige que alguma mixagem seja feita ao gravar (Valle, 2009).

A mesa recebe, através de seus vários canais, os sinais de áudio e os encaminha através de duas saídas (*left e right*), que são as caixas acústicas denominadas PA (som dirigido ao público). Cada canal possui individualmente, volume, controle de equalização (agudo, médio e grave) e ajuste de saída (direita, esquerda ou nas duas ao mesmo tempo). Os canais podem ser encaminhados para saídas auxiliares (usadas em geral para efeitos), caixas acústicas ou fones de ouvido. Assim, cada um pode ter um ajuste diferente de acordo com a necessidade. Existe também a opção de agrupamento de canais, fazendo com que estes possuam comandos em comum. Por fim, a mesa de som mistura os sinais de áudio e os controla buscando obter o melhor resultado possível.

O **equalizador** é o dispositivo utilizado para melhorar a resposta final do som. Segundo Valle (2009), o equalizador trabalha no domínio da frequência, aumentando ou reduzindo o ganho em diferentes pontos da banda de áudio. Ele pode ser usado como filtro para atenuar ou eliminar frequências que incomodam e ruídos ou interferências que se misturam com o som. Os ambientes fechados respondem de forma diferente às frequências, ele irá reforçar ou atenuar as frequências de acordo com os níveis de absorção. Assim, o equalizador irá compensar de

forma precisa as diferenças tonais causadas pela acústica do ambiente ou pela baixa qualidade das caixas acústicas.

O **compressor limite** atua na variação do som original fazendo com que ele nunca ultrapasse determinado valor de amplitude. Ou seja, dependendo dos seus ajustes ele limita, realça ou abaixa automaticamente o som de um instrumento. A música e a voz humana variam suas intensidades rapidamente em curtos espaços de tempo, o compressor controla essas variações de forma mais eficiente do que manualmente. O compressor limite, por sua vez, minimiza eventuais sobras da equalização.

O **crossover** tem como função dividir as frequências. Ele pode ser externo ou interno da caixa acústica. Em templos usam-se geralmente os que possuem 3 ou 4 vias (grave, médio grave, médio e agudo). A importância de se utilizar um divisor de frequência consiste no fato da separação dos sinais a serem enviados a cada alto-falante.

O **amplificador** consiste no equipamento responsável pela transmissão e aumento do sinal elétrico para as caixas acústicas. Os amplificadores também recebem o nome de potência. Segundo Silva (2011):

Os amplificadores devem ser também adequadamente potentes, ter bom ganho, boa resposta às frequências diversas, não apresentar zumbidos e ruídos, ter baixa distorção e ser de boa construção mecânica. (SILVA, 2011, p. 146)

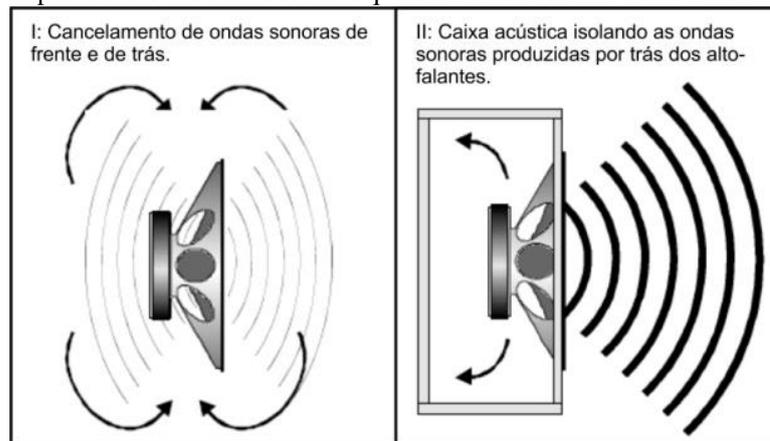
A potência do amplificador determinará a quantidade de alto-falantes que serão usados no projeto de sonorização. No entanto, não é recomendado utilizar o equipamento em sua potência máxima. Foram destacados dois tipos de potências elétricas efetivas, tanto para amplificadores quanto para alto-falantes:

- **RMS:** a sigla significa *Root Mean Square*. É a potência máxima que um equipamento pode gerar com baixo nível de distorção e em toda a gama audível Hi-Fi (20Hz a 20kHz), por tempo indeterminado;
- **PMPO:** *Peak Music Power Output*, Potência de Saída de Pico Musical (tradução livre). Consiste na potência máxima do equipamento, ou seja, aquela gerada com o volume máximo e com altíssimo nível de distorção. Ela pode ser utilizada por breves períodos antes que cause danos irreversíveis aos amplificadores ou caixas acústicas.

Assim sendo, a potência é sempre a mesma coisa (Watts), diferenciando apenas nas condições em que foi medida. Ou seja, a potência RMS tem critérios de medição e normalização uniforme, já a potência PMPO varia de acordo com o fabricante.

As **caixas acústicas** têm a função evitar que a pressão sonora produzida pela trazeira do alto-falante cancele a pressão produzida pela frente do cone, nas baixas frequências (Valle, 2009). A Figura 36 mostra duas situações, a primeira mostra o cancelamento das ondas sonoras, devido à ausência da caixa acústica. Já a segunda situação, não houve cancelamento das ondas devido a presença da caixa acústica. Geralmente elas são construídas em madeira ou plástico e possuem aberturas para instalação de alto-falante.

**Figura 36** - Comportamento das ondas sonoras que saem dos alto-falantes com e sem caixa acústica.



Os **alto-falantes** são os equipamentos responsáveis pela transformação das vibrações do ar em som audível. Não existe um alto-falante capaz de reproduzir adequadamente toda a faixa audível de sinais (20Hz a 20kHz), especialmente em altos níveis de pressão sonora. Cada tipo de som (agudo, médio e grave) possui uma frequência específica suportada por modelo de alto-falante:

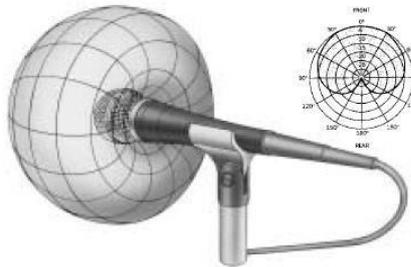
- *Tweeter* ou *driver*: para sons agudos;
- *Midrange*: para sons médios;
- *Woofers*: para sons graves.

A divisão dos sinais a serem enviados a cada alto-falante é função do *crossover*, como foi dito anteriormente. As caixas acústicas podem ser aqui classificadas em três tipos: PA, monitores ou retornos e as auxiliares. A sigla PA significa “*Public Address*”, é o som que é dirigido ao público. Os monitores ou retornos são as caixas acústicas que ficam direcionadas para quem está emitindo o som (pastores, cantores, músicos, etc). Já as caixas auxiliares são aquelas que reforçam o som direcionado ao público.

O **efeito** é um equipamento que serve para modificar o som, podendo ser feita de maneira analógica ou digital. Alguns exemplos de efeitos são: o **reverb** (reverberação) que simula ambientes (sala pequena, estádio, igreja); o **delay** que atrasa o som e gera eco de acordo com o tempo de atraso; o **chorus** que simula várias vozes ou instrumentos a partir de um. Existem também equipamentos chamados multi-efeitos que possuem memórias onde podem ser aplicados vários efeitos ao mesmo tempo.

O **microfone** é um transdutor, pois converte energia acústica captada por suas membranas, em energia elétrica (Valle, 2009). Há diversos tipos de microfones, os mais utilizados em igrejas, eventos, shows, são do tipo dinâmico e de padrão de captação unidirecional ou direcional (Figura 37). Os microfones dinâmicos são conhecidos por sua robustez e resistência mecânica, além de serem muito populares. O padrão de captação refere-se à forma como o microfone capta os sinais. O microfone unidirecional ou direcional é aquele que capta melhor os sons que incidem pela parte frontal e menos sons de incidência lateral e traseira.

**Figura 37** - Microfone com captação unidirecional ou direcional.



**Fonte:** <https://musicaeadoracao.com.br/25621/microfonia-como-controlar-este-incomodo/> Acessado em 4abr17.

É de extrema importância adquirir um microfone de qualidade, pois, a única coisa que o sistema eletroacústico fará é “amplificar” o som do microfone. Se o som for de pouca qualidade, é isso que sairá nas caixas acústicas. Deve-se tomar cuidado com a disposição dos microfones em relação às caixas acústicas para evitar a microfonia. A microfonia consiste na realimentação do áudio. Isso ocorre quando um microfone capta o som do dispositivo (caixas acústicas) que emite o som do próprio microfone, provocando um ruído de alta frequência (muito agudo).

O **cabo** serve para interligar os diversos equipamentos, conduzindo sinais elétricos - condutores. A maioria dos problemas de som (ruídos, tiros, estalos, falhas) é causada pela utilização de cabos ou conectores inadequados ou em mau estado. Existe um tipo de cabo adequado para cada uso. Uma escolha errada pode fazer com que o cabo funcione como uma

antena. Ou seja, este captará todos os ruídos de rádio e TV que circulam pela atmosfera e os introduzirá no sistema de P.A. (som dirigido ao público), junto de ruídos.

Na instalação de qualquer equipamento de áudio deve-se haver uma preocupação com a parte elétrica, que deve ser adequada e possuir um bom aterramento. Algum descuido pode refletir no surgimento de interferências ou até mesmo o comprometimento do próprio equipamento. Para esse tipo de instalação devem-se utilizar filtros de linha e estabilizadores de tensão, o primeiro elimina ou minimiza os ruídos da rede elétrica e o segundo protege os eletrônicos das variações bruscas de tensão.

Apesar de todas as vantagens que um sistema eletroacústico possa apresentar, a qualidade acústica de um ambiente só é alcançada quando há um equilíbrio entre o tratamento acústico e a eletroacústica. Ou seja, é importante que seja feita uma avaliação acústica que apresente informações pertinentes de onde e como deve ser investido para que um ambiente desempenhe bem a sua função, levando em consideração esses dois fatores, tratamento acústico e a eletroacústica.

#### **2.4.2 Posicionamento do sistema de áudio**

A distribuição das caixas acústicas no ambiente é um fator muito importante. Da mesma forma que ela pode contribuir para uma boa difusão sonora. Quando utilizada erroneamente, essa distribuição pode embaralhar o som, afetando a inteligibilidade. Além da plateia, os próprios músicos precisam ter uma boa audibilidade. Para isso, devem-se posicionar corretamente as caixas acústicas de distribuição e retorno, assim como, os microfones captadores.

A distribuição do som nos templos pode ser analisada em duas situações: no altar, onde ficam as caixas acústicas conhecidas como monitores ou retornos; e na nave, onde ficam as caixas acústicas conhecidas como P.A. (som dirigido ao público) e, em alguns casos, as caixas auxiliares, que reforçam o som que sai do P.A.

No altar é comum de se encontrar um número elevado de caixas acústicas (monitores ou retornos) e isso faz com que os níveis de intensidade do som no palco excedam os níveis das caixas principais (P.A.). Algumas recomendações para evitar esses altos níveis no altar, são: reduzir ao máximo o nível dos sons no altar; aproximar os monitores o máximo dos músicos; direcionar as caixas acústicas para os ouvidos dos músicos, e não para os joelhos; reduzir o número de fontes sonoras; conscientizar aos músicos que os altos níveis sonoros irão prejudicá-los; adotar o sistema de retornos por meio de fones ou “pontos” nos ouvidos ao invés das caixas acústicas; tocar os instrumentos acústicos com intensidade mais suave, por exemplo, a bateria.

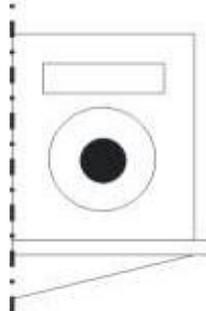
Uma estratégia mais radical é utilizar a bateria eletrônica, que apesar de exigir dos bateristas uma técnica diferente de execução, pode custar menos que uma bateria profissional (Figura 38). Outra vantagem é que a bateria eletrônica oferecerá um som de volume constante, independentemente da técnica do baterista.



**Fonte:** [http://www.equipo.com.br/tama/produtos/detalhes.asp?id=25&prod\\_id=10881](http://www.equipo.com.br/tama/produtos/detalhes.asp?id=25&prod_id=10881). Acesso em Janeiro de 2016.

Para a nave dos templos, deve-se haver a preocupação de apontar as caixas de forma que o som seja bem distribuído na plateia. A forma mais usual de dispor as caixas acústicas auxiliares é a fixação dessas nas paredes do templo. Só que essa solução exige um cuidado com relação ao direcionamento das caixas. Na Figura 39, a caixa está encostada na parede, e não possui nenhuma inclinação com o objetivo de enviar o som diretamente para os ouvidos das pessoas.

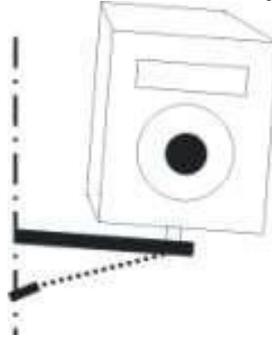
**Figura 39 - Caixa acústica encostada na parede**



Já na Figura 40, mostra que caixa está favorecendo a saída do som, pois possui uma inclinação e distanciamento da parede. A inclinação das caixas deve se basear no fato que o alto-falante cobre, em média, um ângulo de  $90^\circ$  em seu eixo horizontal e  $60^\circ$  em seu eixo

vertical. Isso contribui para uma melhor inteligibilidade, pois evita rebatimentos indesejáveis do som, já que este vai direto aos ouvidos.

**Figura 40** - Caixa acústica com inclinação para plateia.



Outra forma de sonorizar uma igreja é dispor as caixas no teto com os alto-falantes voltados para baixo. Pode ser uma boa solução para igrejas com pé direito muito alto e ausência de forro. O segredo desse tipo de sonorização é distribuir o P.A. em diversas caixas com potência menor de forma equidistante, evitando colocá-las próximo às paredes. Esse tipo de sonorização é pouco difundido e empregado.

## **2.5 Procedimentos de avaliação da qualidade acústica**

Atualmente há três maneiras básicas de estudar as características acústicas de uma sala: através das (i) medições *in loco*, (ii) modelos reduzidos e (iii) simulação computacional. Este trabalho tem o enfoque nas simulações acústicas computacionais que serão mais bem descritas no próximo tópico.

### **2.5.1 Simulações Computacionais**

Uma vez que os dados geométricos de uma sala são introduzidos no modelo computacional, pode-se calcular a forma como o som de uma fonte ou várias fontes incide em várias posições de escuta (Kleiner, 2012). Os primeiros programas de simulação acústica surgiram no início dos anos 80, porém eram muito limitados. Segundo Carrion (1998) os cálculos realizados por esses programas eram muito lentos e os resultados obtidos serviam apenas para orientar. Com o passar dos anos, esses programas foram aperfeiçoados e os resultados são adquiridos com maior rapidez. Para as simulações computacionais acústicas são utilizados os algoritmos, estes se baseiam no pressuposto de que uma onda sonora é interpretada como um raio, que se comporta de forma semelhante ao raio de luz (acústica geométrica). Esse

procedimento é realizado através de softwares, que auxiliam na compreensão dos efeitos da acústica de ambientes, além de enriquecer o processo do projeto arquitetônico. Com a utilização desses programas é possível calcular, com grande aproximação e de forma rápida, todos os parâmetros considerados mais representativos para qualidade acústica de um recinto qualquer. A maioria desses softwares baseia-se em traçados de raio (*Ray tracing*) ou modelagem de imagens em espelho, ou possivelmente um híbrido entre os dois métodos.

A modelagem que utiliza o **traçado de raios** normalmente assume cerca de 1.000 a 1.000.000 de raios. Cada raio possui informações do espectro de potência e da distância percorrida pela onda. Ele se propaga em linha reta e está submetido aos efeitos causados pelo ar e pelas superfícies que compõe a sala, tais como, absorção e reflexão. Os raios são enviados a partir da fonte sonora, que pode ser omnidirecional ou direcional. Segundo Kleiner (2012) ao estudar o número de raios que passam através de uma superfície de teste, ou volume teste (tal como uma esfera), na posição de escuta de interesse, pode-se calcular a resposta de impulso da sala nessa posição. A desvantagem desse tipo de método é a necessidade de modelar a propagação de um grande número de raios. O traçado de pirâmide e de cone são variações do traçado simples de raio.

A modelagem de propagação do som que utiliza **imagens em espelho** assume que o som refletido por uma superfície plana e rígida, tem origem de uma fonte espelhada atrás da superfície. No caso de salas com superfície complexa, poderá ser necessário calcular milhões de fontes de espelhos, pelo fato do som refletir várias vezes pelas várias superfícies. As fontes relevantes devem então ser classificadas usando regras de visibilidade (Kleiner, 2012).

O método híbrido é tipicamente baseado no uso de ambos os métodos (traçado de raios e modelagem de imagens em espelho). O traçado de raios é utilizado inicialmente para encontrar os possíveis caminhos do som. Já a modelagem de imagem espelhada é utilizada para encontrar os caminhos exatos do som. Kleiner (2012) assegura que nenhum método permite a exata modelagem acústica do espaço, uma vez que é utilizada a acústica geométrica.

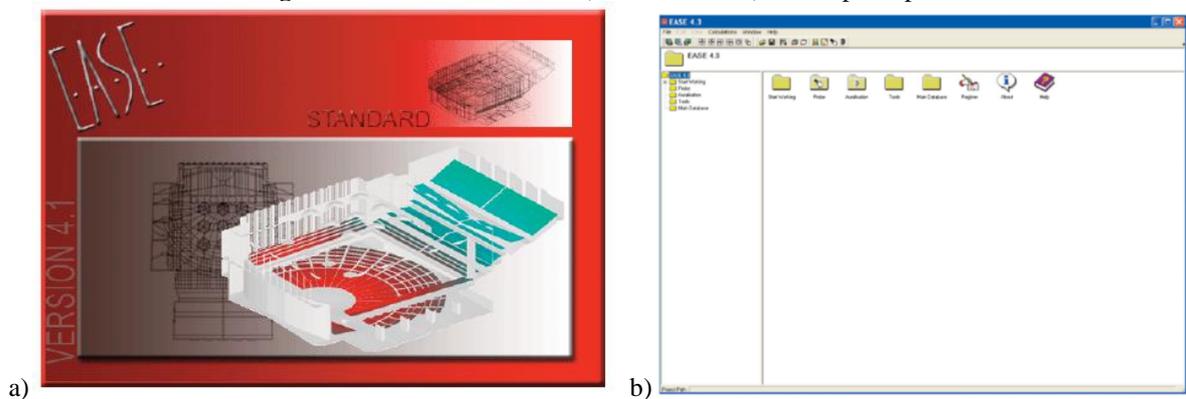
### 2.5.2 Softwares

Usando um software de computador é possível prever propriedades acústicas de uma sala com muito mais detalhes do que através de métodos manuais (Kleiner, 2012). A seguir será explanado sobre os softwares que serão usados nesse trabalho para fazer as simulações acústicas do objeto de estudo, um templo evangélico.

### 2.5.2.1 EASE

O software EASE *Room Acoustic Modeling* 4.3, da AFMG com o módulo AURA. A resposta impulsiva é calculada através desse módulo. Esse processo fornece os valores referentes aos parâmetros acústicos (Ahnert, 2004). Tais parâmetros são baseados na norma ISO 3382-1 (2009). O modelo de cálculo consiste numa mistura entre o método “Traçado de Raios” e da “Modelagem de Imagem”, consistindo no sistema híbrido. Esse sistema também é utilizado por outros softwares de simulação acústica, tais como o Odeon, da Odeon A/S. A Figura 41 mostra a tela inicial e a janela principal do software.

**Figura 41** – Software EASE. a) Tela inicial; b) Janela principal.



Fonte: AHNERT, 2004.

### 2.5.2.2 Sketchup

O software Sketchup pode ser utilizado para fazer a modelação em 3D da edificação, e depois ser importado para o software EASE. A modelagem da edificação consiste em criar uma caixa fechada do modelo, com as superfícies internas da sala que de fato irão ter incidência da onda sonora da sua fonte interna. As espessuras das paredes não precisam ser consideradas para este tipo de simulação. De preferência, na criação do modelo, devem ser criados layers diferentes para cada tipo de material, isso facilitará a atribuição de materiais no EASE.

### 2.5.3 Normas

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o órgão responsável pela normalização técnica no país. As normas brasileiras utilizadas neste trabalho foram a NBR 10152 (ABNT, 1992) e a NBR 12179 (ABNT, 1992). Foram utilizadas também duas normas internacionais a ISO 3382-1 (2009) e a IEC 60268-16 (2011). A seguir essas normas serão esclarecidas:

### 2.5.3.1 NBR 10152 (ABNT, 1992)

A NBR 10152 (ABNT, 1992), é versão corrigida de 1987, intitulada como: Níveis de ruído para conforto acústico. Esta norma tem como objetivo fixar os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos (Tabela 3).

**Tabela 3 - NBR 10152: Intensidade de ruído por localidade**

Locais	dB(A)	NC
<b>Hospitais</b>		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35 - 45	30 - 40
Laboratórios, Áreas para uso do público	40 - 50	35 - 45
Serviços	45 - 55	40 - 50
<b>Escolas</b>		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 - 45	30 - 40
Salas de aula, Laboratórios	40 - 50	35 - 45
Circulação	45 - 55	40 - 50
<b>Hotéis</b>		
Apartamentos	35 - 45	30 - 40
Restaurantes, Salas de Estar	40 - 50	35 - 45
Portaria, Recepção, Circulação	45 - 55	40 - 50
<b>Residências</b>		
Dormitórios	35 - 45	30 - 40
Salas de estar	40 - 50	35 - 45
<b>Auditórios</b>		
Salas de concertos, Teatros	30 - 40	25 - 30
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 - 45	30 - 35
Restaurantes	40 - 50	35 - 45
<b>Escritórios</b>		
Salas de reunião	30 - 40	25 - 35
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35 - 45	30 - 40
Salas de computadores	45 - 65	40 - 60
Salas de mecanografia	50 - 60	45 - 55
<b>IGREJAS E TEMPLOS (Cultos meditativos)</b>	<b>40 - 50</b>	<b>35 - 45</b>
<b>Locais para esporte</b>		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 - 60	40 - 55

**Fonte:** OLIVEIRA, J R 2012. Adaptado da NBR 10152 (ABNT, 1992).

### 2.5.3.2 NBR 12179 (ABNT, 1992)

A NBR 12179 (ABNT, 1992), Tratamento Acústico em recintos fechados. Esta norma tem como objetivo fixar os critérios fundamentais para a execução de tratamentos acústicos em recintos fechados. Nela são apresentadas várias definições relacionadas ao tratamento acústico, como som, ruído, tempo de reverberação, nível de pressão acústica, entre outros.

São explicitadas também as condições gerais e específicas que antes devem ser conhecidas para uma melhor realização do tratamento acústico num recinto fechado.

### **2.5.3.3 ISO 3382-1 (2009)**

Em 2009, essa norma foi publicada pela *International Organization for Standardization* (Organização Internacional para Normalização) e trata dos procedimentos de medição (no caso do trabalho, simulação) dos parâmetros acústicos. Através desses parâmetros é possível definir as condições acústicas de um ambiente.

A norma é composta por duas partes, a parte 1 se refere aos espaços de desempenho e a parte 2 trata do tempo de reverberação em salas comuns, estabelecendo o método para obtenção de TR através de respostas de impulso e ruído interrompido.

### **2.5.3.4 IEC 60268-16 (2011)**

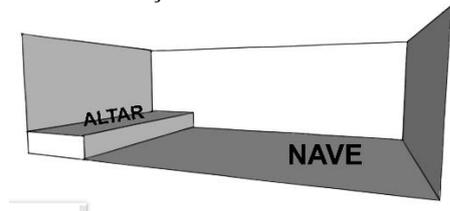
A *International Electrotechnical Commission* (Comissão Internacional Eletrotécnica) publicou um conjunto de normas que formam a IEC 60268-16 (2011). Essas normas tratam especificamente de equipamento de som, e são divididas em dezoito partes, a parte 16 indica o procedimento para avaliação objetiva da inteligibilidade da palavra por meio do parâmetro STI (índice de transmissão da fala). A norma apresenta como interpretar os valores desse parâmetro.

A IEC 60268-6 apresenta três parâmetros principais para avaliação da fala, o STI e suas derivações STIPA (*speech transmission index for public address systems*) e STITEL (*speech transmission index for telecommunication systems*). Os STI e o STIPA são indicados para a avaliação da transmissão da fala com ou sem um sistema de som. O STITEL possui uso mais restrito, sendo indicado para a avaliação de sistemas de telecomunicações.

### 3 ACÚSTICA DE TEMPLOS EVANGÉLICOS

Geralmente, o espaço destinado ao culto se divide em dois, a nave e o altar (Figura 42). A nave consiste na ala central da igreja, onde os fiéis se reúnem para prestarem o culto. O altar pode ser definido como a “plataforma” onde ficam os que conduzem os fiéis, através da pregação da palavra ou da música (louvores). Para uma melhor acomodação dos usuários, esses templos ampliam a dimensão de suas estruturas ou utilizam-se, muitas vezes por praticidade, de galpões industriais. A geometria arquitetônica destes ambientes possui alguns aspectos específicos, como o pé-direito alto, as naves compridas e os grandes volumes com superfícies lisas e paralelas. Nestas condições, na maioria das vezes, o templo passa a não apresentar uma boa inteligibilidade, nem clareza na música, que apontam como requisitos fundamentais para um bom desempenho desse tipo de edificação.

**Figura 42** – Localização do altar e nave dentro do templo.



**Fonte:** Autora.

O conforto acústico de um templo agrega valor ao conjunto arquitetônico, como bem enfatiza Nicolas (2001) o local do culto é a união justa e o equilíbrio perfeito entre o espiritual e o material. A arquitetura nesses ambientes deve permitir a canalização da energia, equilibrando-a com o homem que ali vai ao encontro com sua fé. Em muitos casos, os templos já são concebidos com baixa inteligibilidade, além de apresentar alta intensidade sonora. Isso contribui para o surgimento de queixas por parte dos usuários.

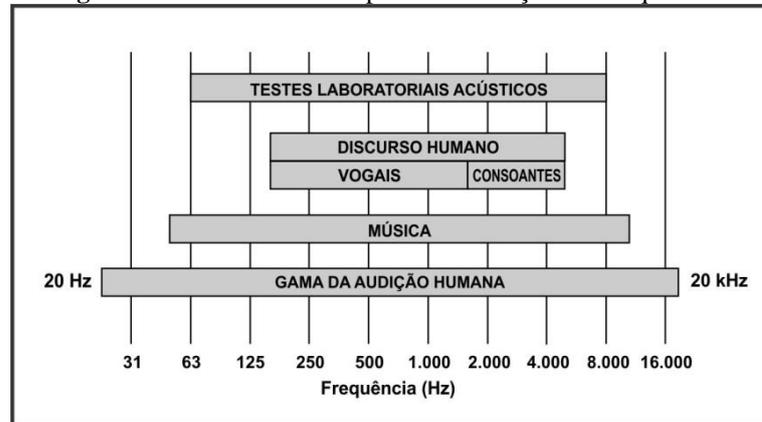
O estudo das condições acústicas em recinto fechados, nesse caso, os templos, está atrelado ao fato de existir dificuldade em entender a celebração, encontrada por parte dos usuários.

#### 3.1 Ambiente acústico: palavra falada e a música

A potência da voz humana se mostra limitada, sendo emitida, geralmente, com baixa intensidade. A gama de frequência da fala se estende de 100Hz a 5Khz. Segundo Mehta; Johnson; Rocafort (1999), a Figura 43 expõe que cerca de 75% da energia sonora da fala está nas vogais, nas baixas e médias frequências, e a outra parte se refere às consoantes, nas altas frequências. Apesar de a energia sonora ser menor nas consoantes, elas fornecem

inteligibilidade à fala humana, as frequências abaixo de 500Hz contribuíram de forma insignificante para a inteligibilidade.

**Figura 43** - Testes acústicos para classificação das frequências.



Fonte: Adaptado de Mehta; Johnson; Rocafort, 1999.

Assim, a inteligibilidade é uma característica de grande importância para o bom desempenho acústico de um ambiente interno. Ela consiste na qualidade do que pode ser compreendido. Sua avaliação encontra-se em perceber o quanto compreensível é a palavra falada. O sinal da fala, a diretividade da fonte sonora, o nível do ruído de fundo, o tempo de reverberação e a forma da sala são fatores que influenciam o nível de inteligibilidade. Esta pode ser avaliada por métodos subjetivos e objetivos.

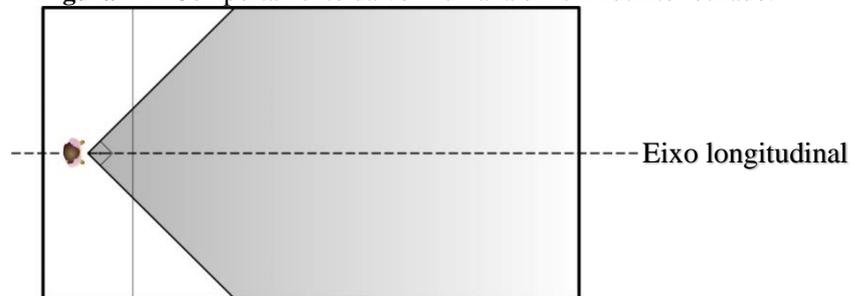
No método subjetivo os ouvintes são solicitados a identificar os elementos sonoros dentro de uma sala. O percentual de acerto é associado à inteligibilidade da fala (LONG, 2005). Já o método objetivo utiliza forma indireta de medição, ou seja, através de modelagem matemática das características da fala, juntamente com a avaliação de respostas impulsivas de ambientes ou sistemas de comunicação. Esse método pode ser avaliado por meio de simulações computacionais, como já foi dito anteriormente.

Diante disso, para que uma sala atenda às condições da palavra falada, deve apresentar um alto grau de inteligibilidade. Ou seja, em todos os pontos da sala, a recepção do som deve ser clara, sendo assim, os sons devem ter curta duração. A inteligibilidade de ambientes fechados tem interferência direta da reverberação (energia tardia ou valores muito baixos de TR) e do ruído de fundo. Para haver compreensão da fala é necessário que a inteligibilidade seja superior a 90% (NEPOMUCENO, 1977).

Em grandes ambientes, onde a voz humana difunde-se de forma precária, frequentemente, utilizam-se equipamentos para auxiliar no reforço sonoro. Para a voz humana, o padrão sonoro não é alterado se mantido um ângulo de 90° em relação ao eixo longitudinal,

45° para cada lado da fonte (Figura 44). Sendo assim, em um auditório, os melhores lugares para recepção do som direto corresponde àqueles localizados próximo ao eixo longitudinal.

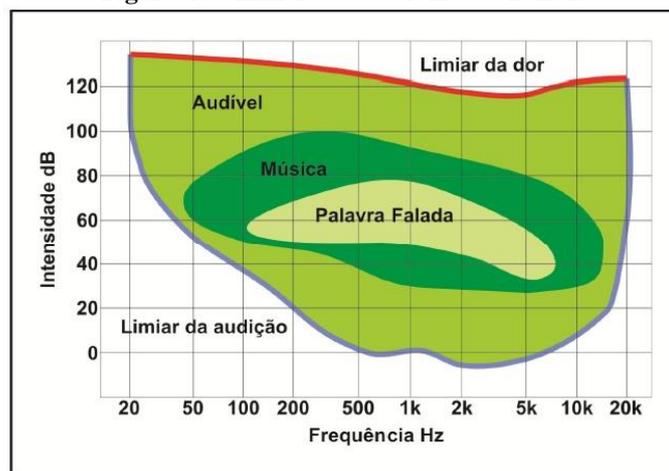
**Figura 44** - Comportamento da voz humana em um recinto fechado.



**Fonte:** Autora.

É relevante considerar, que a música apresenta uma faixa de frequência e níveis de intensidade mais largos que para a palavra falada, como demonstra Carvalho (2010) na Figura 45. Segundo Silva (2011), geralmente, os sons musicais têm potência superior à da voz humana e até mesmo a potência da voz de uma pessoa que canta é duas ou mais vezes superior à da palavra falada. Ou seja, a música dissemina sons que permanecem por mais tempo no ambiente. Fato que contribui, em muitos casos, com a clareza e a qualidade musical.

**Figura 45** - Limiares da audibilidade humana.



**Fonte:** LUZ, T S M. 2010. Adaptado de CARVALHO, R P., 2010.

Antes que o ouvinte receba a música com qualidade, é necessário os músicos tenham um retorno adequado do som produzido para que possam realizar adequadamente a prática musical em conjunto (BERNTSON; ANDERSSON, 2007). Para que isso ocorra é necessário que haja tratamento acústico que possibilite aos músicos a percepção do seu próprio instrumento e do conjunto como um todo, principalmente por meio das primeiras reflexões

(GADE, 2011). Em salas destinadas para a música os baixos níveis de ruídos são necessários não apenas para evitar o ruído da música, mas também para que as pessoas possam ouvir toda a gama dinâmica e qualidades espaciais da reverberação (Kleiner, 2002)

De acordo com o período da história, houveram mudanças nas salas destinadas à execução de música. Um exemplo desse fato é que a música sacra do período barroco era executada em catedrais que possuíam tempos de reverberação muito altos, o que adicionavam efeito às músicas. Sendo assim, executar esse mesmo tipo de música em ambientes com o tempo de reverberação baixo poderá descaracterizar sua originalidade.

Os templos evangélicos caracterizam-se como espaços múltiplos, ou seja, espaços onde é executada tanto a palavra falada, quanto a música. Atuações distintas, que apresentam requisitos com exigências acústicas diferentes, entretanto, com graus de importância semelhantes. A inteligibilidade da voz e a clareza da música são essenciais para compreensão do culto.

### **3.2 Sistema de áudio em templos evangélicos**

De acordo com Silva (2011), “nos grandes templos, cujas naves comportem mais de 600 pessoas, o projeto acústico deverá ser completado sempre com um sistema apropriado, eletroacústico, de amplificação sonora”. A utilização desses equipamentos não descarta um tratamento acústico para o templo, o não tratamento acústico pode prejudicar todo o projeto eletroacústico. Muitos templos são construídos sem nenhuma preocupação com a acústica, e a eletroacústica acaba tornando-se largamente utilizada, na maioria das vezes, de forma inadequada. Como bem afirma Péricles Silva:

Os sistemas de amplificação sonora são, pois, naturais e não constituem qualquer deficiência por parte do projetista, antes é o único caminho disponível para atingir a perfeição do sistema acústico de qualquer bom auditório. (SILVA, 2011, p.145)

Para templos, recomenda-se um bom projeto do sistema de áudio, devendo-se analisar quais são os equipamentos realmente necessários e a disposição adequada, assegurando assim a qualidade de propagação do som no seu interior. Contudo, é necessário um planejamento para a implantação desse sistema de áudio. Algo muito importante é estimar recursos, sejam eles financeiros, materiais e humanos. Não adianta investir num bom equipamento de áudio, sem que haja pessoas capacitadas para operar esse tipo de equipamento. É necessário haver uma preocupação com a durabilidade dos equipamentos, buscando sempre utilizar equipamentos

bons e novos. Como afirma Silva (2011), um fator importante para o bom funcionamento do sistema é a boa qualidade do equipamento.

Na carência de pessoas capacitadas para operar o som, muitos desses templos apelam pela alta sonorização, na falsa impressão que isso melhorará a sua inteligibilidade. Uma ideia interessante para se adotar em templos é tentar manter a música mais baixa de forma que todos ouçam, não a ponto de causar desconforto aos fiéis. Alguns motivos para a utilização do volume baixo são:

- Fazer com que as pessoas prestem atenção no culto;
- Evitar as conversas paralelas;
- A igreja fica mais silenciosa, tornando o culto mais solene;
- A audição não é prejudicada;
- Conservação os equipamentos;
- Atenuação dos níveis de ruídos que incomodam a vizinhança, entre outros.

É preciso entender que volume alto de som não está ligado à qualidade sonora, mas sim à distorção. Deve-se buscar o volume ideal, assim o sistema eletroacústico exercerá sua função com qualidade e contribuirá para uma boa inteligibilidade no recinto.

### **3.3 Pesquisas sobre o tema**

Com o passar do tempo, existe uma busca no aprimoramento dos estudos da acústica em templos. Segundo Cunha (2014), até meados do século XX, a acústica nessas edificações não era um tema dentre as publicações científicas. Algumas pesquisas relacionadas ao tema, acústica em templos (igrejas), podem ser aqui explanadas.

O trabalho de mestrado de Barbo (2009) avaliou o desempenho acústico de um templo católico de grandes dimensões submetendo-o à excitação impulsiva. A autora utilizou o método de entrevistas com os usuários do templo. Através das medições foram obtidos valores de Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Clareza (C80) e Definição (D50). Constatou-se que a edificação apresenta carência em sua qualidade sonora, dificultando tanto a palavra falada, quanto a música.

O trabalho de mestrado de Sant'ana (2008) investigou três edifícios de uso religioso da cidade de Curitiba. Os parâmetros avaliados foram: 1) Tempo de Reverberação (T30), 2) Tempo de Decaimento Inicial (EDT), 3) Clareza (C80) e 4) Definição (D50) conforme recomendações da norma internacional ISO/3382-1:2006. As predições foram realizadas com o auxílio do programa Odeon 7.01. Os resultados obtidos foram submetidos a uma análise de

variância (ANOVA) e demais tratamentos estatísticos para aferição da precisão dos modelos. Observou-se na amostra analisada que a ocupação implicou em uma redução do TR de 1 a 2 segundos em comparação com os tempos medidos para sala vazia. A Clareza e a Definição apresentaram aumentos significativos com as salas totalmente ocupadas. Dentre os dois descritores de clareza, os valores calculados favoreceram a utilização destas salas para as execuções musicais, mas caracterizaram condições insatisfatórias para a palavra falada, resultados compatíveis com os usos para os quais esses edifícios foram construídos no passado.

Outra pesquisa de mestrado, ainda mais recente, realizada por Cunha (2014), investigou o uso de sistemas sonoros e a influencia na resposta acústica das igrejas, com ênfase na inteligibilidade da palavra. A autora selecionou três igrejas católicas de volumes diferentes, situadas na cidade de Campinas, SP. As igrejas foram avaliadas observando os parâmetros acústicos Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D50), em bandas de oitava entre 125Hz e 4kHz, além do Índice de Transmissão da Fala (STI) e da Perda de Articulação de Consoantes (ALcons). As medições foram feitas pelo método de resposta impulsiva, em duas situações: com o sinal ligado no sistema de reforço sonoro (SRS) e com o sinal ligado na fonte. Em todos os casos sem o uso do SRS, os edifícios apresentaram condições acústicas desfavoráveis para a compreensão da fala. O SRS apresentou diferenças favoráveis para a inteligibilidade na maior parte dos resultados. Porém, quando a resposta acústica do edifício não apresentou qualidade positiva, o SRS não foi suficiente para elevar a avaliação qualitativa da inteligibilidade para os resultados ideais.

Entende-se com estes capítulos a importância de saber o conceito de som e assim alcançar a qualidade acústica dos ambientes fechados. O comportamento do som dentro desses recintos varia de acordo com a composição do ambiente (forma arquitetônica, tipo das superfícies, mobiliários). O condicionamento acústico está diretamente atrelado à finalidade da sala. Neste trabalho, será estudado um templo, classificado como ambiente de múltiplo uso, ou seja, se necessita de inteligibilidade da comunicação e execução de uma música harmoniosa e clara. Para se alcançar a qualidade acústica serão analisados valores dos parâmetros acústicos, visando detectar as recomendações necessárias.

Observou-se também a importância do reforço sonoro visando proporcionar melhores condições para ouvir em ambientes acusticamente difíceis. O reforço sonoro pode ser feito através dos elementos arquitetônicos do ambiente, principalmente pelo forro, assim como através de equipamentos eletroacústicos.

Dentre as formas de estudar as características acústicas de um ambiente, esse trabalho tem o enfoque nas simulações computacionais através dos softwares Sketchup e EASE, norteado pelas normas brasileiras NBR 10152 (ABNT, 1992), NBR 12179 (ABNT, 1992) e as normas internacionais ISO 3382-1 (2009) e IEC 60268-16 (2011).

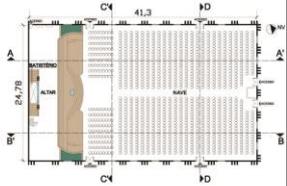
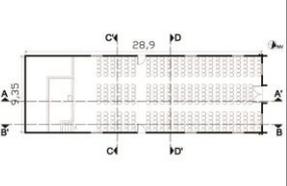
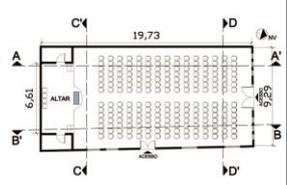
## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para aplicação dos conhecimentos relacionados ao tema, obtidos até agora, fez-se necessário a escolha de um templo evangélico existente, onde foi analisada a interferência do forro para melhoria da qualidade acústica. A seguir, está explanado o processo da metodologia adotado nesse trabalho.

### 4.1 Seleção do objeto de estudo

A seleção do objeto de estudo dessa dissertação partiu de um trabalho final de graduação (TFG) da mesma autora. No TFG, foram avaliados três templos (Figura 46), com características semelhantes quanto à forma (galpão), que possuísem tamanhos diferentes com relação as suas áreas construídas, relacionando-as a porte pequeno, médio e grande respectivamente e que pudesse apresentar problemas relacionados à qualidade acústica. Os três templos estão localizados no município de São Miguel dos Campos – AL.

**Figura 46** – Informações sobre os três templos que foram avaliados no TFG.

TEMPLO	FACHADA	INTERIOR	PLANTA BAIXA
<p><b>Ministério Apostólico Betel (Sede)</b></p> <p>Área: 1.023,41m<sup>2</sup>            Volume: 7.839,33m<sup>3</sup>            Capacidade: 1200 assentos</p>			
<p><b>Ministério Apostólico Betel (Congregação)</b></p> <p>Área: 270,22m<sup>2</sup>            Volume: 1.421,64m<sup>3</sup>            Capacidade: 340 assentos</p>			
<p><b>Igreja do Evangelho Quadrangular</b></p> <p>Área: 178,92m<sup>2</sup>            Volume: 607,52m<sup>3</sup>            Capacidade: 210 assentos</p>			

Fonte: Adaptado de Oliveira, 2013.

Para o presente trabalho, foram realizadas visitas com o intuito de observar a situação atual dos três templos. Detectou-se que o templo, denominado “Ministério Apostólico Betel (sede)”, o que apresenta maior dimensão, atualmente está sem o forro, não correspondendo à situação ideal de funcionamento. Existe a intenção de instalar um forro que atenda

principalmente os requisitos acústicos, além de atender também de requisitos estéticos. Este templo foi selecionado como objeto de estudo desta pesquisa, pois apresenta condições satisfatórias para a exploração e aplicação dos conhecimentos sobre acústica arquitetônica em recintos fechados. Na Figura 47 mostra como o templo se encontra atualmente, agora sem forro, seu volume corresponde a 9.864,85m<sup>3</sup>.

**Figura 47** - Foto externa e interna do templo do Ministério Apostólico Betel (sede).



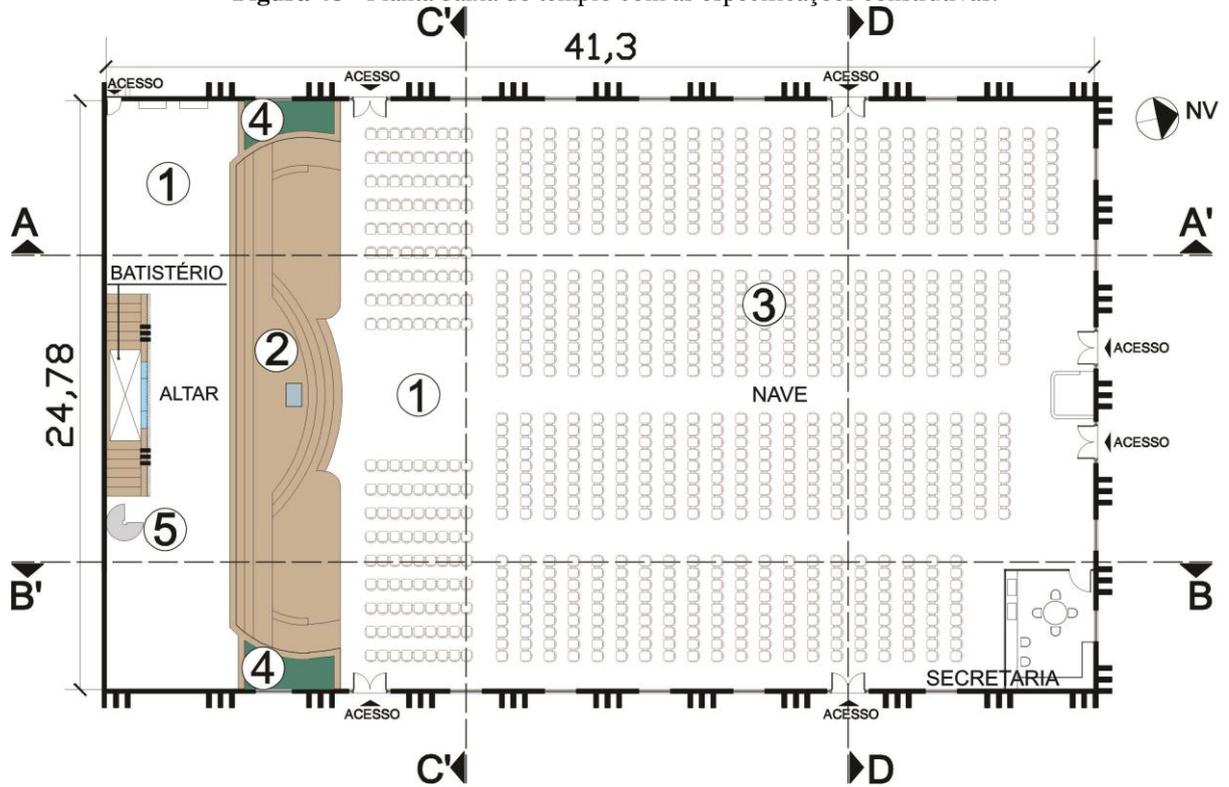
**Fonte:** Autora.

#### **4.1.1 Levantamento de dados - Aspectos físicos**

O templo se compõe da nave e altar. Sua área total equivale a 1.023,41m<sup>2</sup>, seu o volume é de 9.864,85m<sup>3</sup> e tem capacidade para 1.500 assentos, podendo comportar até 2.300 pessoas, caso todas as pessoas estejam em pé. No altar estão localizados o batistério e a escada, que permite acesso ao subsolo. Nas laterais próximas ao altar é encontrado um pequeno jardim. Dentro da edificação foi construído um ambiente com divisória em Eucatex, vidro e o forro em PVC, onde funciona a secretaria. Os mobiliários existentes no ambiente são compostos por cadeiras de plástico, púlpito de vidro e uma tela de projeção.

Nas figuras de 48 a 51 são apresentados a planta-baixa do templo, os cortes, e as fotos relacionadas a cada corte. Nessas figuras foram identificadas as especificações construtivas da edificação.

Figura 48 - Planta baixa do templo com as especificações construtivas.



Legenda

- ① Piso em cerâmica      ③ Cadeira de Plástico      ⑤ Escada
- ② Piso em granito      ④ Jardim

Fonte: Adaptado de Oliveira, 2013.

Figura 49 - Corte AA' com as especificações construtivas.

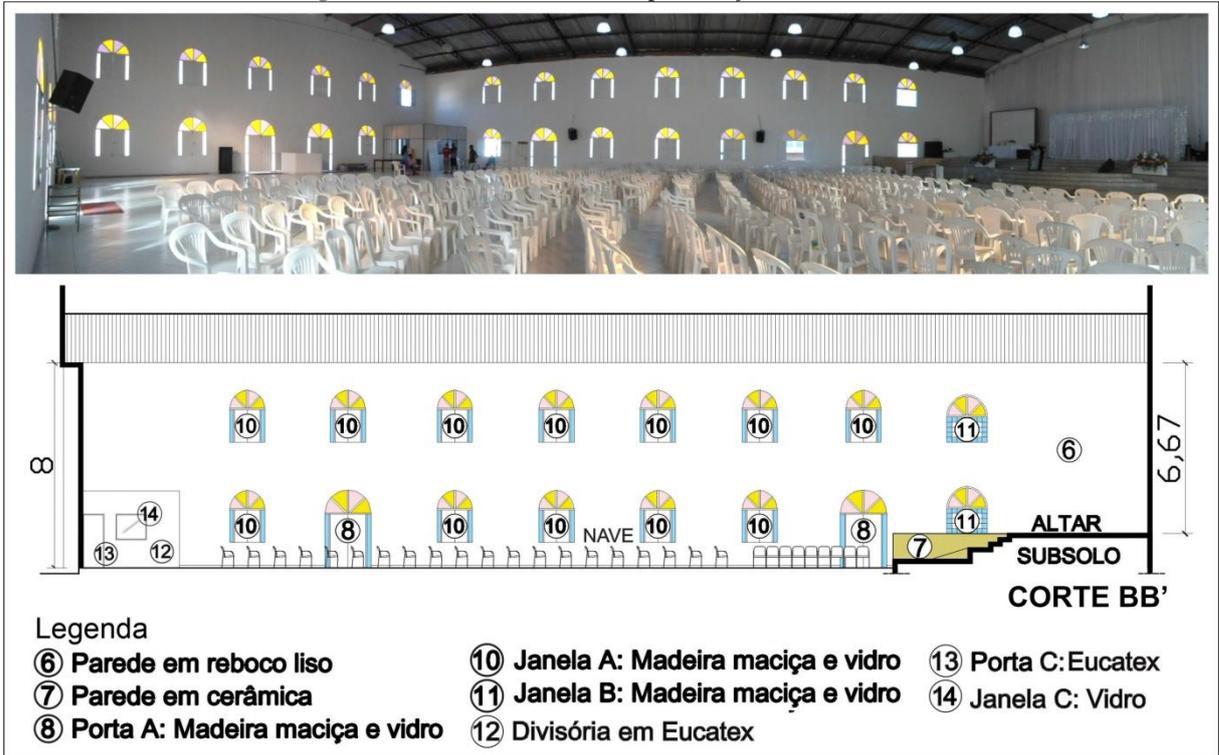


Legenda

- ⑥ Parede em reboco liso      ⑧ Porta A: Madeira maciça e vidro      ⑩ Janela A: Madeira maciça e vidro
- ⑦ Parede em cerâmica      ⑨ Porta B: Madeira maciça      ⑪ Janela B: Madeira maciça e vidro

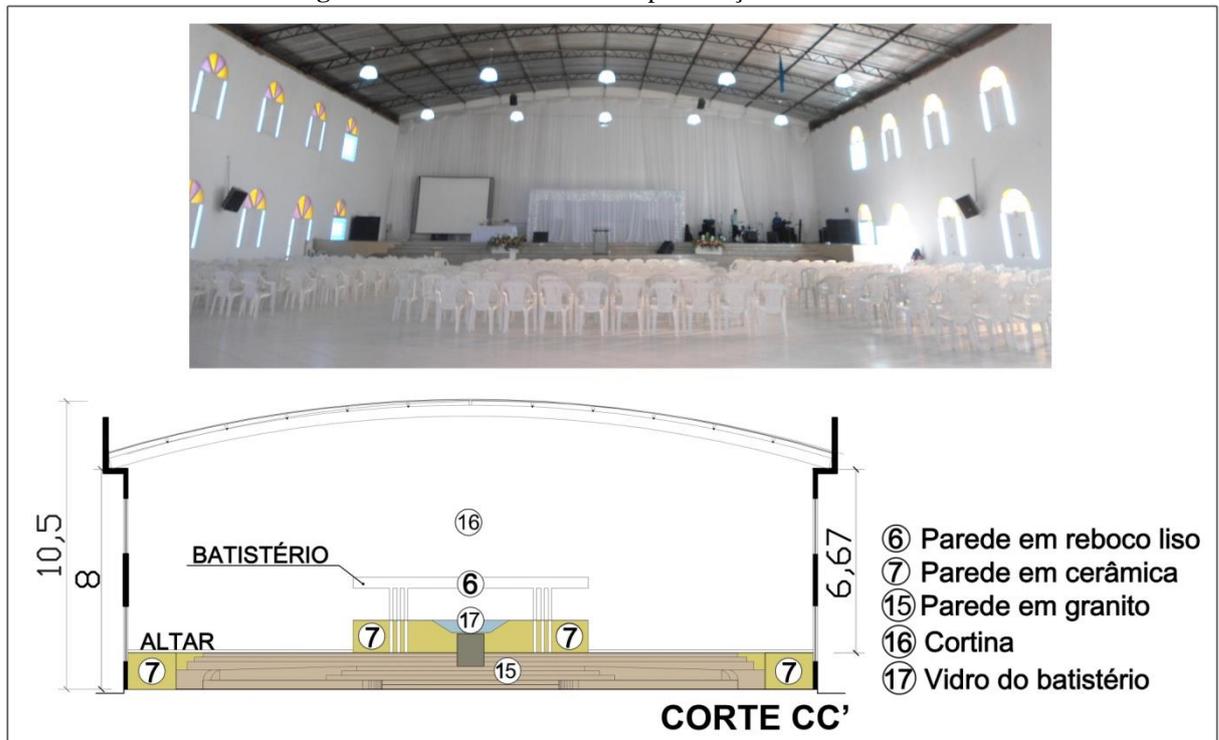
Fonte: Adaptado de Oliveira, 2013.

**Figura 50 - Corte BB' com as especificações construtivas.**



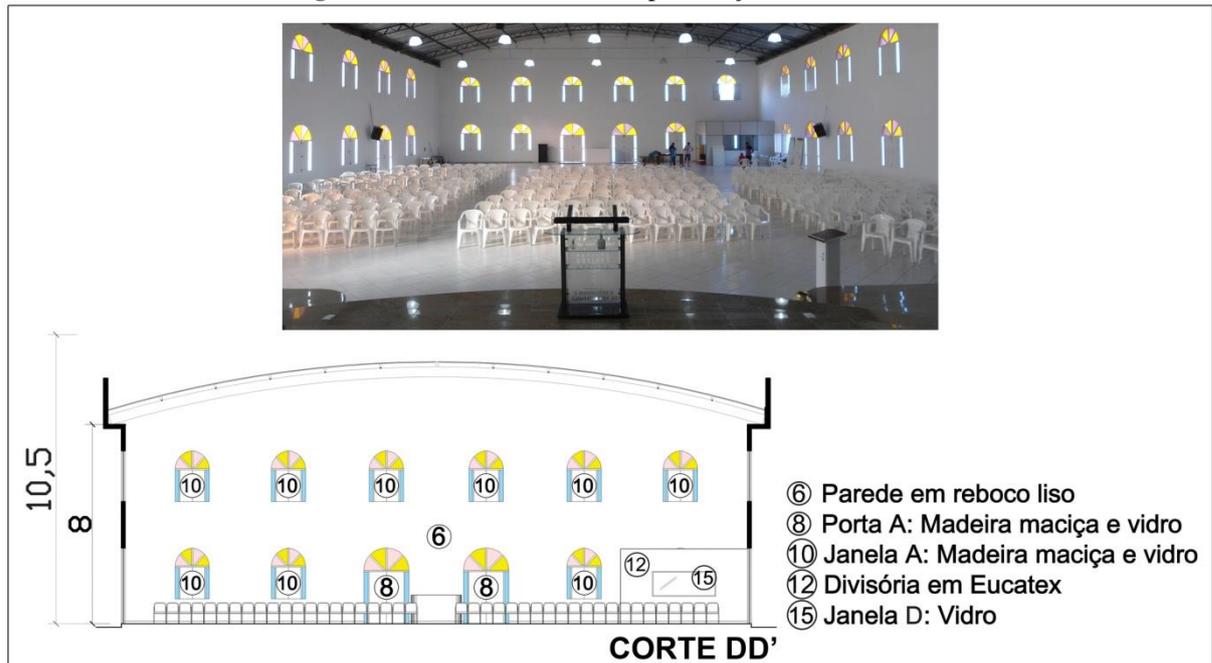
Fonte: Adaptado de Oliveira, 2013.

**Figura 51 - Corte CC' com as especificações construtivas.**



Fonte: Oliveira, 2013.

**Figura 52** - Corte DD' com as especificações construtivas.



Fonte: Oliveira, 2013.

Na Figura 53 estão dispostos os tipos de esquadrias do templo, são em madeira, vidro e Eucatex. Totalizando 4 portas no modelo A, 1 porta no modelo B, 1 porta no modelo C, 2 janelas no modelo A, 36 janelas no modelo B, 1 janela no modelo C e 1 janela no modelo D.

**Figura 53** - Modelo das esquadrias utilizadas no templo.

PORTAS			JANELAS			
A	B	C	A	B	C	B
						
4	1	1	2	36	1	1

Fonte: Adaptado de Oliveira, 2013.

O teto da edificação é composto por telhas metálicas apoiadas em treliças e terças laminadas e seu formato é côncavo, como pode ser observado na Figura 54. Sendo assim, em decorrência do formato do teto, o pé-direito da edificação varia de 8m a 10,50m.

**Figura 54** - Teto em telhas metálicas.

Fonte: Autora.

A Tabela 4 apresenta as características gerais da igreja.

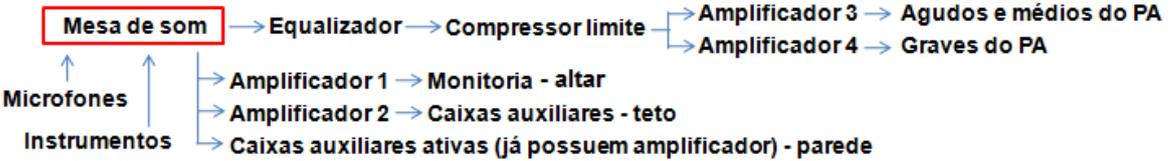
**Tabela 4** – Características gerais do templo.

<b>MINISTÉRIO APOSTÓLICO BETEL (SEDE)</b>	
<b>Localização</b>	São Miguel dos Campos - AL
<b>Ano da construção</b>	1998
<b>Área</b>	1.023,41m <sup>2</sup>
<b>Volume</b>	9.864,85m <sup>3</sup>
<b>Pé-direito na área dos assentos</b>	Teto côncavo. Varia entre 8 e 10,5m
<b>Pé-direito do altar</b>	Teto côncavo. Varia entre 6,67 e 10,5m
<b>Capacidade</b>	1.500 assentos
<b>Revestimentos dos assentos</b>	Cadeiras de plástico
<b>Piso</b>	Cerâmica e granito
<b>Forro</b>	Ausente
<b>Paredes</b>	Reboco liso e cerâmico
<b>Esquadrias</b>	Madeira, vidro e Eucatex.
<b>Serviço religioso</b>	Fala/músicas diversas
<b>Equipamentos eletroacústicos</b>	Com e sem

#### 4.1.2 Levantamento de dados – Sistema de Reforço Sonoro (Áudio)

Os equipamentos, o posicionamento e a determinação da potência eletroacústica do sistema de áudio influenciam diretamente na qualidade acústica da edificação, sendo necessário entender o comportamento do som emitido através desse sistema. Na Tabela 5, está discriminado cada equipamento que compõe este sistema de reforço sonoro do templo, a função que eles exercem e o esquema de interligação.

Tabela 5 - Equipamentos do reforço sonoro: sistema de áudio.

<p style="text-align: center;"><b>Mesa de som</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Equalizador</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Compressor Limite</b></p> 
<p><b>Função:</b> misturar e controlar os sinais de áudio buscando obter o melhor resultado final.</p>	<p><b>Função:</b> melhorar a resposta final do som, alterando ou atenuando frequências.</p>	<p><b>Função:</b> atuar na variação do som original e fazer com que o som nunca ultrapasse determinado valor de amplitude.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Amplificador 1</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Amplificador 2</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Amplificador 3</b></p> 
<p><b>Função:</b> transmitir e aumentar o sinal elétrico para as caixas acústicas em forma de som audível.</p>		
<p style="text-align: center;"><b>Caixa Acústica – PA</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Caixa Acústica - Monitoria</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Caixa Acústica auxiliar ativa - Parede</b></p> 
<p><b>Função:</b> responsáveis pela transformação das vibrações do ar em som audível. A sigla PA significa “<i>Públic Address</i>” e é o som que é dirigido ao público.</p>	<p><b>Função:</b> responsáveis pela transformação das vibrações do ar em som audível. Os sides são uma espécie de mini P.A. que funcionam como monitores ou retornos e são encarados como tal.</p>	<p><b>Função:</b> responsáveis pela transformação das vibrações do ar em som audível. Essas caixas servem para complementar o som.</p>
<p style="text-align: center;"><b>Microfone (sem fio)</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>Microfone (com fio)</b></p> 	
<p><b>Função:</b> converter o som em sinais elétricos.</p>		
<p style="text-align: center;">  </p>		
<p style="text-align: center;">Esquema de interligação dos equipamentos do reforço sonoro: sistema de áudio.</p>		

Fonte: OLIVEIRA, 2015.

O estilo de música, que geralmente é executada no templo é o pop rock. Os instrumentos usados são: teclado, violão, guitarra, contrabaixo e bateria acústica. A banda é composta por alguns cantores e algumas vozes de apoio (*back vocal*). Na Figura 55, pode-se visualizar a planta baixa da edificação com a distribuição dos componentes que compõem o sistema de áudio.

**Figura 55** - Distribuição dos equipamentos de som em planta baixa.



Fonte: OLIVEIRA, 2015.

## 4.2 Procedimentos para simulação

Para a realização da avaliação da interferência do forro como elemento para melhoria da qualidade acústica do templo evangélico utilizou-se as simulações computacionais, através do software EASE. A norma adotada foi a ISO 3382-1, que trata dos procedimentos de medição, no caso deste trabalho, apresenta referência para simulação dos parâmetros acústicos. Foram realizadas também simulações onde as fontes emissoras tratam-se do sistema de reforço sonoro (caixas de som) existente no templo. Como as caixas do templo escolhido são caseiras, para as simulações foram utilizadas caixas com especificações muito semelhantes às existentes, buscando resultados muito próximo ao que acontece atualmente.

A seguir serão detalhados os procedimentos justificados para simulação desse trabalho de acordo com a escolha e definição dos pontos, retratando os três tipos de forros escolhidos e as duas formas de simulações adotadas (de acordo com a ISO 3382-1 e segundo o sistema de reforço sonoro do templo).

### 4.2.1 Definição dos pontos

Seguindo as recomendações da norma 3382-1 (2009) foram definidos os números e as posições das fontes e microfones. A norma recomenda a utilização de fontes omnidirecionais e suas posições devem estar onde uma fonte sonora natural normalmente estaria localizada.

Devendo utilizar, no mínimo, 3 posições de fonte. A altura do centro das fontes em relação ao piso deve ser de 1,50m e a distância em relação à superfície refletora mais próxima (incluindo pavimento) deve ser de pelo menos um  $\frac{1}{4}$  do comprimento de onda, normalmente 1m. Já as posições dos microfones devem estar onde normalmente os ouvintes seriam localizados.

Os parâmetros que serão investigados são: o Tempo de Reverberação (TR), o Tempo de Decaimento Inicial (EDT), o Índice de Clareza para a fala (C50), o Índice de Clareza para música (C80), a Definição (D50) e o Índice de Transmissão da Fala (STI).

Para a obtenção do TR é importante que a localização dos pontos represente uma amostra inteira do espaço. Assim, para os outros parâmetros (EDT, C50, C80, D50 e STI), foi necessário distribuir os microfones nos possíveis locais de variação sistemática com posições no templo. Buscando evitar a forte influência do som direto, nenhuma posição do microfone deve estar próxima à fonte sonora. Para uma melhor captar da distribuição sonora, a quantidade mínima de microfones varia de 6 a 10, a depender da quantidade de assentos. Na Tabela 6, extraída da norma 3382-1 (2009), está apresentada a relação entre o número de assentos e a quantidade mínima de microfones. O templo estudado possui uma capacidade de até 1500 assentos, serão utilizados para as simulações, 10 pontos de microfone.

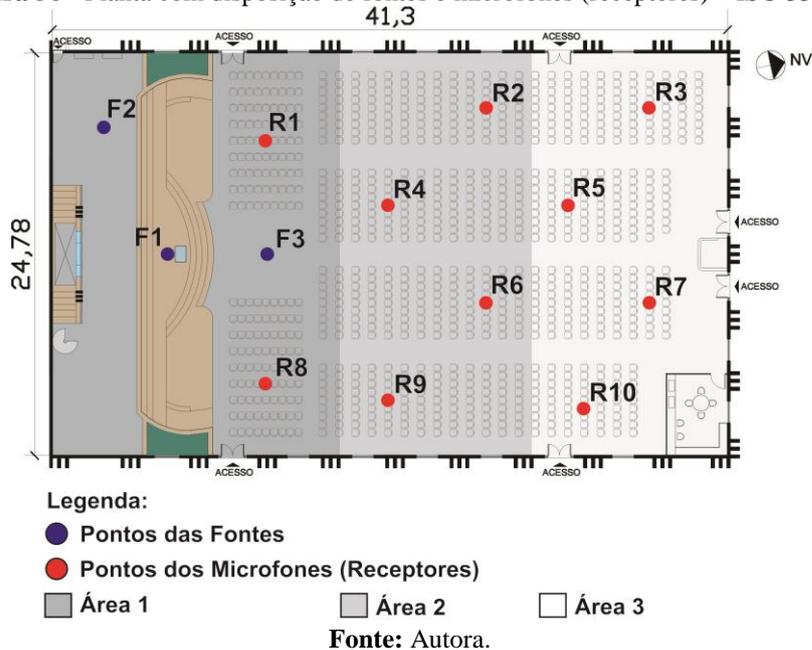
**Tabela 6** - Número mínimo de posições receptor em função do número de assentos, de acordo com a ISO 3382-1

Número de assentos	Número mínimo de posições de microfone
500	6
1 000	8
2 000	10

**Fonte:** Adaptado da ISO 3382-1 (2009).

Em ambientes para voz e música, que é o caso do objeto de estudo, a altura dos microfones deve ser de 1,20m em relação ao piso. Essa altura corresponde à altura dos ouvidos de ouvintes médios sentados em cadeiras de altura típicas. Na Figura 56, mostra a distribuição dos pontos de fonte e microfones (receptores) selecionados de acordo com as recomendações citadas na ISO 3382-1. Essa distribuição buscou atender todas as recomendações da norma e para análise serão seguidas as seguintes linhas de raciocínio que definiram a escolha dos pontos. Para as análises dos resultados, o templo foi dividido em três áreas (A1, A2 e A3), visando a percepção da distribuição sonora nos diversos pontos de microfone.

**Figura 56** - Planta com disposição de fontes e microfones (receptores) – ISO 3382-1.



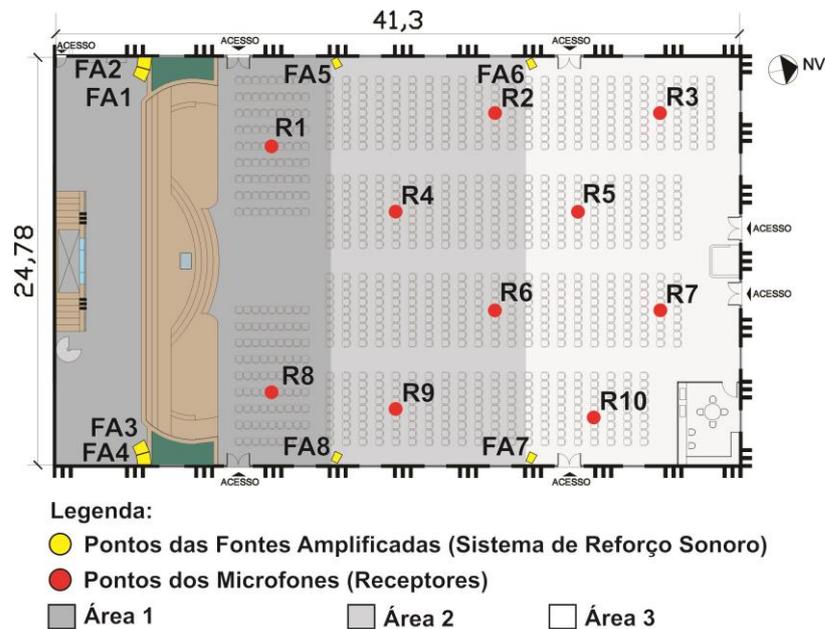
A Tabela 7 descreve as características de cada área, que são compostas por um número definido de pontos de microfones e cujas fontes foram distribuídas de acordo com a ISO 3382-1.

**Tabela 7** – Características das áreas de acordo com a ISO 3382-1.

Áreas	Descrição	Receptores	Distância da fonte
1	Receptores próximos à fonte. Influência do som mais direto.	R1 e R8	$R1 < R8$
2	Localização: no meio do templo. Receptores Intermediários	R2, R4, R6 e R9	$R4 < R9 < R6 < R2$
3	Pontos no fundo do ambiente.	R3, R5, R7 e R10	$R5 < R10 < R7 < R3$

Para a outra simulação utilizou-se como fonte, o sistema de reforço sonoro do templo e os pontos de microfones continuaram os mesmos. Na Figura 57, mostra a distribuição dos pontos de fonte e microfones (receptores) de acordo com o sistema de reforço sonoro. As fontes amplificadas FA1, FA2, FA3 e FA4 são denominadas PA e estão apoiadas no altar que possui 1,34m de altura em relação ao piso da nave. Já as fontes FA5, FA6, FA7 e FA8 são denominadas caixas auxiliares e estão numa altura de 2,75m em relação ao piso da nave. Para as análises dos resultados, o templo foi dividido em três áreas (A1, A2 e A3), visando a percepção da distribuição sonora nos diversos pontos de microfone.

**Figura 57** - Planta com disposição de fontes e microfones (receptores) – Sistema de Reforço Sonoro.



Fonte: Autora.

A Tabela 8 descreve as características de cada área, que são compostas por um número definido de pontos de microfones e cujas fontes foram distribuídas de acordo com o sistema de reforço sonoro do templo.

**Tabela 8** – Características das áreas de acordo com o sistema de reforço sonoro.

Áreas	Descrição	Receptores	Distância da fonte
1	Receptores próximos ao PA. Influência do som dos 4 PA	R1 e R8	$R1 = R8$
2	Localização: no meio do templo. Receptores Intermediários Influência do som dos 4 PA e 2 caixas auxiliares	R2, R4, R6 e R9	$R9 < R4 < R2 < R6$
3	Pontos no fundo do ambiente. Influência do som de todo sistema.	R3, R5, R7 e R10	$R10 < R3 < R5 < R7$

Fonte: Autora.

#### 4.2.2 Forro como elemento de interferência na qualidade acústica

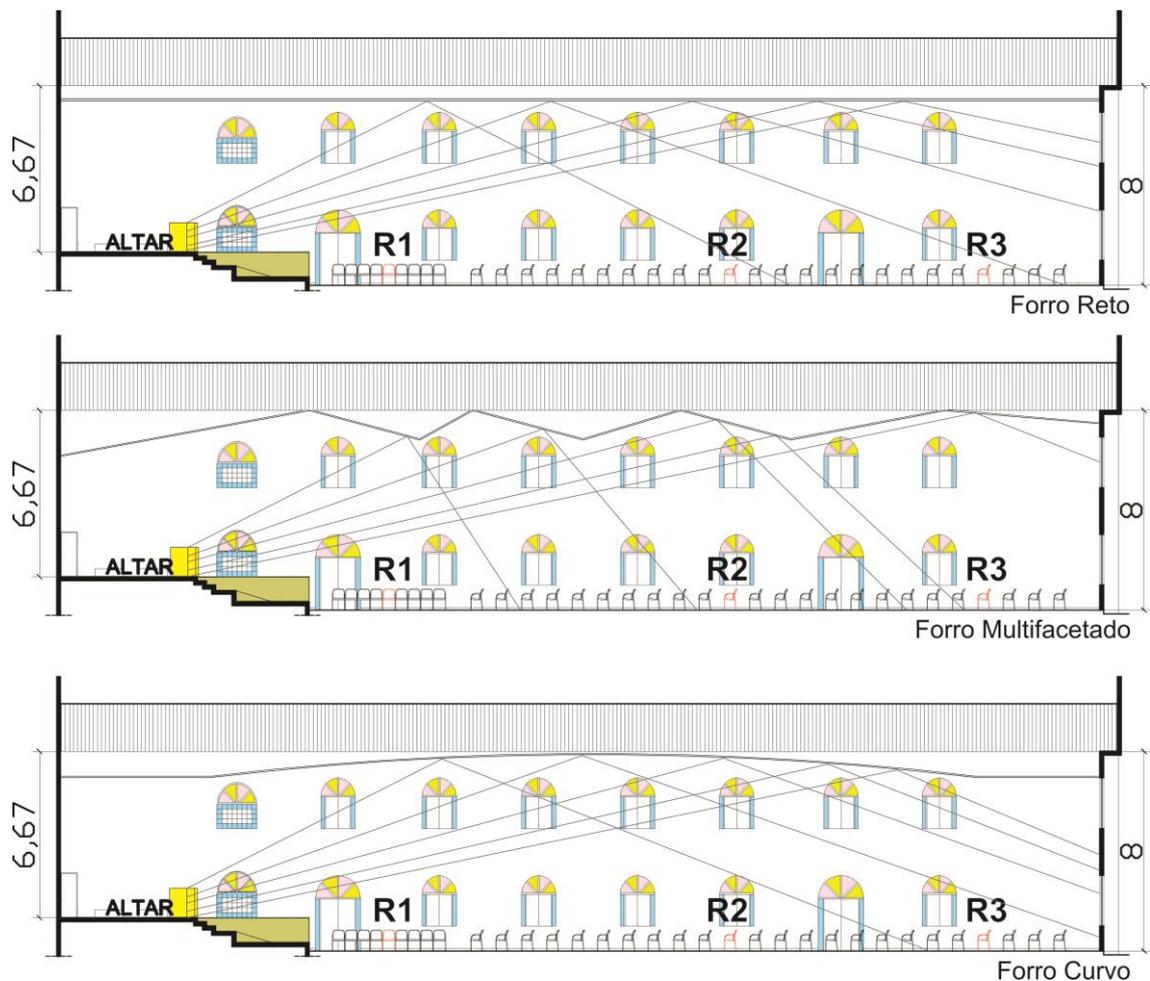
Para atender os objetivos dessa pesquisa, a investigação foi elaborada de forma a verificar as contribuições de tipologias de forro de acordo com a forma, material e localização do material.

### a) Forma dos forros

Esse trabalho irá abordar três formas de forros: o forro paralelo ao piso – reto; o forro multifacetado; e o forro curvo. O forro curvo côncavo foi selecionado para análise por ser geralmente utilizados nas edificações desta forma, ao invés de convexo. Nas três situações o forro é suspenso e fixo. A escolha dos forros decorreu por conta de tipologias encontradas em espaços acústicos.

Na Figura 58 estão apresentados os três tipos de forro dentro da edificação estudada. Nesta mesma imagem apresentou-se um estudo dos raios sonoros que são emitidos nas fontes amplificadas 1 e 2 (FA 1 e FA2) e são refletidos, de forma especular, após incidirem em um forro totalmente reflexivo. Observa-se que os forros reto e curvo apresentam os raios sonoros com comportamento semelhantes, essas primeiras reflexões direcionam o som para as cadeiras que ficam na parte posterior do templo. Já o forro multifacetado possibilita a reflexão do som também para as cadeiras localizadas próximo ao altar.

**Figura 58** – Formas de forro escolhidos para estudo.



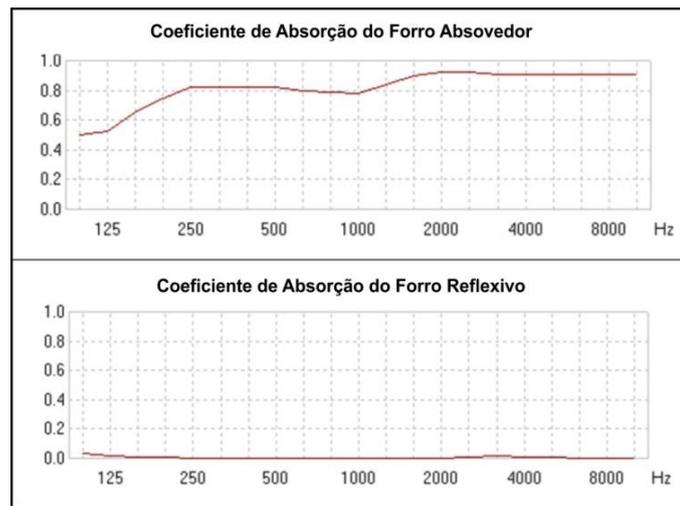
Fonte: Autora.

O volume do templo sem o forro é de 9.864,85m<sup>3</sup>. Após a aplicação dos forros o volume resultou em um volume de 7.229,77m<sup>3</sup>. A diferença entre os dois volumes é de 2.635,08m<sup>3</sup>. Houve uma preocupação em manter o mesmo volume da edificação nas três situações com forro, para que fossem viáveis as comparações dos resultados.

#### b) Materiais dos forros

Para cada tipo de forro definiu-se dois tipos de material, um reflexivo e o outro absorvedor. Esses materiais foram escolhidos por apresentarem ótimo desempenho acústico (Figura 59). Para investigação da inteligibilidade do espaço foram distribuídos cinco tipos de especificações para cada forro. Na tabela 9 estão listadas as especificações juntamente com a nomenclatura utilizadas neste trabalho.

**Figura 59** – Coeficiente de absorção dos dois materiais de forros utilizados.



Fonte: Software EASE.

**Tabela 9** – Especificações dos forros.

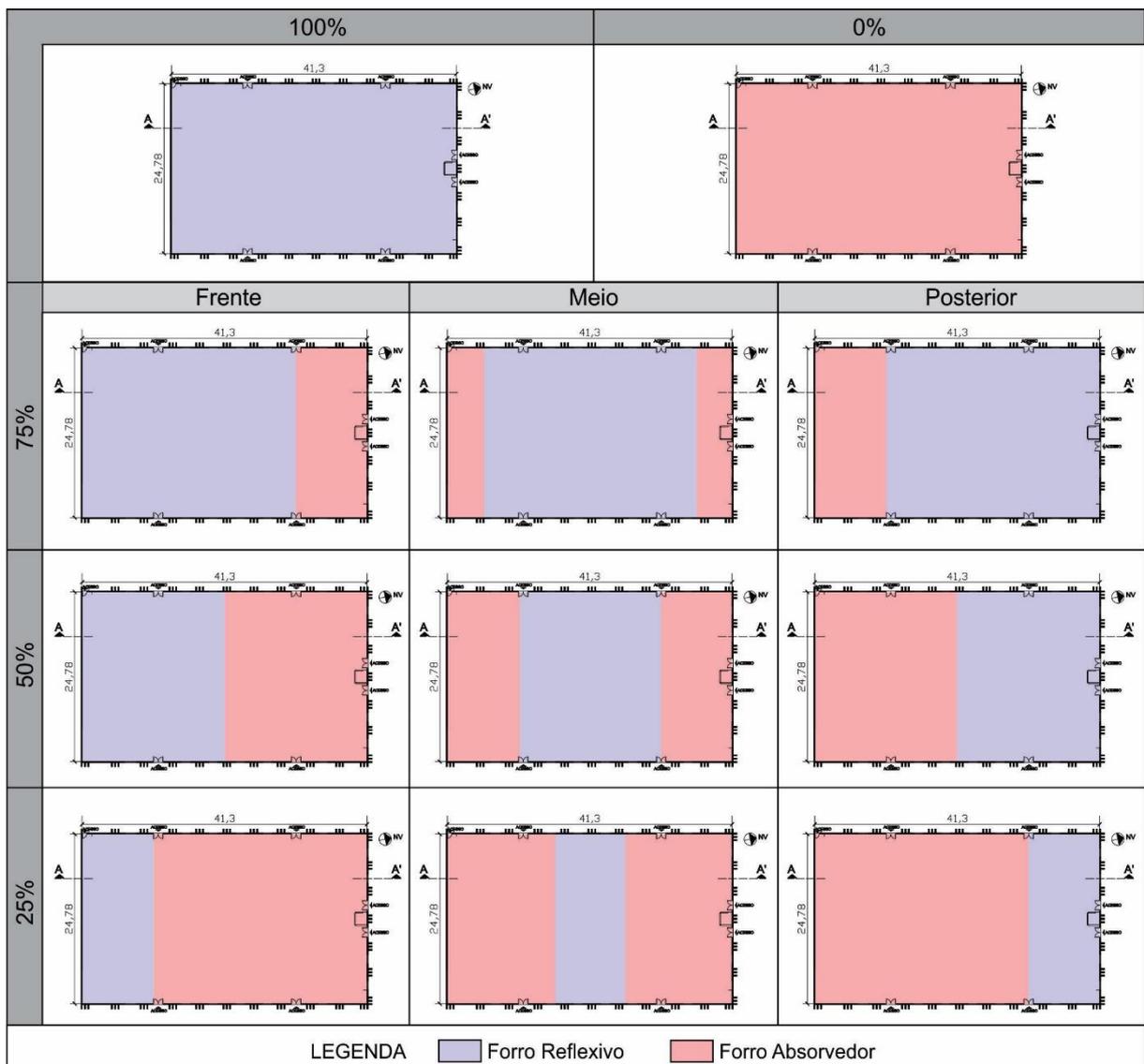
Especificações	Nomenclatura
100% reflexivo	Forro 100%
75% reflexivo + 25% absorvedor	Forro 75%
50% reflexivo + 50% absorvedor	Forro 50%
25% reflexivo + 75% absorvedor	Forro 25%
100% absorvedor	Forro 0%

Fonte: Autora.

### c) Localização dos materiais nos forros

A Figura 60 mostra como esses materiais foram distribuídos nos forros. Essas imagens se referem particularmente ao forro reto. Para os outros tipos de forro, a localização dos materiais segue a mesma lógica, o que varia são as distâncias na representação gráfica. Tomou-se o cuidado de dividir todos os forros nas porcentagens de áreas corretas. Na Tabela 10 apresentam-se as áreas totais correspondentes a cada tipo de forro, e também nas porcentagens selecionadas para estudo.

**Figura 60** – Materiais e localização dos forros.



Fonte: Autora.

Tabela 10 – Áreas dos forros.

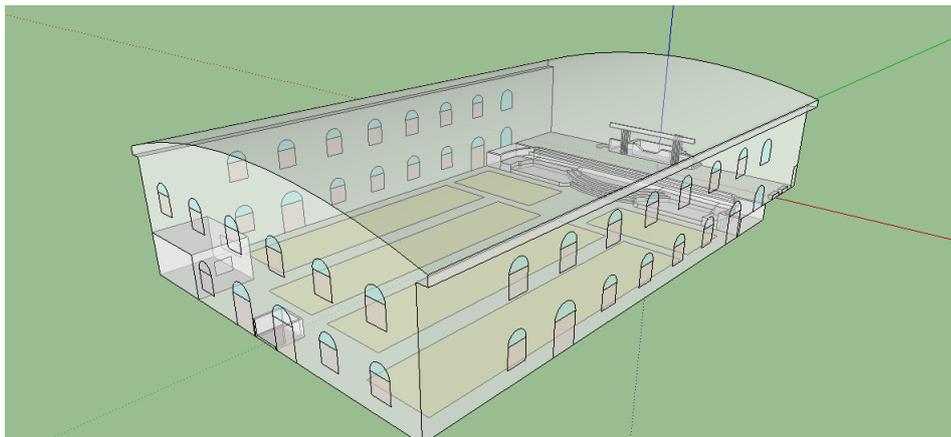
Forma \ Áreas	Reto	Multifacetado	Curvo
100%	1023,41	1054,63	1025,15
75%	767,55	790,97	768,86
50%	511,71	527,31	512,58
25%	255,85	263,65	256,29

Fonte: Autora.

### 4.3 Simulações Computacionais

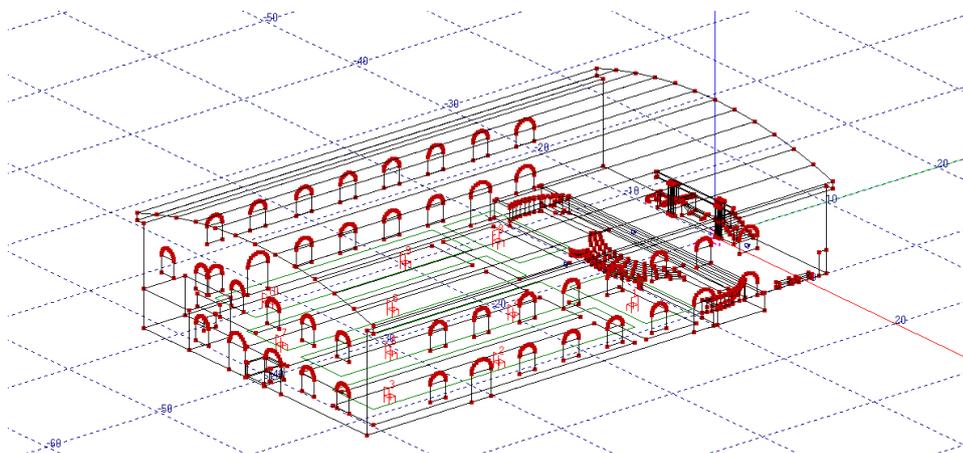
O espaço a ser analisado foi modelado primeiramente no software sketchup e depois foi importado no software EASE 4.3. As Figuras 60 e 61 mostram o ambiente modelado no sketchup e no EASE 4.3, respectivamente.

Figura 61 – Modelação do templo no Sketchup.



Fonte: Software Sketchup.

Figura 62 – Modelação do templo no EASE 4.3.



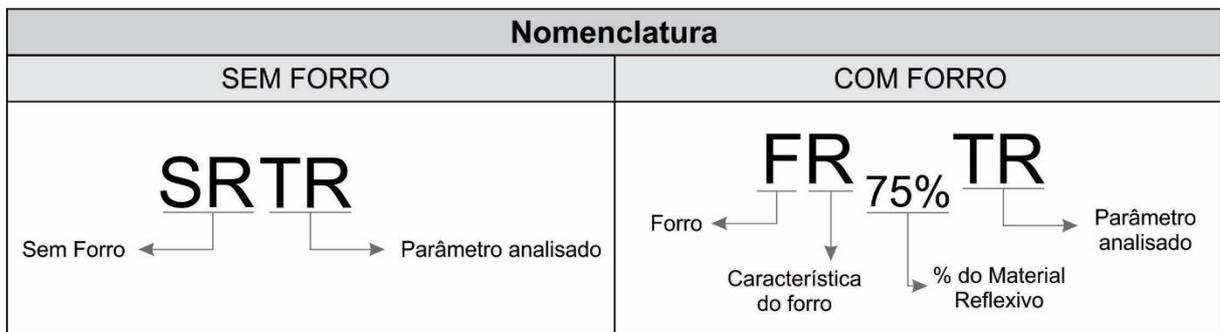
Fonte: Software EASE 4.3.

O modelo no EASE foi configurado, com relação a absorção acústica, de acordo com os materiais que existem no ambiente. A norma ISO 3382-1 recomenda que para esse tipo de avaliação a edificação precisa estar totalmente fechada. Foi nessa condição que as simulações foram realizadas, estas permitiram a obtenção de resultados relacionados aos seguintes parâmetros acústicos:

- a. TR (Tempo de Reverberação);
- b. EDT (Tempo de Decaimento Inicial);
- c.  $C_{50}$  (Índice de Clareza da fala);
- d.  $C_{80}$  (Índice de clareza para música);
- e.  $D_{50}$  (Definição);
- f. Índice de Transmissão da Fala (STI).

Foram simulados 68 modelos. Consta no Apêndice A, a matriz com a nomenclatura adotada para modelos de acordo com suas características (forma, material e parâmetro), seguindo as recomendações da ISO 3382-1. E no Apêndice B, a matriz com a nomenclatura dos modelos simulados segundo o sistema de reforço sonoro. A figura 63 apresenta como as nomenclaturas foram organizadas.

**Figura 63** – Organização das nomenclaturas.



**Fonte:** Autora.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados todos os resultados encontrados seguidos das respectivas análises e discussões. Primeiramente serão apresentadas as sistematizações dos resultados das simulações. Depois, apresentaram-se as análises das quatro situações do ambiente (sem forro - SF, Forro Reto - FR, Forro Multifacetado - FM e Forro Curvo - FC) de forma individual e comparativa (nesse caso, apenas para o templo com forro) de acordo com a ISO 3382-1. E logo após, as mesmas situações foram analisadas segundo a eletroacústica. Nesse trabalho, a eletroacústica está sendo considerada como um sistema de reforço sonoro (SRS).

### 5.1 Sistematizações dos resultados das simulações

Todos os resultados foram organizados de forma a apresenta-los através de gráficos, para assim viabilizar as análises. Os valores encontrados em cada parâmetro acústico foram comparados com os recomendados pela literatura para esse tipo de edificação.

A Tabela 11 apresenta os valores recomendados para o ambiente. Vale ressaltar que para o parâmetro TR, os tempos recomendados variam de acordo com o volume, por isso, na tabela consta os valores de TR para o templo sem forro e com forro.

**Tabela 11** – Parâmetros acústicos com seus respectivos valores recomendados para o templo.

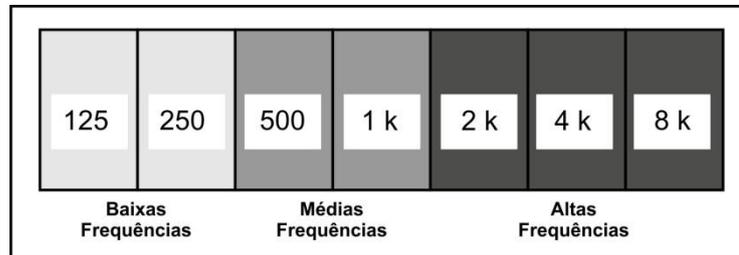
Parâmetro Acústico	Valores recomendados para o templo																		
	Situação	Volume	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz										
<b>TR</b>	Sem Forro	9.864,85m <sup>3</sup>	2,34s	1,95s	1,67s	1,67s	1,67s	1,67s	1,67s										
	Com Forro	7.229,77m <sup>3</sup>	2,24s	1,87s	1,60s	1,60s	1,60s	1,60s	1,60s										
<b>EDT</b>	<b>Fala</b> 0,05s				<b>Música</b> 2,2s														
<b>C50</b>	<div style="text-align: right; background-color: #d9ead3; padding: 2px;">Melhor inteligibilidade</div> <div style="text-align: center; background-color: #d9ead3; padding: 2px;">... -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 ...</div>																		
<b>C80</b>	<div style="text-align: right; background-color: #d9ead3; padding: 2px;">Melhor inteligibilidade</div> <div style="text-align: center; background-color: #d9ead3; padding: 2px;">... -6 -5 -4 -3 -2 -1 0 1 2 3 4 5 6 ...</div>																		
<b>D50</b>	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <span>Péssima definição</span> <div style="background-color: #d9ead3; padding: 2px; border: 1px solid black; display: flex; align-items: center; gap: 5px;"> <span>1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</span> <span style="font-size: 1em;">▶</span> </div> <span>Excelente definição</span> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 5px;">Valores acima de 50% são aceitáveis.</p>																		
<b>STI</b>	<table style="width: 100%; text-align: center; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="background-color: #f4cccc; padding: 2px;"><b>Ruim</b></td> <td style="background-color: #f4cccc; padding: 2px;"><b>Pobre</b></td> <td style="background-color: #fff2cc; padding: 2px;"><b>Razoável</b></td> <td style="background-color: #d9ead3; padding: 2px;"><b>Bom</b></td> <td style="background-color: #d9ead3; padding: 2px;"><b>Excelente</b></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">0,00 - 0,30</td> <td style="padding: 2px;">0,30 - 0,45</td> <td style="padding: 2px;">0,45 - 0,60</td> <td style="padding: 2px;">0,60 - 0,75</td> <td style="padding: 2px;">0,75 - 1,00</td> </tr> </table>									<b>Ruim</b>	<b>Pobre</b>	<b>Razoável</b>	<b>Bom</b>	<b>Excelente</b>	0,00 - 0,30	0,30 - 0,45	0,45 - 0,60	0,60 - 0,75	0,75 - 1,00
<b>Ruim</b>	<b>Pobre</b>	<b>Razoável</b>	<b>Bom</b>	<b>Excelente</b>															
0,00 - 0,30	0,30 - 0,45	0,45 - 0,60	0,60 - 0,75	0,75 - 1,00															

Fonte: Autora.

Nas análises adotou-se a classificação de frequências feita por Mehta; Johnson; Rocafort (1999). Esta classificação está apresentada na Figura 64. Sendo assim, o intervalo de 125Hz a

250Hz são referidas como baixas frequências, de 500Hz a 1kHz como médias frequências e 2 kHz a 8 kHz como altas frequências.

**Figura 64** – Classificação das bandas de oitava adotadas pra análises.



**Fonte:** Adaptado de Mehta; Johnson; Rocafort, 1999.

Nos gráficos correspondentes ao TR, como recomendados por Bistafa (2006), foram adicionados os valores de TR ótimo e foram também adicionados os valores que representam uma margem de 10% acima e abaixo desses mesmos valores ótimos.

A hachura verde utilizada nos gráficos de TR, C50, C80 e D50 indica quais são os valores satisfatórios para o ambiente investigado. Ou seja, para que o templo disponha de um bom desempenho no parâmetro analisado, os valores simulados precisam estar dentro da hachura verde. Para o parâmetro EDT, os valores recomendados para a fala e música estão indicados no próprio gráfico. No caso do parâmetro STI, foram utilizadas hachuras com cores correspondentes à escala de avaliação qualitativa do parâmetro, de acordo com a norma IEC 60268-16 (2011).

## 5.2 Análises: ISO 3382-1

Para gerar os gráficos com os resultados das simulações, de acordo com a ISO 3382-1, fez-se uma média dos resultados encontrados nas três fontes, entendendo que a posição delas não são pontos fixos da fala, existe uma alternância de posições durante o culto.

A seguir, serão apresentadas as análises referentes ao ambiente nas quatro situações: (1) sem o forro, (2) com forro reto, (3) com forro multifacetado e (4) com forro curvo.

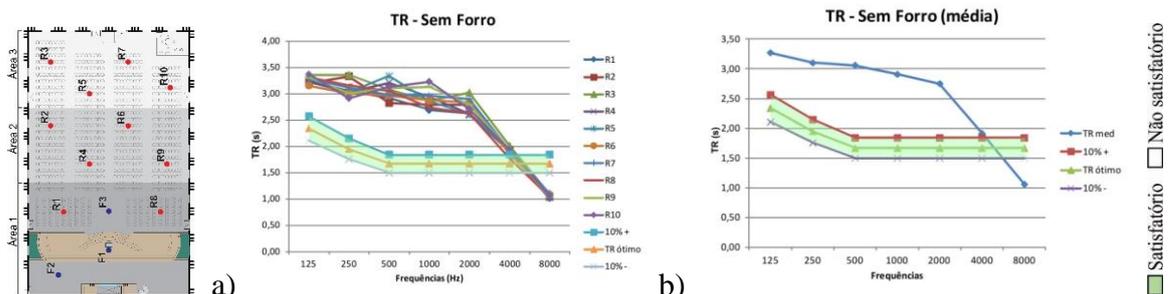
### 5.2.1 Sem Forro

A simulação do ambiente sem o forro serviu como um diagnóstico da acústica, e também propiciou a verificação da interferência causada após a aplicação dos forros. A seguir serão apresentadas as análises dos seis parâmetros acústicos escolhidos no templo sem o forro, de acordo com a ISO 3382-1.

### a) Tempo de Reverberação (TR)

A Figura 65 apresenta os valores de TR para cada receptor, (R1 a R10) pontos selecionados no ambiente, e a média aritmética desses valores. Observa-se que praticamente todos os valores de TR estão fora das condições ideais para o templo. Os valores de TR diminuem de acordo com o aumento da frequência. Apenas os valores correspondentes à frequência de 4 kHz são os que mais se aproximam dos valores ótimos para o templo. Os valores dos gráficos SRTR (média) variam entre 1,06s a 3,27s.

**Figura 65** – Tempo de Reverberação (TR) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média

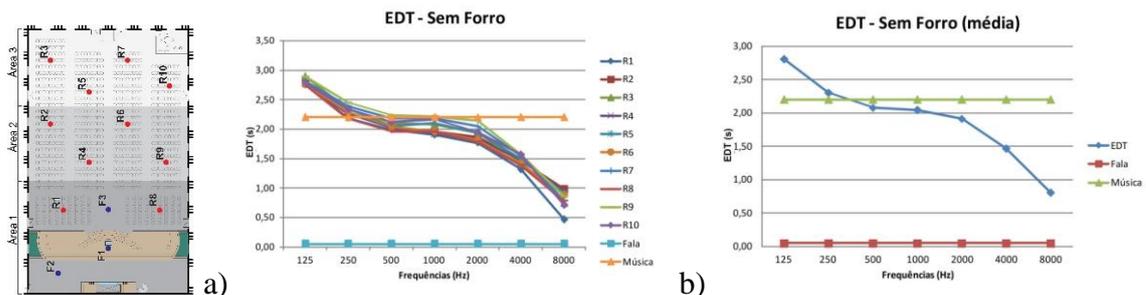


Fonte: Autora.

### b) Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

A Figura 66 apresenta os valores de EDT para cada receptor (R1 a R10) pontos selecionados no ambiente, e a média aritmética desses valores. É possível perceber que não existe diferença significativa entre os resultados dos receptores e que a maioria dos resultados de EDT se aproxima do valor recomendado para música (2,2s). Isso pode ser observado da frequência de 250 Hz até a 2 kHz. Em 125 Hz esses resultados estão acima do recomendado. A partir da frequência 2 kHz os valores tendem a decair. Os valores encontrados para 8 kHz são os que mais se distanciam do recomendado para fala, atingindo 0,47 segundos. Consequentemente, aproximando-se do valor recomendado para fala, que é de 0,05s.

**Figura 66** – Tempo de Decaimento Inicial (EDT) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média



Fonte: Autora.

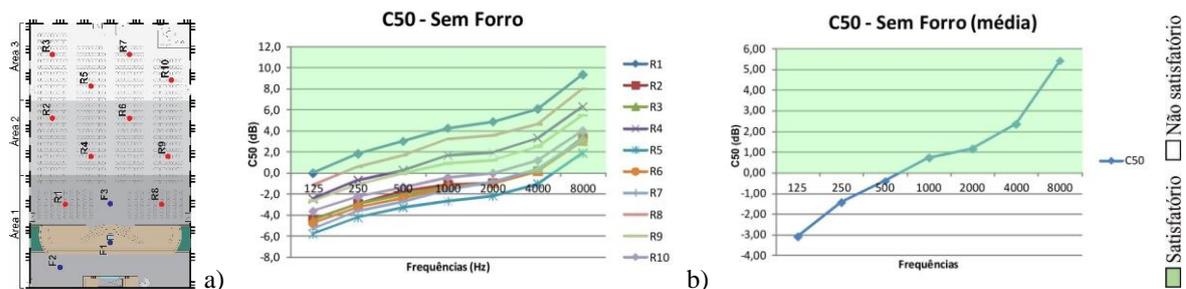
### c) Índice de Clareza da fala ( $C_{50}$ )

Diferente dos parâmetros anteriores, TR e EDT, os valores que correspondem ao  $C_{50}$  apresentam maiores diferenças a depender da localização do ouvinte dentro do templo. A Figura 67 apresenta os valores de  $C_{50}$  para cada receptor (R1 a R10) pontos selecionados no ambiente, e a média logarítmica desses valores. A Figura 67a mostra que esse parâmetro não foi atendido pela maioria dos receptores nas baixas frequências. Nas médias frequências, metade dos receptores atendeu aos valores recomendados. Já nas altas, esse parâmetro foi atendido pela maioria dos receptores. Nenhuma das Áreas atendeu em todas as frequências ao parâmetro  $C_{50}$ , porém a Área 1 apresenta melhores condições.

Vale destacar que o receptor 1 é o único que possui todos os valores de  $C_{50}$  dentro do que é recomendado. Isso não quer dizer que quanto mais distante da fonte, menor será a clareza. Pois, o receptor R5 é o que apresenta piores condições, e este não é o mais distante das fontes. Isso se explica pelo fato deste não receber um reforço sonoro, através das reflexões nas paredes. O que ocorre com o R3 e R7, que são os mais distantes das fontes, porém próximos às paredes. Esse reforço contribui positivamente para a clareza sonora.

Observando a Figura 67b, pode-se concluir que o parâmetro  $C_{50}$  possui valores de acordo com o recomendado apenas nas altas frequências, em detrimento das baixas e médias. Os valores dos gráficos SRC50 (média) variam entre -3,08dB a 5,44dB.

**Figura 67** – Índice de Clareza da fala ( $C_{50}$ ) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média

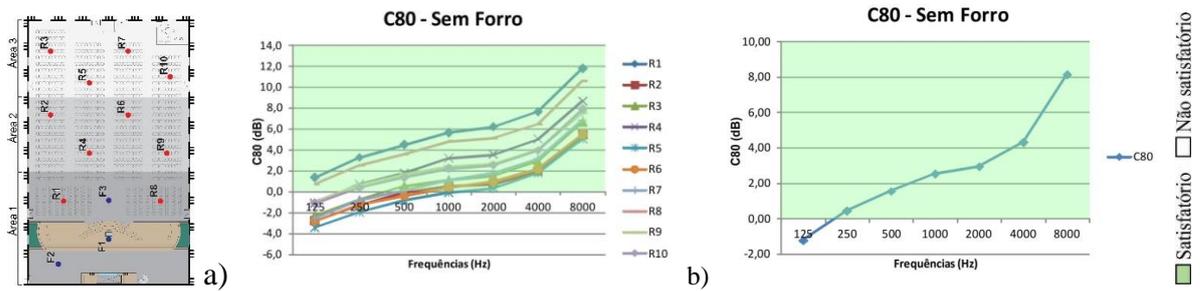


Fonte: Autora.

### d) Índice de clareza para música ( $C_{80}$ )

A Figura 68 apresenta os valores de  $C_{80}$  para cada receptor (R1 a R10) pontos selecionados no ambiente e a média logarítmica desses valores. Através da Figura 68a verifica-se que apenas alguns receptores, nas baixas frequências, possuem valores fora do que é recomendado. Sendo assim, apenas a Área 1 possui valores de  $C_{80}$  dentro do recomendado para o templo sem o forro. A Figura 68b afirma que apenas para a frequência de 125Hz o templo não apresenta resultados de  $C_{80}$  dentro do recomendado.

**Figura 68** – Índice de Clareza da música ( $C_{80}$ ) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média

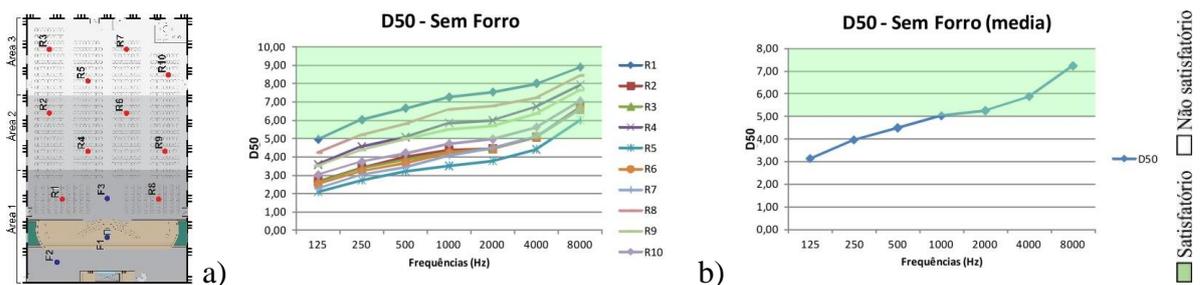


Fonte: Autora.

### e) Definição ( $D_{50}$ )

A Figura 69 apresenta os valores de  $D_{50}$  para cada receptor (R1 a R10) pontos selecionados no ambiente e a média aritmética desses valores. O parâmetro definição apresenta a maioria dos resultados fora do recomendado para o templo, isso é perceptível através da Figura 69a. Ou seja, nenhuma das áreas atendeu em todas as frequências ao parâmetro  $D_{50}$ , porém a Área 1 apresenta as melhores condições. As frequências que menos atendem a esse parâmetro são as baixas, seguidas das médias e altas. Nestas últimas, apenas a frequência de 8 kHz possui todos os valores dentro do recomendado. Com relação aos receptores, o R1 é o único que apresenta valores ideais de definição recomendados para o ambiente sem o forro. O que apresenta pior condição é o R5. De acordo com a Figura 69b apenas nas altas frequências o templo sem forro atende ao parâmetro  $D_{50}$ .

**Figura 69** – Definição ( $D_{50}$ ) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média



Fonte: Autora.

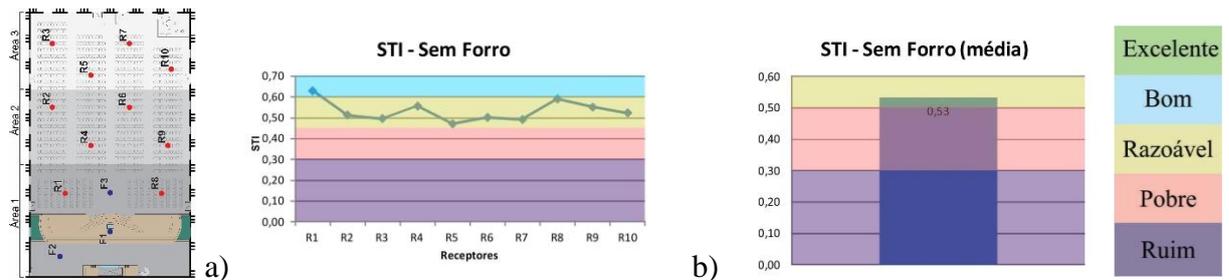
A alta reverberação, já detectada através da análise do TR, faz com que a porção tardia da energia sonora seja aumentada. Isso faz com que ela seja maior que a energia inicial que atinge os receptores em até 50ms, e conseqüentemente, reduziram os valores de  $D_{50}$ .

### f) Índice de Transmissão da Fala (STI)

A Figura 70 apresenta os valores de STI para cada receptor (R1 a R10) pontos selecionados no ambiente e a média aritmética desses valores. A Figura 70a mostra que apenas

o receptor R1 apresenta a inteligibilidade classificada como Boa, enquanto todos os outros receptores possuem uma inteligibilidade razoável. Assim, conforme está apresentado na Figura 70b, conclui-se que a inteligibilidade geral do templo sem forro é razoável, apresentando o valor 0,53 de STI.

**Figura 70** – Índice de Transmissão da Fala (STI) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média



Fonte: Autora.

### 5.2.2 Forro Reto

As análises dos parâmetros correspondentes ao templo com Forro Reto, segundo a IS3382-1, são de acordo com a Figura 71.

Numa avaliação geral observou-se que com a diminuição da superfície reflexiva, todos os valores tendem a se aproximar, e em alguns casos, alcançar os valores recomendados para o ambiente, em todos os parâmetros. Ou seja, o forro que apresentou piores resultados foi o que tem 100% superfície reflexiva, e os melhores resultados foi para o forro com 0% de superfície reflexiva. Já que estes são os “extremos”, foi apresentado o comparativo dos resultados que ocorre nessas situações. Com relação à localização do material do forro, constatou-se qual localização favorece em cada parâmetro.

Segue a análise de cada parâmetro para o Forro Reto.

#### a) Tempo de Reverberação (TR)

De acordo com os gráficos do parâmetro de TR não houve diferenças significativas nos resultados para cada receptor. O que varia consideravelmente são os resultados entre frequências. Os valores de TR diminuem de acordo com o aumento da frequência. Observando cada uma, percebe-se que não existem grandes variações entre esses resultados nas baixas e médias frequências. Já nas altas, houve um decaimento maior desses valores. Para o  $FR_{100\%}$  TR os valores variam de 1,60 a 4,41s. Já para o  $FR_{0\%}$  TR a variação ocorre entre 1,01s a 2,03s. Ou seja, a medida que se coloca mais absorção melhora o TR do ambiente, visando chegar no TR ideal.

### **b) Tempo de Decaimento Inicial (EDT)**

Nos gráficos de EDT é possível perceber que não existem diferenças significativas entre os resultados de cada receptor e que existe um decaimento dos resultados das baixas até altas frequências. Em todos os gráficos os resultados estão acima do recomendado para a fala (0,05s).

E, em relação ao valor recomendado para música (2,2s) observa-se que o gráfico  $FR_{100\%}EDT$  apresenta valores muito acima, nas baixas e médias frequências, apenas na frequência de 8 kHz que são apresentados valores estão abaixo do recomendado para música. Para este gráfico, os valores variam de 1,49s a 7,28s. Enquanto o gráfico o  $FR_{0\%}EDT$  apresenta resultados próximo ao recomendado para música nas baixas e médias frequências, diferentemente nas altas, que agora apresentam valores que se aproximam do valor recomendado para fala. Para este gráfico a variação ocorre entre 0,53s a 2,37s.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao EDT foi no Meio.

### **c) Índice de Clareza da fala (C<sub>50</sub>)**

Nos gráficos de C<sub>50</sub> observa-se que os resultados crescem à medida que crescem também as frequências. Quanto maior a distância entre os receptores das fontes e superfícies reflexivas, menor será o nível de clareza. Assim, os resultados que mais se aproximam do recomendado foram dos receptores da Área 1, logo após Área 2 e, por fim, Área 3.

Para o gráfico  $FR_{100\%}C_{50}$  os valores variam de -12,1dB a 1,5dB, onde praticamente todos os resultados estão fora da hachura verde, salvo os receptores R1 e R8, na frequência de 8 kHz. Já para o  $FR_{0\%}C_{50}$  a variação ocorre entre -4,2dB a 9,0dB, neste gráfico, a Área 1 possui todos os valores dentro do recomendado pela literatura. Vale destacar que o receptor R1 (Área 1) está em melhores condições, em todas as situações, enquanto o receptor R5 (Área 3) em pior condição.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao C<sub>50</sub> foi a Posterior.

### **d) Índice de clareza para música (C<sub>80</sub>)**

Os gráficos de C<sub>80</sub> apresentam curvas crescentes em função do aumento das frequências. Para o gráfico  $FR_{100\%}C_{80}$  os valores variam de -9,5dB a 3,7dB. Com exceção dos receptores R5 e R7, todos apresentam valores dentro do recomendado na frequência de 8000kHz. No gráfico  $FR_{0\%}C_{80}$  a variação ocorre entre -1,7dB a 11,5dB. Nesta situação apenas

a Área 1 possui todos os valores dentro do recomendado. O receptor que apresentou melhores resultados foi o R1 (Área 1), já o que apresentou os piores resultados foi o R5 (Área 3).

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao C80 foi a Posterior.

**e) Definição (D50)**

Os resultados para o parâmetro D50 compõe uma curva que se inicia quase que constantes nas baixas e médias frequências e cresce, quase que bruscamente, nas altas frequências. A diferença entre os resultados para cada receptor é perceptível em todos os gráficos. Com o a diminuição da superfície reflexiva esses valores tendem a serem constantes.

Para o gráfico FR<sub>100%</sub>D50 os valores variam de 0,58 a 5,66. Já para o FR<sub>0%</sub>D50 a variação ocorre entre 2,73 a 8,77. Nenhuma das três áreas possui todos os valores de D50 de acordo com o recomendado para o templo. O receptor que apresentou melhores resultados em todos os gráficos foi o R1 (Área 1), inclusive, apenas este apresentou no gráfico FR<sub>0%</sub>D50 todos os valores de acordo com o recomendado para o templo. Já o receptor R5 (Área 3) foi o que apresentou os piores resultados.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao D50 foi a Posterior.

**f) Índice de Transmissão da Fala (STI)**

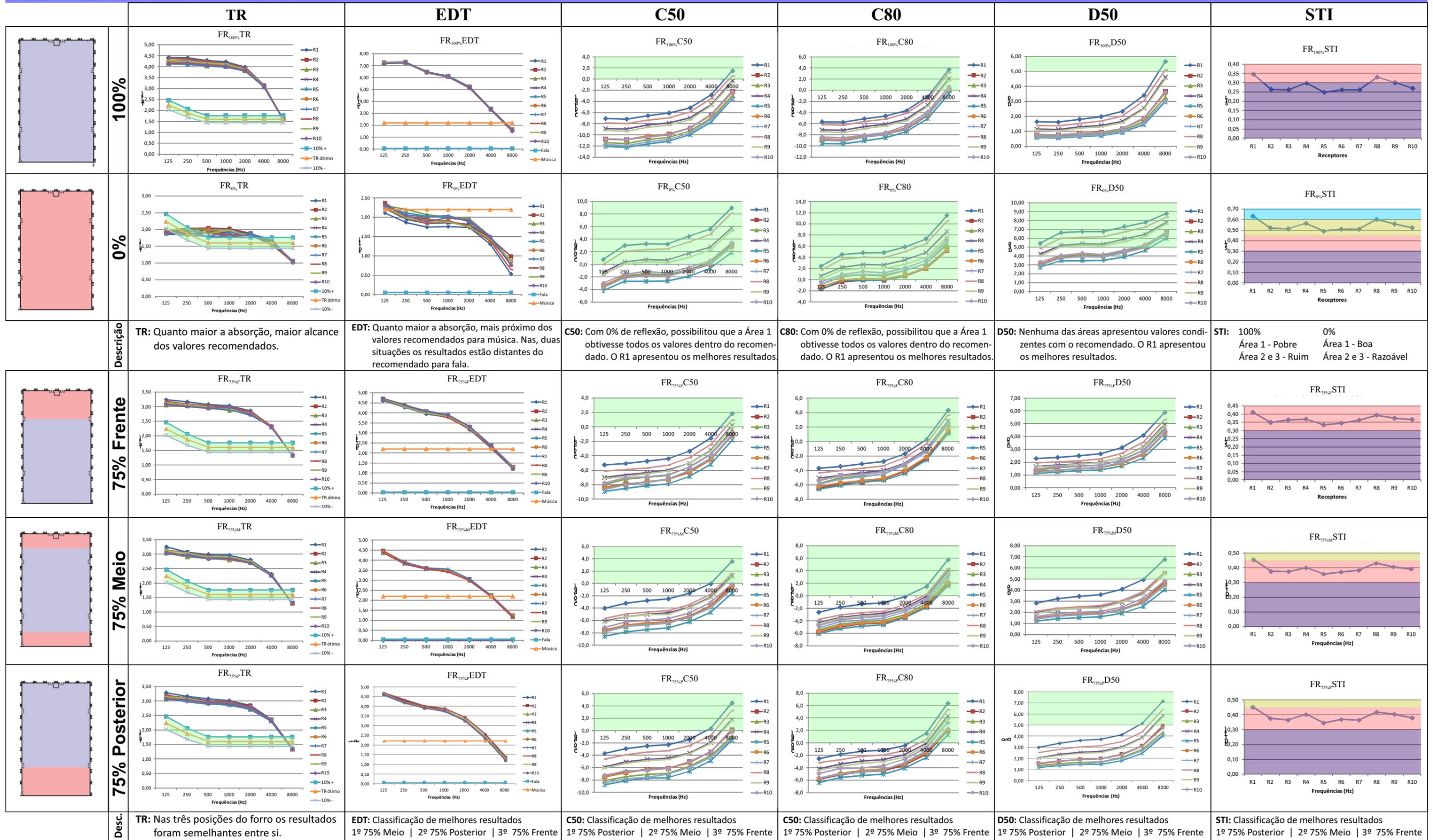
Os resultados de STI apresentam um comportamento linear na maioria dos gráficos. A medida que a superfície reflexiva é diminuída, os gráficos apresentam modificações no seu caráter linear. As mais significativas são para o gráfico FR<sub>50%</sub>STI, onde o material foi colocado nessa porcentagem, e no meio do ambiente.

A classificação geral dos resultados varia entre ruim até boa inteligibilidade, ou seja, não apresenta valores excelentes. Para o gráfico FR<sub>100%</sub>STI os valores variam de 0,25 a 0,35, neste, a Área 1 apresenta resultados classificados como pobre, enquanto as Áreas 2 e 3 apresentam resultados classificados como ruim. Já para o FR<sub>0%</sub>STI a variação ocorre entre 0,49 a 0,63, onde a Área 1 passa a ser classificada como a que apresenta bons resultados e as Áreas 2 e 3 apresentam resultados razoáveis. Os receptores que apresentam melhores e piores resultados em todos os gráficos são o R1 (Área 1) e R5 (Área 3), respectivamente.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao D50 foi o Meio.

Figura 71: Resultados dos parâmetros acústicos referentes ao Forro Reto, segundo a ISO 3382-1.

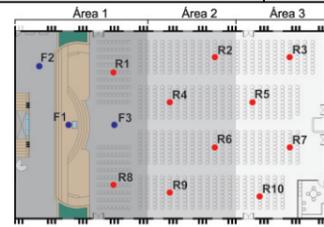
# FORRO RETO: ISO 3382-1



## LEGENDA

A hachura verde indica quais são os intervalos dos valores recomendados para o templo nos gráficos dos parâmetros de TR, C50, C80 e D50.  
Para o parâmetro EDT, os valores indicados para fala e música estão indicados no próprio gráfico.  
Para o parâmetro STI, a classificação dos valores encontrados segue a figura abaixo:

Parâmetro STI					
Classificação	Ruim	Pobre	Razoável	Bom	Excelente
Intervalos de valores de STI	0,00 - 0,30	0,30 - 0,45	0,45 - 0,60	0,60 - 0,75	0,75 - 1,00



## CONCEITOS

- TR:** tempo necessário para que o nível sonoro na sala decaia 60 dB após o sinal de uma fonte sonora ser interrompido.
- EDT:** tempo necessário para que a energia sonora decaia os primeiros 10dB.
- C50:** razão logarítmica entre a energia sonora das primeiras reflexões, recebida entre o instante 0 (zero) e t.
- C80:** razão entre a energia inicial (recebida por um ouvinte até 80 milissegundos a partir de um pulso inicial) e a energia total da reverberação do pulso.
- D50:** razão entre a porção inicial da energia sonora recebida nos primeiros 50ms e a energia total do sinal.
- STI:** medida objetiva para prever a inteligibilidade do discurso transmitido do orador para ouvinte.

Continua...

# FORRO RETO: ISO 3382-1 - Continuação

	TR	EDT	C50	C80	D50	STI
	<b>50% Frente</b> FR <sub>50%F</sub> TR 	<b>50% Frente</b> FR <sub>50%F</sub> EDT 	<b>50% Frente</b> FR <sub>50%F</sub> C50 	<b>50% Frente</b> FR <sub>50%F</sub> C80 	<b>50% Frente</b> FR <sub>50%F</sub> D50 	<b>50% Frente</b> FR <sub>50%F</sub> STI 
	<b>50% Meio</b> FR <sub>50%M</sub> TR 	<b>50% Meio</b> FR <sub>50%M</sub> EDT 	<b>50% Meio</b> FR <sub>50%M</sub> C50 	<b>50% Meio</b> FR <sub>50%M</sub> C80 	<b>50% Meio</b> FR <sub>50%M</sub> D50 	<b>50% Meio</b> FR <sub>50%M</sub> STI 
	<b>50% Posterior</b> FR <sub>50%P</sub> TR 	<b>50% Posterior</b> FR <sub>50%P</sub> EDT 	<b>50% Posterior</b> FR <sub>50%P</sub> C50 	<b>50% Posterior</b> FR <sub>50%P</sub> C80 	<b>50% Posterior</b> FR <sub>50%P</sub> D50 	<b>50% Posterior</b> FR <sub>50%P</sub> STI 
Desc.	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.	EDT: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Posterior   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	D50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	STI: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Posterior   3º 75% Frente
	<b>25% Frente</b> FR <sub>25%F</sub> TR 	<b>25% Frente</b> FR <sub>25%F</sub> EDT 	<b>25% Frente</b> FR <sub>25%F</sub> C50 	<b>25% Frente</b> FR <sub>25%F</sub> C80 	<b>25% Frente</b> FR <sub>25%F</sub> D50 	<b>25% Frente</b> FR <sub>25%F</sub> STI 
	<b>25% Meio</b> FR <sub>25%M</sub> TR 	<b>25% Meio</b> FR <sub>25%M</sub> EDT 	<b>25% Meio</b> FR <sub>25%M</sub> C50 	<b>25% Meio</b> FR <sub>25%M</sub> C80 	<b>25% Meio</b> FR <sub>25%M</sub> D50 	<b>25% Meio</b> FR <sub>25%M</sub> STI 
	<b>25% Posterior</b> FR <sub>25%P</sub> TR 	<b>25% Posterior</b> FR <sub>25%P</sub> EDT 	<b>25% Posterior</b> FR <sub>25%P</sub> C50 	<b>25% Posterior</b> FR <sub>25%P</sub> C80 	<b>25% Posterior</b> FR <sub>25%P</sub> D50 	<b>25% Posterior</b> FR <sub>25%P</sub> STI 
Desc.	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.	EDT: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Posterior   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	D50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	STI: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Posterior   3º 75% Frente

### 5.2.3 Forro Multifacetado

As análises dos parâmetros correspondentes ao templo com Forro Multifacetado, segundo a IS3382-1, são de acordo com a Figura 72. Foi constatado que as características gerais dos gráficos são semelhantes aos gráficos para o Forro Reto. Deste modo, as informações aqui apresentadas referem-se apenas aos resultados.

Segue a análise de cada parâmetro para o Forro Multifacetado.

#### a) Tempo de Reverberação (TR)

Para o FM<sub>100%</sub>TR os valores variam de 1,58 a 4,42s. Já para o FM<sub>0%</sub>TR a variação ocorre entre 0,99s a 1,97s.

#### b) Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

Para o gráfico FM<sub>100%</sub>EDT, os valores variam de 1,43s a 7,18s. Enquanto o gráfico o FM<sub>0%</sub>EDT apresenta resultados próximo ao recomendado para música nas baixas e médias frequências, já nas altas, apresentam valores bem abaixo dessa recomendação, consequentemente se aproximando do valor recomendado para fala. Para este gráfico a variação ocorre entre 0,51s a 2,10s.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao EDT foi o Meio.

#### c) Índice de Clareza da fala (C<sub>50</sub>)

Para o FM<sub>100%</sub>C<sub>50</sub> os valores variam de -12,2dB a 1,2dB. Já para o FM<sub>0%</sub>C<sub>50</sub> a variação ocorre entre -4,1dB a 9,0dB, neste gráfico, apenas a Área 1 conseguiu obter todos os valores dentro do recomendado pela literatura. Vale destacar que o receptor R1 (Área 1) foi o que apresentou melhores resultados em todos os gráficos.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao C<sub>50</sub> foi a Posterior.

#### d) Índice de clareza para música (C<sub>80</sub>)

Para o FM<sub>100%</sub>C<sub>80</sub> os valores variam de -9,5dB a 3,4dB. Já para o FM<sub>0%</sub>C<sub>80</sub> a variação ocorre entre -1,6dB a 11,5dB. Neste último gráfico, apenas a Área 1 possui todos os valores de acordo com o recomendado para o templo. O receptor que apresentou melhores resultados em todos os gráficos foi o R1.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao C80 foi a Posterior.

**e) Definição (D50)**

Para o gráfico  $FM_{100\%}D50$  os valores variam de 0,59 a 5,48. Já para o  $FM_{0\%}D50$  a variação ocorre entre 2,80 a 8,81. Nenhuma das três áreas apresentou valores condizentes com o recomendado. O receptor que apresentou melhores resultados em todos os gráficos foi o R1.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao D50 foi a Posterior.

**f) Índice de Transmissão da Fala (STI)**

Para o gráfico  $FM_{100\%}STI$  os valores variam de 0,25 a 0,37, neste, a Área 1 apresenta resultados classificados como pobre, enquanto as Áreas 2 e 3 apresentam resultados classificados como ruim. Já para o  $FM_{0\%}STI$  a variação ocorre entre 0,50 a 0,64, onde a Área 1 passa a ser classificada como a que apresenta bons resultados e as Áreas 2 e 3 apresentam resultados razoáveis. O receptor que apresentou melhores resultados em todos os gráficos foi o R1.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao STI foi a Posterior.

Figura 72: Resultados dos parâmetros acústicos referentes ao Forro Multifacetado, segundo a ISO 3382-1.

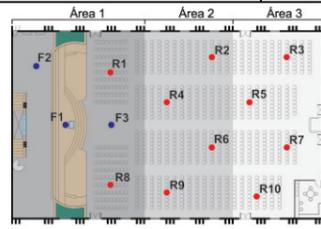
# FORRO MULTIFACETADO: ISO 3382-1

	TR	EDT	C50	C80	D50	STI
<b>100%</b>						
<b>0%</b>						
<b>Descrição</b>	TR: Quanto maior a absorção, maior alcance dos valores recomendados.	EDT: Quanto maior a absorção, mais próximo dos valores recomendados para música. Nas duas situações os resultados estão distantes do recomendado para fala.	C50: Com 0% de reflexão, possibilitou que a Área 1 obtivesse todos os valores dentro do recomendado. O R1 apresentou os melhores resultados	C80: Com 0% de reflexão, possibilitou que a Área 1 obtivesse todos os valores dentro do recomendado. O R1 apresentou os melhores resultados.	D50: Nenhuma das áreas apresentou valores condizentes com o recomendado. O R1 apresentou os melhores resultados.	STI: 100% Área 1 - Pobre 0% Área 1 - Boa Área 2 e 3 - Ruim Área 2 e 3 - Razoável
<b>75% Frente</b>						
<b>75% Meio</b>						
<b>75% Posterior</b>						
<b>Desc.</b>	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.	EDT: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Posterior   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	D50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	STI: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente

### LEGENDA

A hachura verde indica quais são os intervalos dos valores recomendados para o templo nos gráficos dos parâmetros de TR, C50, C80 e D50.  
Para o parâmetro EDT, os valores indicados para fala e música estão indicados no próprio gráfico.  
Para o parâmetro STI, a classificação dos valores encontrados segue a figura abaixo:

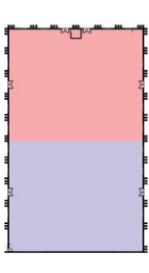
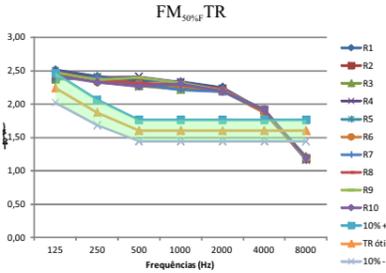
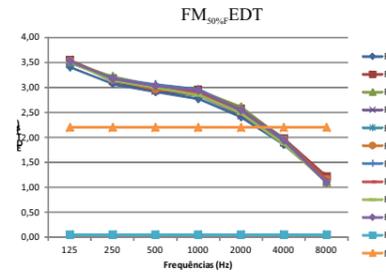
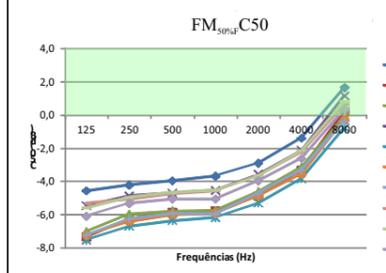
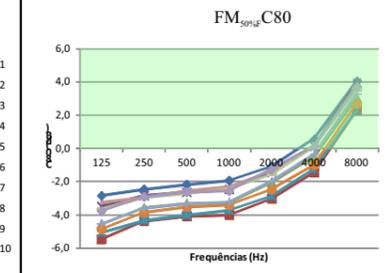
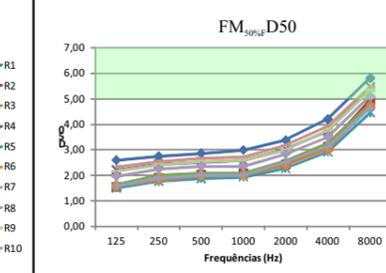
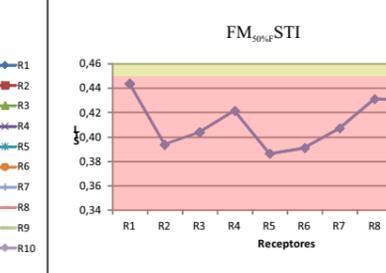
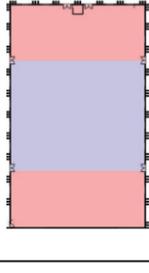
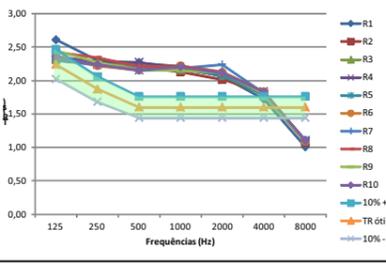
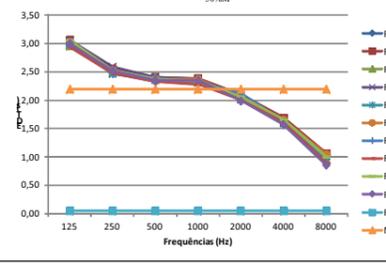
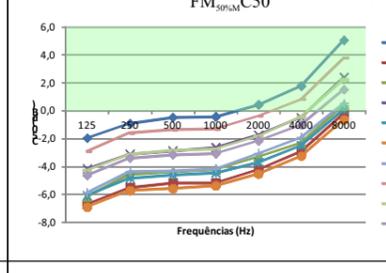
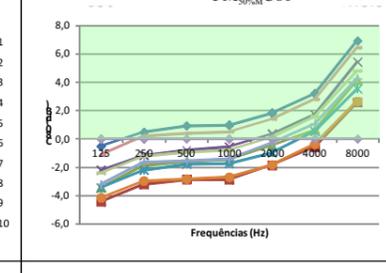
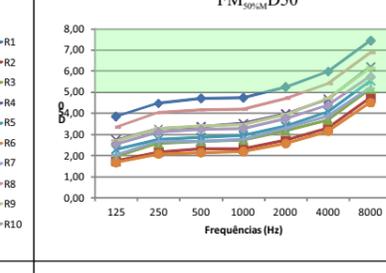
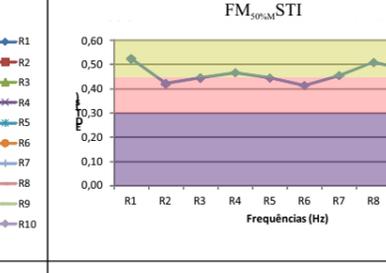
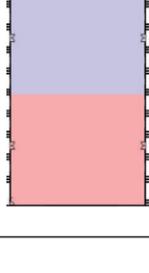
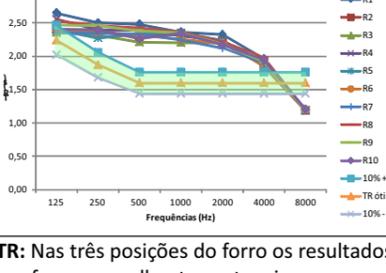
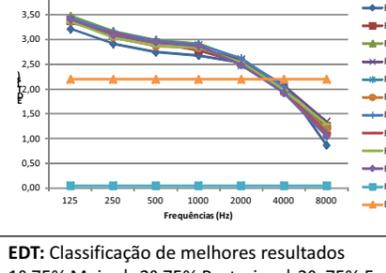
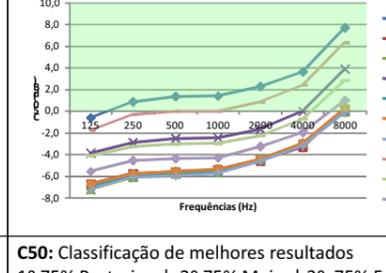
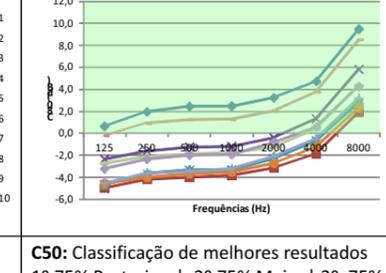
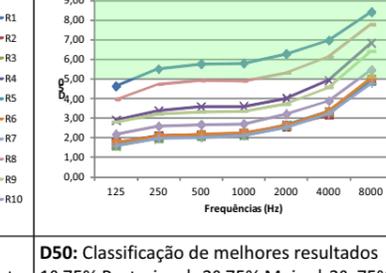
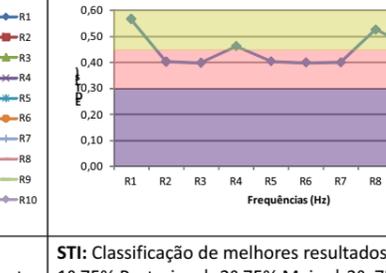
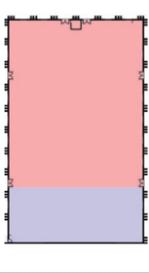
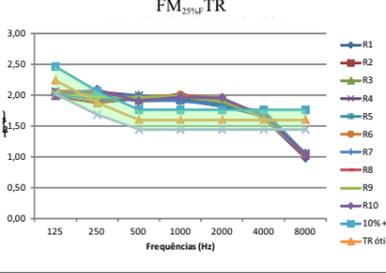
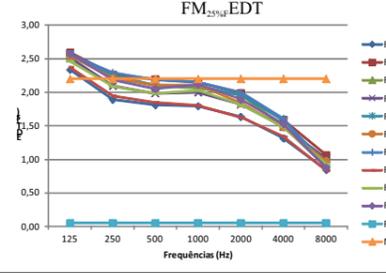
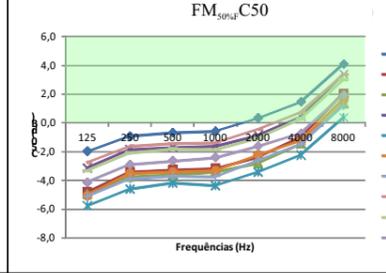
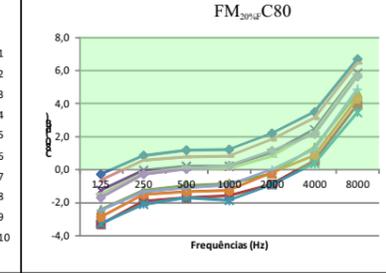
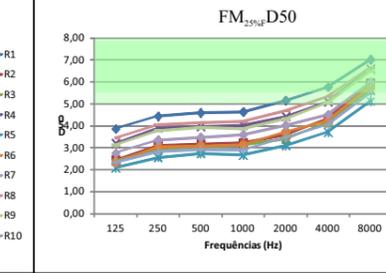
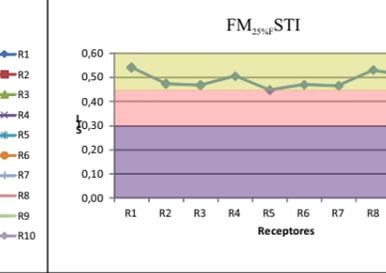
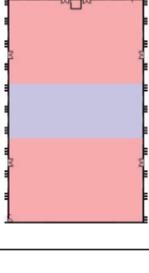
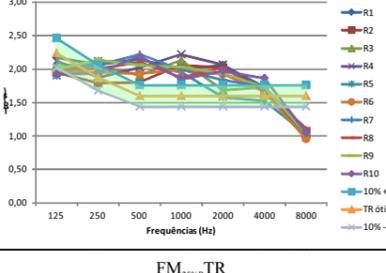
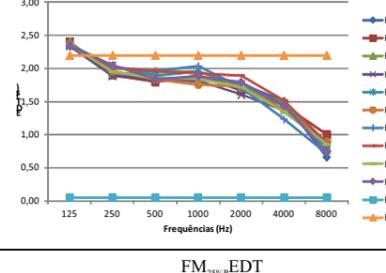
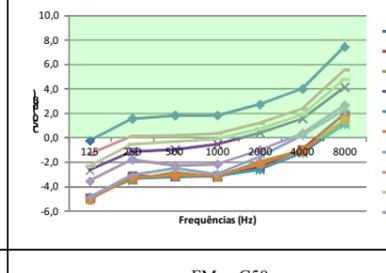
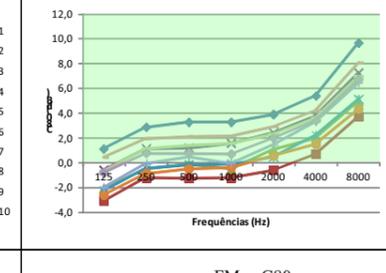
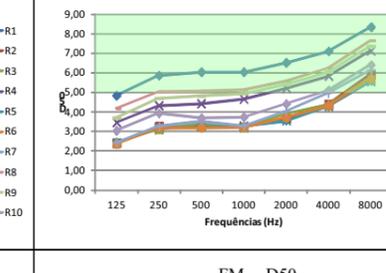
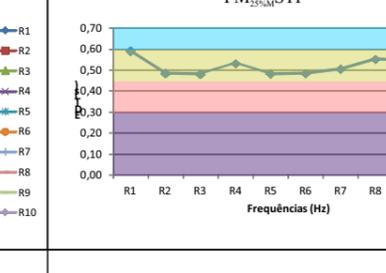
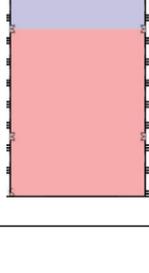
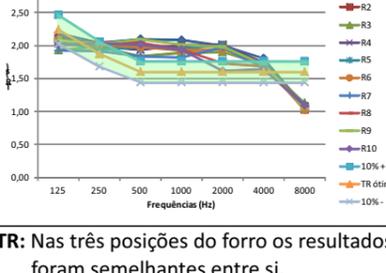
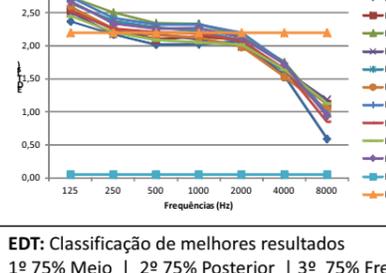
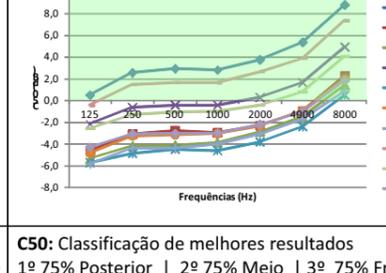
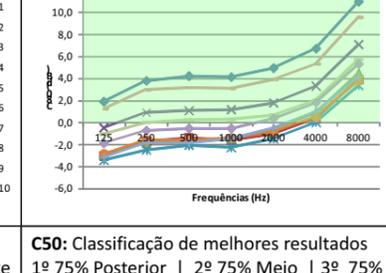
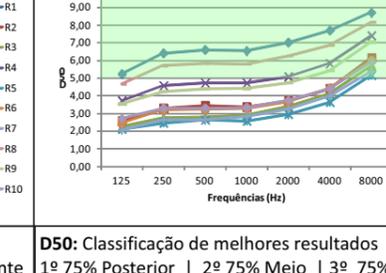
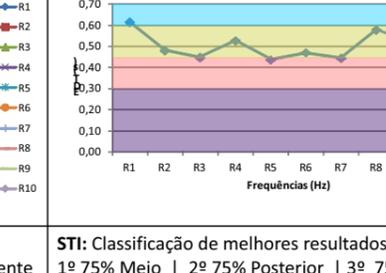
Parâmetro STI					
Classificação	Ruim	Pobre	Razoável	Bom	Excelente
Intervalos de valores de STI	0,00 - 0,30	0,30 - 0,45	0,45 - 0,60	0,60 - 0,75	0,75 - 1,00



### CONCEITOS

- TR:** tempo necessário para que o nível sonoro na sala decaia 60 dB após o sinal de uma fonte sonora ser interrompido.
- EDT:** tempo necessário para que a energia sonora decaia os primeiros 10dB.
- C50:** razão logarítmica entre a energia sonora das primeiras reflexões, recebida entre o instante 0 (zero) e t.
- C80:** razão entre a energia inicial (recebida por um ouvinte até 80 milissegundos a partir de um pulso inicial) e a energia total da reverberação do pulso.
- D50:** razão entre a porção inicial da energia sonora recebida nos primeiros 50ms e a energia total do sinal.
- STI:** medida objetiva para prever a inteligibilidade do discurso transmitido do orador para ouvinte.

# FORRO MULTIFACETADO: ISO 3382-1 - Continuação

	TR	EDT	C50	C80	D50	STI
	<b>50% Frente</b> 					
	<b>50% Meio</b> 					
	<b>50% Posterior</b> 					
Desc.	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.	EDT: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Posterior   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	D50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	STI: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente
	<b>25% Frente</b> 					
	<b>25% Meio</b> 					
	<b>25% Posterior</b> 					
Desc.	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.	EDT: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Posterior   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	D50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	STI: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Posterior   3º 75% Frente

### 5.2.4 Forro Curvo

As análises dos parâmetros correspondentes ao templo com Forro Curvo, segundo a IS3382-1, são de acordo com a Figura 73. Foi constatado que as características gerais dos gráficos são semelhantes aos gráficos para o Forro Reto. Deste modo, as informações aqui apresentadas referem-se apenas aos resultados.

Segue a análise de cada parâmetro para o Forro Curvo.

#### a) Tempo de Reverberação (TR)

Para o  $FC_{100\%}TR$  os valores variam de 1,59s a 4,38s. Já para o  $FC_{0\%}TR$  a variação ocorre entre 0,84s a 2,11s.

#### b) Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

Para o gráfico  $FC_{100\%}EDT$ , os valores variam de 1,48s a 7,33s. Enquanto o gráfico o  $FC_{0\%}EDT$  apresenta resultados próximo ao recomendado para música nas baixas e médias frequências, diferentemente nas altas, que agora apresentam valores bem abaixo dessa recomendação, conseqüentemente se aproximando do valor recomendado para fala. Para este gráfico a variação ocorre entre 0,52s a 2,28s.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao EDT foi o Meio.

#### c) Índice de Clareza da fala ( $C_{50}$ )

Para o gráfico  $FC_{100\%}C_{50}$  os valores variam de -12,0dB a 1,7dB. Já para o  $FC_{0\%}C_{50}$  a variação ocorre entre -4,6dB a 8,9dB, neste gráfico, apenas a Área 1 conseguiu obter todos os valores dentro do recomendado pela literatura. Em todos os gráficos, o receptor que apresenta melhores resultados é o R1.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao  $C_{50}$  foi a Posterior.

#### d) Índice de clareza para música ( $C_{80}$ )

Para o gráfico  $FC_{100\%}C_{80}$  os valores variam de -9,5dB a 4,0dB. Já para o  $FC_{0\%}C_{80}$  a variação ocorre entre -1,9dB a 11,5dB. Neste último gráfico, apenas a Área 1 possui todos os valores de acordo com o recomendado para o templo. O receptor que apresentou melhores resultados em todos os gráficos foi o R1.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao C80 foi a Posterior.

**e) Definição (D<sub>50</sub>)**

Para o gráfico FC<sub>100%</sub>D50 os valores variam de 0,59 a 5,79. Já para o FC<sub>0%</sub>D50 a variação ocorre entre 2,56 a 8,73. O receptor que apresentou melhores resultados em todos os gráficos foi o R1.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao D50 foi a Posterior.

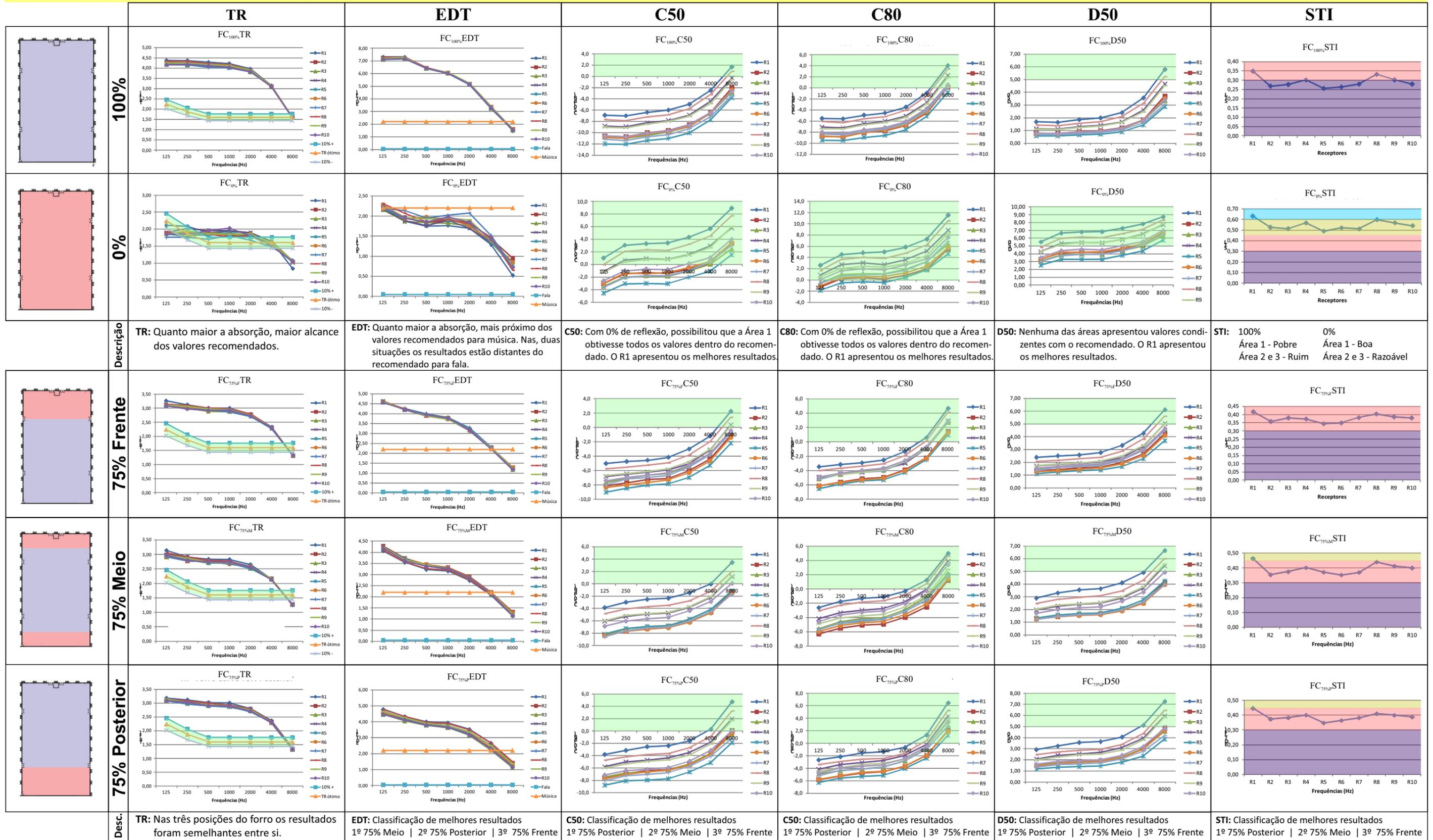
**f) Índice de Transmissão da Fala (STI)**

Para o gráfico FC<sub>100%</sub>STI os valores variam de 0,26 a 0,35, neste, a Área 1 apresenta resultados classificados como pobre, enquanto as Áreas 2 e 3 apresentam resultados classificados como ruim. Já para o FC<sub>0%</sub>STI a variação ocorre entre 0,49 a 0,63, onde a Área 1 passa a ser classificada como a que apresenta bons resultados e as Áreas 2 e 3 apresentam resultados razoáveis. O receptor que apresentou melhores resultados em todos os gráficos foi o R1.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao STI foi o Meio.

Figura 73: Resultados dos parâmetros acústicos referentes ao Forro Curvo, segundo a ISO 3382-1.

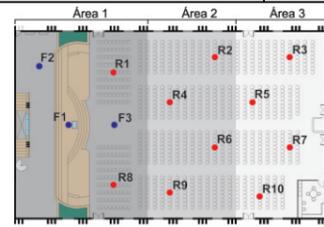
**FORRO CURVO: ISO 3382-1**



**LEGENDA**

A hachura verde indica quais são os intervalos dos valores recomendados para o templo nos gráficos dos parâmetros de TR, C50, C80 e D50.  
Para o parâmetro EDT, os valores indicados para fala e música estão indicados no próprio gráfico.  
Para o parâmetro STI, a classificação dos valores encontrados segue a figura abaixo:

Parâmetro STI					
Classificação	Ruim	Pobre	Razoável	Bom	Excelente
Intervalos de valores de STI	0,00 - 0,30	0,30 - 0,45	0,45 - 0,60	0,60 - 0,75	0,75 - 1,00



**CONCEITOS**

- TR: tempo necessário para que o nível sonoro na sala decaia 60 dB após o sinal de uma fonte sonora ser interrompido.
- EDT: tempo necessário para que a energia sonora decaia os primeiros 10dB.
- C50: razão logarítmica entre a energia sonora das primeiras reflexões, recebida entre o instante 0 (zero) e t.
- C80: razão entre a energia inicial (recebida por um ouvinte até 80 milissegundos a partir de um pulso inicial) e a energia total da reverberação do pulso.
- D50: razão entre a porção inicial da energia sonora recebida nos primeiros 50ms e a energia total do sinal.
- STI: medida objetiva para prever a inteligibilidade do discurso transmitido do orador para ouvinte.

# FORRO CURVO: ISO 3382-1 - Continuação

	TR	EDT	C50	C80	D50	STI
	<b>50% Frente</b> 					
	<b>50% Meio</b> 					
	<b>50% Posterior</b> 					
Desc.	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.	EDT: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Posterior   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	D50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	STI: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Posterior   3º 75% Frente
	<b>25% Frente</b> 					
	<b>25% Meio</b> 					
	<b>25% Posterior</b> 					
Desc.	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.	EDT: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Posterior   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	D50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Posterior   2º 75% Meio   3º 75% Frente	STI: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Posterior   3º 75% Frente

### 5.2.5 Comparativos entre os três forros

Para análise comparativa fez-se a média dos valores dos receptores para cada tipo de forro. A Figura 74 mostra a organização dos gráficos gerados para cada parâmetro, e nestes, a comparação dos resultados dos três tipos de forro. Numa análise geral já é possível perceber que não existem variações significativas entre os resultados dos forros.

Assim como foi observado nas análises individuais (por forro), também que com a diminuição da superfície reflexiva, os valores tendem a se aproximar, e em alguns casos, alcançar os valores recomendados para o templo, em todos os parâmetros. Ou seja, os forros que apresentam piores resultados são os que têm 100% de superfície reflexiva, enquanto o que apresenta melhores resultados são os que possuem 0% de superfície reflexiva. As variações dos resultados entre forros foram bem singelas, mas foi possível eleger os melhores forros em cada parâmetro.

Segue a análise comparativa dos forros, em de cada parâmetro.

#### a) Tempo de Reverberação (TR)

Os forros com 100% só atingem os valores recomendados para o templo na frequência de 8 kHz. Já com 0%, os resultados atendem ao recomendado nas frequências 250 Hz e 4 kHz, nas outras, os resultados ficaram muito próximos do recomendado para o templo.

#### b) Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

Nas duas situações, 100% e 0%, os resultados estão acima do recomendado para a fala (0,05s). Em relação ao valor recomendado para música (2,2s) observa-se que os forros com 100% apresentam valores muito acima, nas baixas e médias frequências, e apenas na frequência de 8 kHz, os valores estão logo abaixo. Enquanto os forros com 0% apresentam resultados próximo ao recomendado para música nas baixas e médias frequências, diferentemente nas altas, que agora apresentam valores bem abaixo dessa recomendação, conseqüentemente se aproximando do valor recomendado para fala.

Mesmo apresentando singelas variações, o forro que apresentou melhores resultados no parâmetro EDT foi o Multifacetado.

#### c) Clareza para fala (C50)

Os forros com 100% não possuem valores de acordo com o recomendado para o parâmetro C50. Já nos forros com 0% foi possível perceber que na frequência de 125 Hz nenhum dos forros atende ao recomendado, na frequência de 250Hz apenas o Forro

Multifacetado atende e da frequência de 500Hz a 8kHz todos os valores encontrados atendem ao recomendado.

Mesmo apresentando singelas variações, o forro que apresentou melhores resultados no parâmetro C50 foi o Multifacetado.

**d) Clareza para música (C80)**

Os forros com 100% só possuem valores de acordo com o recomendado para o parâmetro de C80 na frequência de 8 kHz. Já os forros com 0% atenderam ao parâmetro em todas as frequências.

Mesmo apresentando singelas variações, o forro que apresentou melhores resultados no parâmetro C80 foi o Multifacetado.

**e) Definição (D50)**

Os forros com 100% não atenderam aos valores recomendado para o parâmetro D50. Já os forros com 0%, apenas as altas frequências possuem valores dentro do que é recomendado para o templo.

Mesmo apresentando singelas variações, os melhores resultados no parâmetro D50 foi encontrado nos forros Reto e Curvo.

**f) Índice de Transmissão da Fala (STI)**

Os forros com 100% estão com a inteligibilidade classificada como ruim. Já os forros com 0% essa classificação sobe para razoável.

Mesmo apresentando singelas variações, os melhores resultados no parâmetro STI foi encontrado nos forros Reto e Curvo.

Figura 74: Resultados dos parâmetros acústicos referentes à análise comparativa entre os três forros, segundo a ISO 3382-1.

# ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS TRÊS FORROS: ISO 3382-1

	TR	EDT	C50	C80	D50	STI
Descrição	TR: Quanto maior a absorção, maior alcance dos valores recomendados.	EDT: Quanto maior a absorção, mais próximo dos valores recomendados para música. Nas duas situações os resultados estão distantes do recomendado para fala.	C50: Com 100% de reflexão nenhum dos forros atendem ao recomendado. Já, com 0% de reflexão, os três forros atendem ao recomendado da frequência de 500Hz a 8kHz.	C80: Com 0% de reflexão, possibilitou que os três forros obtivesse todos os valores dentro do recomendado.	D50: Com 0% de reflexão, possibilitou que os três forros obtivesse todos os valores dentro do recomendado nas altas frequências.	STI: 100% - Ruim 0% - Razoável
Desc.	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.	EDT: Melhores resultados entre os forros 75%F: FC   75%M: FC e FM   75%P: FM	C50: Melhores resultados entre os forros 75%F: FC   75%M: FR, FM, FC   75%P: FR, FM, FC	C80: Melhores resultados entre os forros 75%F: FC   75%M: FR   75%P: FM	D50: Melhores resultados entre os forros 75%F: FC   75%M: FR, FM, FC   75%P: FR, FC	STI: Melhores resultados entre os forros 75%F: FC   75%M: FR   75%P: FR, FC

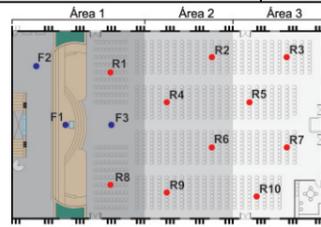
## LEGENDA

A hachura verde indica quais são os intervalos dos valores recomendados para o templo nos gráficos dos parâmetros de TR, C50, C80 e D50.

Para o parâmetro EDT, os valores indicados para fala e música estão indicados no próprio gráfico.

Para o parâmetro STI, a classificação dos valores encontrados segue a figura abaixo:

Classificação	Parâmetro STI			
	Ruim	Pobre	Razoável	Bom
Intervalos de valores de STI	0,00 - 0,30	0,30 - 0,45	0,45 - 0,60	0,60 - 0,75



## CONCEITOS

**TR:** tempo necessário para que o nível sonoro na sala decaia 60 dB após o sinal de uma fonte sonora ser interrompido.

**EDT:** tempo necessário para que a energia sonora decaia os primeiros 10dB.

**C50:** razão logarítmica entre a energia sonora das primeiras reflexões, recebida entre o instante 0 (zero) e t.

**C80:** razão entre a energia inicial (recebida por um ouvinte até 80 milissegundos a partir de um pulso inicial) e a energia total da reverberação do pulso.

**D50:** razão entre a porção inicial da energia sonora recebida nos primeiros 50ms e a energia total do sinal.

**STI:** medida objetiva para prever a inteligibilidade do discurso transmitido do orador para ouvinte.

Continua...

# ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS TRÊS FORROS: ISO 3382-1 - Continuação

	TR	EDT	C50	C80	D50	STI						
	<b>50% Frente</b>	<b>FRMC<sub>50%F</sub>TR</b> 	<b>FRMC<sub>50%F</sub>EDT</b> 	<b>FRMC<sub>50%F</sub>C50</b> 	<b>FRMC<sub>50%F</sub>C80</b> 	<b>FRMC<sub>50%F</sub>D50</b> 	<b>FRMC<sub>50%F</sub>STI</b> 					
	<b>50% Meio</b>	<b>FRMC<sub>50%M</sub>TR</b> 	<b>FRMC<sub>50%M</sub>EDT</b> 	<b>FRMC<sub>50%M</sub>C50</b> 	<b>FRMC<sub>50%M</sub>C80</b> 	<b>FRMC<sub>50%M</sub>D50</b> 	<b>FRMC<sub>50%M</sub>STI</b> 					
	<b>50% Posterior</b>	<b>FRMC<sub>50%P</sub>TR</b> 	<b>FRMC<sub>50%P</sub>EDT</b> 	<b>FRMC<sub>50%P</sub>C50</b> 	<b>FRMC<sub>50%P</sub>C80</b> 	<b>FRMC<sub>50%P</sub>D50</b> 	<b>FRMC<sub>50%P</sub>STI</b> 					
Desc.	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.		EDT: Melhores resultados entre os forros 50%F: FC   50%M: FM   50%P: FM, FC		C50: Melhores resultados entre os forros 50%F: FC   50%M: FC   50%P: FM		C80: Melhores resultados entre os forros 50%F: FC   50%M: FM   50%P: FM		D50: Melhores resultados entre os forros 50%F: FC   50%M: FR, FM, FC   50%P: FR, FM, FC		STI: Melhores resultados entre os forros 50%F: FC   50%M: FR, FM, FC   50%P: FC	
	<b>25% Frente</b>	<b>FRMC<sub>25%F</sub>TR</b> 	<b>FRMC<sub>25%F</sub>EDT</b> 	<b>FRMC<sub>25%F</sub>C50</b> 	<b>FRMC<sub>25%F</sub>C80</b> 	<b>FRMC<sub>25%F</sub>D50</b> 	<b>FRMC<sub>25%F</sub>STI</b> 					
	<b>25% Meio</b>	<b>FRMC<sub>25%M</sub>TR</b> 	<b>FRMC<sub>25%M</sub>EDT</b> 	<b>FRMC<sub>25%M</sub>C50</b> 	<b>FRMC<sub>25%M</sub>C80</b> 	<b>FRMC<sub>25%M</sub>D50</b> 	<b>FRMC<sub>25%M</sub>STI</b> 					
	<b>25% Posterior</b>	<b>FRMC<sub>25%P</sub>TR</b> 	<b>FRMC<sub>25%P</sub>EDT</b> 	<b>FRMC<sub>25%P</sub>C50</b> 	<b>FRMC<sub>25%P</sub>C80</b> 	<b>FRMC<sub>25%P</sub>D50</b> 	<b>FRMC<sub>25%P</sub>STI</b> 					
Desc.	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.		EDT: Melhores resultados entre os forros 25%F: FM   25%M: FM   25%P: FM		C50: Melhores resultados entre os forros 25%F: FM   25%M: FR   25%P: FM		C80: Melhores resultados entre os forros 25%F: FM   25%M: FM   25%P: FM		D50: Melhores resultados entre os forros 25%F: FM   25%M: FR, FM, FC   25%P: FR, FM, FC		STI: Melhores resultados entre os forros 25%F: FM   25%M: FR, FM, FC   25%P: FM, FC	

### 5.3 Análises: Sistema de Reforço Sonoro

Para gerar os gráficos com os resultados das simulações, de acordo com o Sistema de Reforço Sonoro, o software EASE já emite os resultados simulando o funcionamento das oito fontes (caixas de som), ao mesmo tempo durante o culto.

A seguir, serão apresentadas as análises referentes ao templo nas quatro situações: (1) sem o forro, (2) com forro reto, (3) com forro multifacetado e (4) com forro curvo.

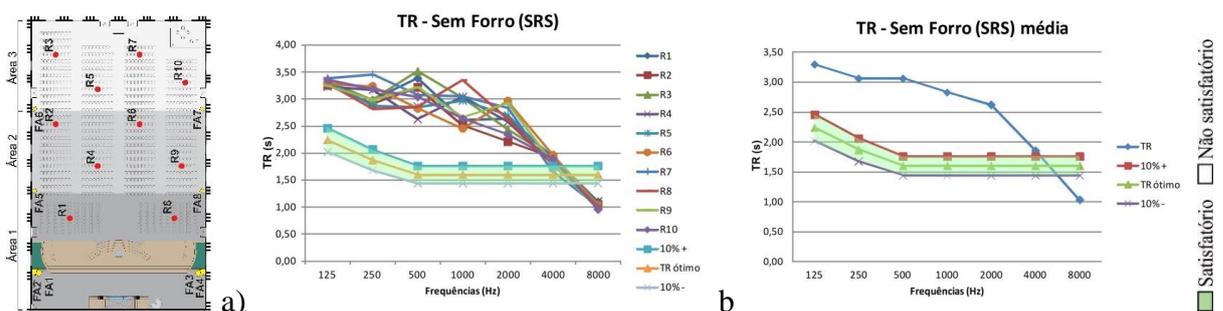
#### 5.3.1 Sem Forro

A simulação do templo sem o forro serviu como um diagnóstico da acústica, e também propiciou a verificação da interferência causada após a aplicação dos forros. A seguir serão apresentadas as análises dos seis parâmetros acústicos escolhidos no templo sem o forro, de acordo com o Sistema de Reforço Sonoro.

##### a) Tempo de Reverberação (TR)

A Figura 75 apresenta os valores de TR para cada receptor e a média desses valores. Observa-se que praticamente todos os valores de TR estão fora das condições ideais para o templo. Os valores de TR diminuem de acordo com o aumento da frequência. Apenas os valores correspondentes à frequência de 4 kHz são os que mais se aproximam da situação ideal para o templo. Os valores dos gráficos SFTR (SRS) média variam entre 1,06s a 3,30s.

**Figura 75** – Tempo de Reverberação (TR) do templo sem o forro (SRS). a) Valores de cada receptor b) Média



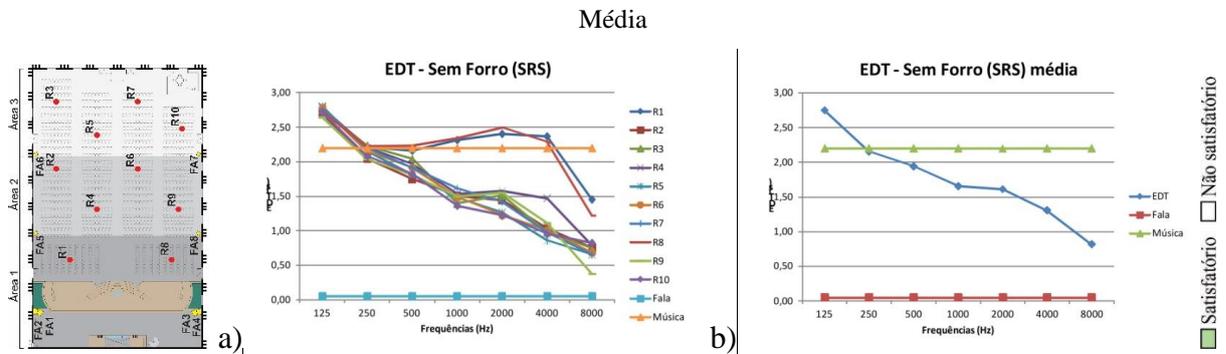
Fonte: Autora.

##### b) Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

Na Figura 76a é possível perceber que as diferenças dos resultados entre receptores mais significativas se devem aos que estão localizados na Área 1. Observando a média dos resultados para EDT, na Figura 76b, existe um decaimento dos resultados, que faz com que se aproximarem dos valores recomendados para fala (0,05s). Em 125 Hz esses resultados estão

acima do recomendado para música (2,2). Já os valores encontrados para 8 kHz são os que mais se aproximam do recomendado para fala, com 0,81 segundos, em média.

**Figura 76** – Tempo de Decaimento Inicial (EDT) do templo sem o forro (SRS). a) Valores de cada receptor b)



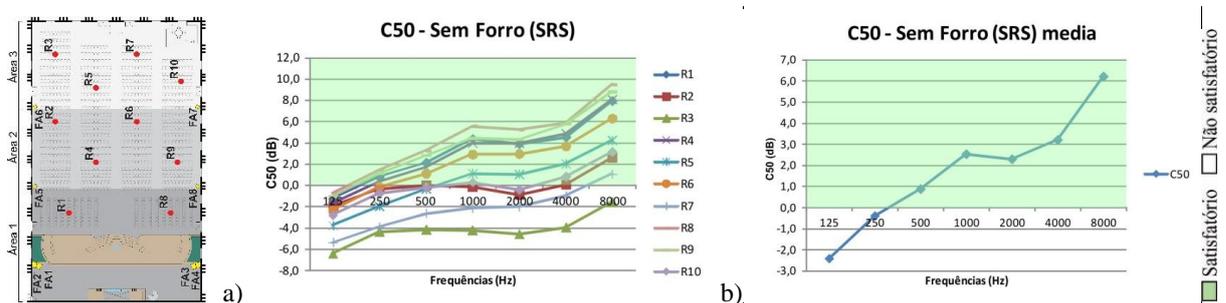
Fonte: Autora.

**c) Índice de Clareza da fala (C<sub>50</sub>)**

Diferente dos parâmetros anteriores, TR e EDT, os valores que correspondem ao C<sub>50</sub> apresentam maiores diferenças a depender da localização do ouvinte dentro do templo. A Figura 77a mostra que esse parâmetro não foi atendido em nenhuma das três áreas analisadas. O receptor R3 (Área 3) não possui nenhum resultado dentro do recomendado. Nenhuma das Áreas atendeu em todas as frequências ao parâmetro C50.

Observando a Figura 77b, pode-se concluir que o parâmetro C50 possui valores de acordo com o recomendado nas médias e altas, em detrimento das baixas frequências. Os valores dos gráficos SRC50 (média) variam entre -2,4dB a 6,2dB.

**Figura 77** – Índice de Clareza da fala (C<sub>50</sub>) do templo sem o forro (SRS). a) Valores de cada receptor b) Média

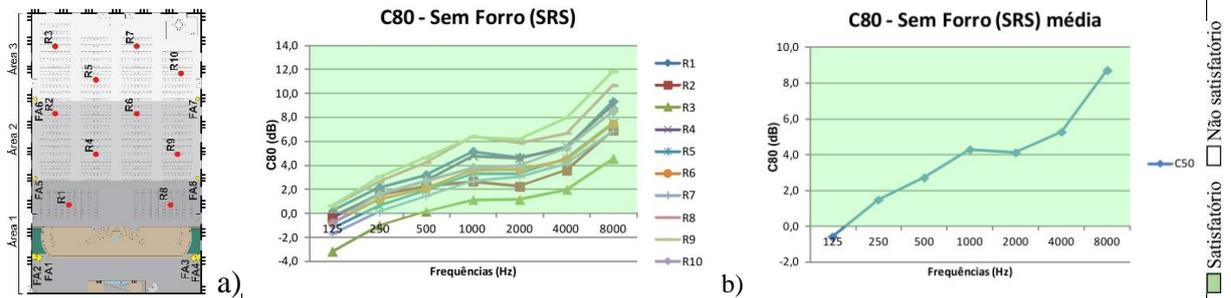


Fonte: Autora.

**d) Índice de clareza para música (C<sub>80</sub>)**

Através da Figura 78a verifica-se que a Área 1 apresenta valores de acordo com o que é recomendado. A Figura 78b afirma que apenas para a frequência de 125Hz o templo não apresenta resultados de C80 dentro do recomendado.

**Figura 78 – Índice de Clareza da música ( $C_{80}$ ) do templo sem o forro (SRS). a) Valores de cada receptor b) Média**

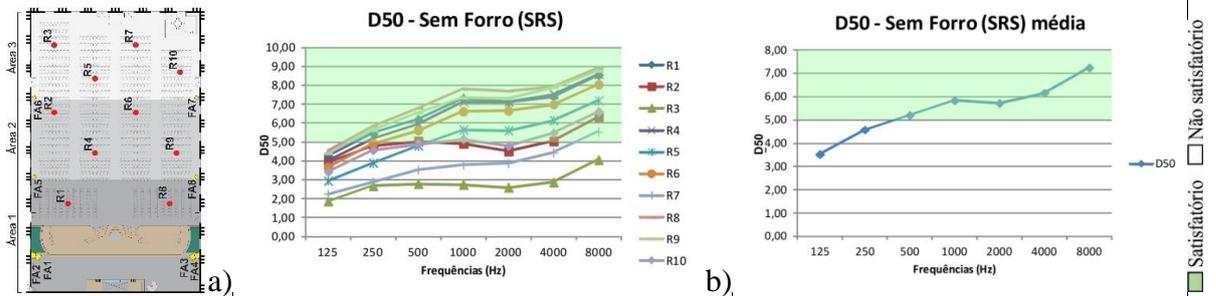


Fonte: Autora.

**e) Definição ( $D_{50}$ )**

O parâmetro definição apresenta a maioria dos resultados dentro do recomendado para o templo, isso é perceptível através da Figura 79a. Porém, nenhuma das áreas atendeu em todas as frequências ao parâmetro  $D_{50}$ . O receptor R3 (Área 3) não possui nenhum resultado dentro do recomendado. De acordo com a Figura 79b nas médias e altas frequências o templo sem forro atende ao parâmetro  $D_{50}$ .

**Figura 79 – Definição ( $D_{50}$ ) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média**

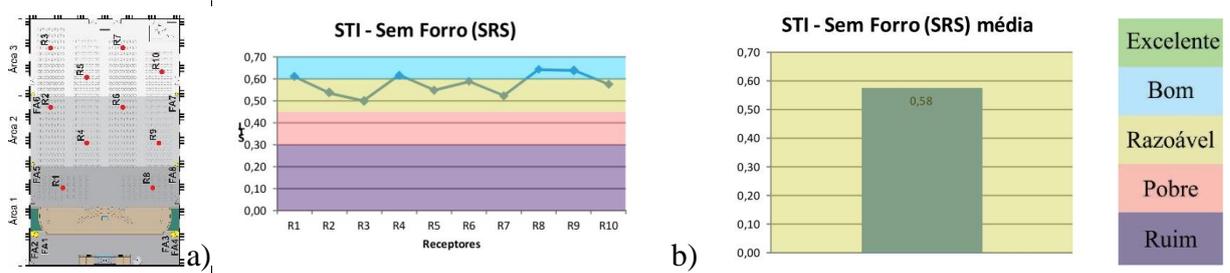


Fonte: Autora.

**f) Índice de Transmissão da Fala (STI)**

A Figura 80a mostra que a Área 1 apresenta a inteligibilidade classificada como Boa, enquanto todos os outros receptores possuem uma classificação variada. Assim, conforme está apresentado na Figura 80b, conclui-se que a inteligibilidade geral do templo sem forro é razoável, apresentando o valor 0,58 de STI.

**Figura 80** – Índice de Transmissão da Fala (STI) do templo sem o forro. a) Valores de cada receptor b) Média



Fonte: Autora.

### 5.3.2 Forro Reto

As análises dos parâmetros correspondentes ao templo com forro reto, segundo o Sistema de Reforço Sonoro (SRS) estão de acordo com a Figura 81.

Numa avaliação geral observou-se que com a diminuição da superfície reflexiva, todos os valores tendem a se aproximar, e em alguns casos, alcançar os valores recomendados para o templo, em todos os parâmetros. Ou seja, os forros que apresentam piores e melhores resultados são os que têm 100% e 0% de superfície reflexiva, respectivamente. Já que estes são os “extremos”, foi apresentado o comparativo dos resultados que ocorre nessas situações. Com relação à localização do material do forro, constatou-se qual localização favorece em cada parâmetro.

Segue a análise de cada parâmetro para o Forro Reto.

#### a) Tempo de Reverberação (TR)

De acordo com os gráficos do parâmetro de TR não houve diferenças significativas nos resultados para cada receptor. O que varia consideravelmente são os resultados entre frequências. Os valores de TR diminuem de acordo com o aumento da frequência. Observando cada uma, percebe-se que não existem grandes variações entre esses resultados nas baixas e médias frequências. Já nas altas, houve um decaimento maior desses valores. Para o FR<sub>100%</sub> TR (SRS) os valores variam de 1,60 a 4,43s. Já para o FR<sub>0%</sub> TR (SRS) a variação ocorre entre 0,97s a 2,12s.

#### b) Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

Nos gráficos de EDT é possível perceber que as diferenças mais significativas entre os resultados se deve aos receptores localizados na Área 1. Com o aumento da superfície reflexiva, os valores de EDT para essa área tendem a se aproximar do valor recomendado para música. Existe um decaimento dos resultados das baixas até altas frequências, nas Áreas 2 e 3.

Em todos os gráficos, os resultados estão acima do recomendado para a fala (0,05s). E, em relação ao valor recomendado para música (2,2s) observa-se que o gráfico  $FR_{100\%}EDT$  (SRS) apresenta valores muito acima, nas baixas e médias frequências, apenas na frequência de 8 kHz que são apresentados valores estão logo abaixo do recomendado para música. Para este gráfico, os valores variam de 1,30a 7,39s. Enquanto o gráfico o  $FR_{0\%}EDT$  (SRS) apresenta resultados próximo ao recomendado para música nas baixas e médias frequências, diferentemente nas altas, que agora apresentam valores que se aproximam do valor recomendado para fala. Para este gráfico a variação ocorre entre 0,92s a 2,47s.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao EDT foi o Meio.

#### c) Índice de Clareza da fala ( $C_{50}$ )

Nos gráficos de  $C_{50}$  observa-se que os resultados crescem à medida que crescem também as frequências. Quanto maior a distância entre os receptores das fontes e superfícies reflexivas, menor será o nível de clareza. Para o  $FR_{100\%}C_{50}$  (SRS) os valores variam de -11,5dB a 3,8dB. Já para o  $FR_{0\%}C_{50}$  (SRS) a variação ocorre entre -5,0dB a 9,0dB, neste gráfico, a Área 1 possui todos os valores dentro do recomendado pela literatura.

Vale destacar que os receptores R8 (Área 1) e R9 (Área 2) apresentaram melhores condições, em todas as situações, enquanto o receptor R3 (Área 3) a apresentou a pior condição.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao  $C_{50}$  foi a Frente.

#### d) Índice de clareza para música ( $C_{80}$ )

Os gráficos de  $C_{80}$  apresentam curvas crescentes em função do aumento das frequências. Para o gráfico  $FR_{100\%}C_{80}$  (SRS) os valores variam de -8,7dB a 5,7dB. Todos os receptores apresentam valores dentro do recomendado na frequência de 8 kHz. No gráfico  $FR_{0\%}C_{80}$  (SRS) a variação ocorre entre -1,5dB a 11,3dB. Nesta situação apenas a Área 1 possui todos os valores dentro do recomendado. O receptor que apresentou melhores resultados foi o R9 (Área 2), já o que apresentou os piores resultados foi o R3 (Área 3).

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao  $C_{80}$  foi a Frente.

#### e) Definição ( $D_{50}$ )

Os resultados para o parâmetro D50 compõe uma curva que se inicia quase que constantes nas baixas e médias frequências e cresce nas altas frequências. A diferença entre os resultados para cada receptor é perceptível em todos os gráficos. Com o a diminuição da superfície reflexiva esses valores tendem a serem constantes.

Para o gráfico  $FR_{100\%}D50$  (SRS) os valores variam de 0,66 a 6,90. Já para o  $FR_{0\%}D50$  (SRS) a variação ocorre entre 2,46 a 8,80. Nesta situação apenas a Área 1 possui todos os valores dentro do recomendado. O receptor que apresentou melhores resultados em todos os gráficos foi o R9 (Área 2) e o R8 (Área 1). Já o receptor R3 (Área 3) foi o que apresentou os piores resultados.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao D50 foi a Frente.

#### **f) Índice de Transmissão da Fala (STI)**

Os resultados de STI se apresentam quase que constantes na maioria dos gráficos, com exceção do gráfico  $FR_{75\%F}STI$  (SRS),  $FR_{75\%M}STI$  (SRS) e  $FR_{50\%M}STI$  (SRS) que existem variações mais significativas. A classificação geral dos resultados varia entre Pobre até Boa inteligibilidade, ou seja, não apresenta valores excelentes.

Para o gráfico  $FR_{100\%}STI$  (SRS) os valores variam de 0,31 a 0,39, neste, todas as Áreas apresentam resultados classificados como pobre. Já para o  $FR_{0\%}STI$  (SRS) a variação ocorre entre 0,52 a 0,65, onde a Área 1 passa a ser classificada como a que apresenta bons resultados e os receptores das Áreas 2 e 3 apresentam resultados variados. Os receptores que apresentam melhores resultados em todos os gráficos foram R8 (Área 1) e R9 (Área 2). Enquanto os receptores que apresentam piores resultados foram o R3 e R7, ambos localizados na Área 3.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao C50 foi o Meio.

Figura 81: Resultados dos parâmetros acústicos referentes ao Forro Reto, segundo o sistema de reforço sonoro.

# FORRO RETO: SISTEMA DE REFORÇO SONORO

	TR	EDT	C50	C80	D50	STI
<b>100%</b>						
<b>0%</b>						
<b>Descrição</b>	TR: Quanto maior a absorção, maior alcance dos valores recomendados.	EDT: Quanto maior a absorção, mais próximo dos valores recomendados para música. Os receptores R1 e R8 tiveram comportamento diferentes.	C50: Com 0% de reflexão, possibilitou que a Área 1 obtivesse todos os valores dentro do recomendado. Os receptores R8 e R9 apresentaram os melhores resultados.	C80: Com 0% de reflexão, possibilitou que a Área 1 obtivesse todos os valores dentro do recomendado. O receptor R9 apresentou os melhores resultados.	D50: Com 0% de reflexão, possibilitou que a Área 1 obtivesse todos os valores dentro do recomendado. O receptor R9 (Área 2) apresentou os melhores resultados.	STI: 100% Área 1, 2 e 3 - Pobre 0% Área 1 - Boa Área 2 e 3 - resultados variáveis
<b>75% Frente</b>						
<b>75% Meio</b>						
<b>75% Posterior</b>						
<b>Desc.</b>	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.	EDT: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Posterior   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Frente   2º 75% Meio   3º 75% Posterior	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Frente   2º 75% Meio   3º 75% Posterior	D50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Frente   2º 75% Meio   3º 75% Posterior	STI: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Frente   3º 75% Posterior

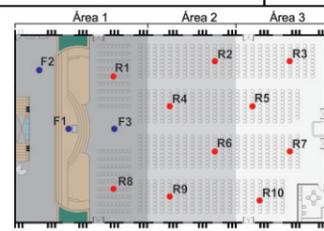
## LEGENDA

A hachura verde indica quais são os intervalos dos valores recomendados para o templo nos gráficos dos parâmetros de TR, C50, C80 e D50.

Para o parâmetro EDT, os valores indicados para fala e música estão indicados no próprio gráfico.

Para o parâmetro STI, a classificação dos valores encontrados segue a figura abaixo:

Parâmetro STI					
Classificação	Ruim	Pobre	Razoável	Bom	Excelente
Intervalos de valores de STI	0,00 - 0,30	0,30 - 0,45	0,45 - 0,60	0,60 - 0,75	0,75 - 1,00



## CONCEITOS

**TR:** tempo necessário para que o nível sonoro na sala decaia 60 dB após o sinal de uma fonte sonora ser interrompido.

**EDT:** tempo necessário para que a energia sonora decaia os primeiros 10dB.

**C50:** razão logarítmica entre a energia sonora das primeiras reflexões, recebida entre o instante 0 (zero) e t.

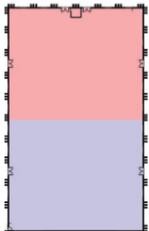
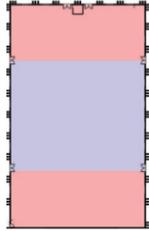
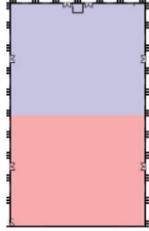
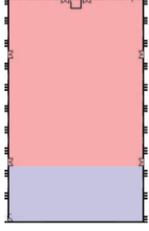
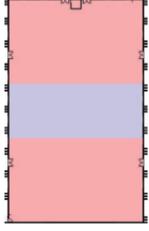
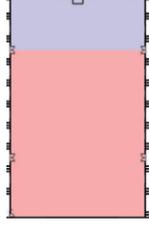
**C80:** razão entre a energia inicial (recebida por um ouvinte até 80 milissegundos a partir de um pulso inicial) e a energia total da reverberação do pulso.

**D50:** razão entre a porção inicial da energia sonora recebida nos primeiros 50ms e a energia total do sinal.

**STI:** medida objetiva para prever a inteligibilidade do discurso transmitido do orador para ouvinte.

Continua...

# FORRO RETO: SISTEMA DE REFORÇO SONORO - Continuação

	TR	EDT	C50	C80	D50	STI						
												
<b>50% Frente</b>												
												
<b>50% Meio</b>												
												
<b>50% Posterior</b>												
<b>Desc.</b>	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.		EDT: Classificação de melhores resultados 1º 50% Meio   2º 50% Posterior   3º 50% Frente		C50: Classificação de melhores resultados 1º 50% Frente   2º 50% Posterior   3º 50% Meio		C50: Classificação de melhores resultados 1º 50% Frente   2º 50% Meio   3º 50% Posterior		D50: Classificação de melhores resultados 1º 50% Frente   2º 50% Posterior   3º 50% Meio		STI: Classificação de melhores resultados 1º 50% Meio   2º 50% Frente   3º 50% Posterior	
												
<b>25% Frente</b>												
												
<b>25% Meio</b>												
												
<b>25% Posterior</b>												
<b>Desc.</b>	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.		EDT: Classificação de melhores resultados 1º 25% Meio   2º 25% Frente   3º 25% Posterior		C50: Classificação de melhores resultados 1º 25% Frente   2º 25% Posterior   3º 25% Meio		C80: Classificação de melhores resultados 1º 25% Frente   2º 25% Posterior   3º 25% Meio		D50: Classificação de melhores resultados 1º 25% Frente   2º 25% Meio   3º 25% Posterior		STI: Classificação de melhores resultados 1º 25% Frente   2º 25% Meio   3º 25% Posterior	

### 5.3.3 Forro Multifacetado

As análises dos parâmetros correspondentes ao templo com Forro Multifacetado, segundo o Sistema de Reforço Sonoro (SRS) são de acordo com a Figura 82.

Foi constatado que as características gerais dos gráficos são semelhantes aos gráficos para o Forro Reto. Deste modo, as informações aqui apresentadas referem-se apenas aos resultados. Segue a análise de cada parâmetro para o Forro Multifacetado.

#### a) Tempo de Reverberação (TR)

Para o FM<sub>100%</sub>TR (SRS) os valores variam de 1,59 a 4,38s. Já para o FM<sub>0%</sub>TR (SRS) a variação ocorre entre 0,97s a 2,09s.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao C50 foi o Meio.

#### b) Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

Para o gráfico FM<sub>100%</sub>EDT (SRS), os valores variam de 1,27s a 7,25s. Enquanto o gráfico o FM<sub>0%</sub>EDT (SRS) apresenta resultados próximo ao recomendado para música nas baixas e médias frequências, nas altas, apresentam valores bem abaixo dessa recomendação, consequentemente se aproximando do valor recomendado para fala. Para este gráfico a variação ocorre entre 0,52s a 2,58s.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao EDT foi a Meio.

#### c) Índice de Clareza da fala (C<sub>50</sub>)

Para o FM<sub>100%</sub>C<sub>50</sub> (SRS) os valores variam de -11,4dB a 3,9dB. Já para o FM<sub>0%</sub>C<sub>50</sub> (SRS) a variação ocorre entre -4,7dB a 9,3dB, neste gráfico, apenas a Área 1 conseguiu obter todos os valores dentro do recomendado pela literatura. Vale destacar que os receptores R8 (Área 1) e R9 (Área 2) foram os que apresentaram melhores resultados em todos os gráficos.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao C<sub>50</sub> foi a Frente.

#### d) Índice de clareza para música (C<sub>80</sub>)

Para o FM<sub>100%</sub>C<sub>80</sub> (SRS) os valores variam de -8,6dB a 4,7dB. Já para o FM<sub>0%</sub>C<sub>80</sub> (SRS) a variação ocorre entre -0,6dB a 11,4dB. Neste último gráfico, pode-se afirmar que as três Áreas possuem todos os valores de acordo com o recomendado para o templo. Os receptores

que apresentaram melhores resultados em todos os gráficos foram os receptores R8 (Área 1) e R9 (Área 2).

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao C80 foi a Frente.

**e) Definição (D<sub>50</sub>)**

Para o gráfico FM<sub>100%</sub>D<sub>50</sub> (SRS) os valores variam de 0,68 a 6,96. Já para o FM<sub>0%</sub>D<sub>50</sub> (SRS) a variação ocorre entre 2,51 a 8,85. Apenas a Área 1 apresentou todos os valores condizentes com o recomendado. Os receptores que apresentaram os melhores resultados em todos os gráficos foram o R8 (Área 1) e R9 (Área 2).

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao D50 foi a Posterior.

**f) Índice de Transmissão da Fala (STI)**

Para o gráfico FM<sub>100%</sub>STI (SRS) os valores variam de 0,30 a 0,39, neste, as Área 1 e 2 apresenta resultados classificados como pobre, enquanto a Áreas 3 apresenta resultados variados. Já para o FM<sub>0%</sub>STI (SRS) a variação ocorre entre 0,52 a 0,66, onde a Área 1 passa a ser classificada como a que apresenta bons resultados e as Áreas 2 e 3 apresentam resultados variados. Os receptores que apresentou melhores resultados foram o R8 (Área 1) e R9 (Área 2).

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao STI foi a Frente.

Figura 82: Resultados dos parâmetros acústicos referentes ao Forro Multifacetado, segundo o sistema de reforço sonoro.

# FORRO MULTIFACETADO: SISTEMA DE REFORÇO SONORO

	TR	EDT	C50	C80	D50	STI
	<b>100%</b> FM <sub>100%</sub> TR (SRS)	FM <sub>100%</sub> EDT (SRS)	FM <sub>100%</sub> C50 (SRS)	FM <sub>100%</sub> C80 (SRS)	FM <sub>100%</sub> D50 (SRS)	FM <sub>100%</sub> STI (SRS)
	<b>0%</b> FM <sub>0%</sub> TR (SRS)	FM <sub>0%</sub> EDT (SRS)	FM <sub>0%</sub> C50 (SRS)	FM <sub>0%</sub> C80 (SRS)	FM <sub>0%</sub> D50 (SRS)	FM <sub>0%</sub> STI (SRS)
<b>Descrição</b>	TR: Quanto maior a absorção, maior alcance dos valores recomendados.	EDT: Quanto maior a absorção, mais próximo dos valores recomendados para música. Nas duas situações os resultados estão distantes do recomendado para fala.	C50: Com 0% de reflexão, possibilitou que a Área 1 obtivesse todos os valores dentro do recomendado. Os receptores R8 e R9 apresentaram os melhores resultados.	C80: Com 0% de reflexão, possibilitou que todas as Áreas (1, 2 e 3) obtivessem todos os valores dentro do recomendado. Os receptores R8 (A1) e R9 (A2) apresentaram os melhores resultados.	D50: Com 0% de reflexão, possibilitou que a Área 1 obtivesse todos os valores dentro do recomendado. Os receptores R8 e R9 apresentaram os melhores resultados.	STI: 100% Área 1 e 2 - Pobre 0% Área 1 - Boa Área 3 - Variável Área 2 e 3 - Variável
	<b>75% Frente</b> FM <sub>75%F</sub> TR (SRS)	FM <sub>75%F</sub> EDT (SRS)	FM <sub>75%F</sub> C50 (SRS)	FM <sub>75%F</sub> C80 (SRS)	FM <sub>75%F</sub> D50 (SRS)	FM <sub>75%F</sub> STI (SRS)
	<b>75% Meio</b> FM <sub>75%M</sub> TR (SRS)	FM <sub>75%M</sub> EDT (SRS)	FM <sub>75%M</sub> C50 (SRS)	FM <sub>75%M</sub> C80 (SRS)	FM <sub>75%M</sub> D50 (SRS)	FM <sub>75%M</sub> STI (SRS)
	<b>75% Posterior</b> FM <sub>75%P</sub> TR (SRS)	FM <sub>75%P</sub> EDT (SRS)	FM <sub>75%P</sub> C50 (SRS)	FM <sub>75%P</sub> C80 (SRS)	FM <sub>75%P</sub> D50 (SRS)	FM <sub>75%P</sub> STI (SRS)
<b>Desc.</b>	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.	EDT: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Posterior   3º 75% Frente	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Frente   2º 75% Posterior   3º 75% Meio	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Frente   3º 75% Posterior	D50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Frente   2º 75% Meio   3º 75% Posterior	STI: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Frente   3º 75% Posterior

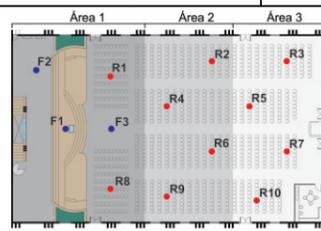
## LEGENDA

A hachura verde indica quais são os intervalos dos valores recomendados para o templo nos gráficos dos parâmetros de TR, C50, C80 e D50.

Para o parâmetro EDT, os valores indicados para fala e música estão indicados no próprio gráfico.

Para o parâmetro STI, a classificação dos valores encontrados segue a figura abaixo:

Parâmetro STI					
Classificação	Ruim	Pobre	Razoável	Bom	Excelente
Intervalos de valores de STI	0,00 - 0,30	0,30 - 0,45	0,45 - 0,60	0,60 - 0,75	0,75 - 1,00



## CONCEITOS

**TR:** tempo necessário para que o nível sonoro na sala decaia 60 dB após o sinal de uma fonte sonora ser interrompido.

**EDT:** tempo necessário para que a energia sonora decaia os primeiros 10dB.

**C50:** razão logarítmica entre a energia sonora das primeiras reflexões, recebida entre o instante 0 (zero) e t.

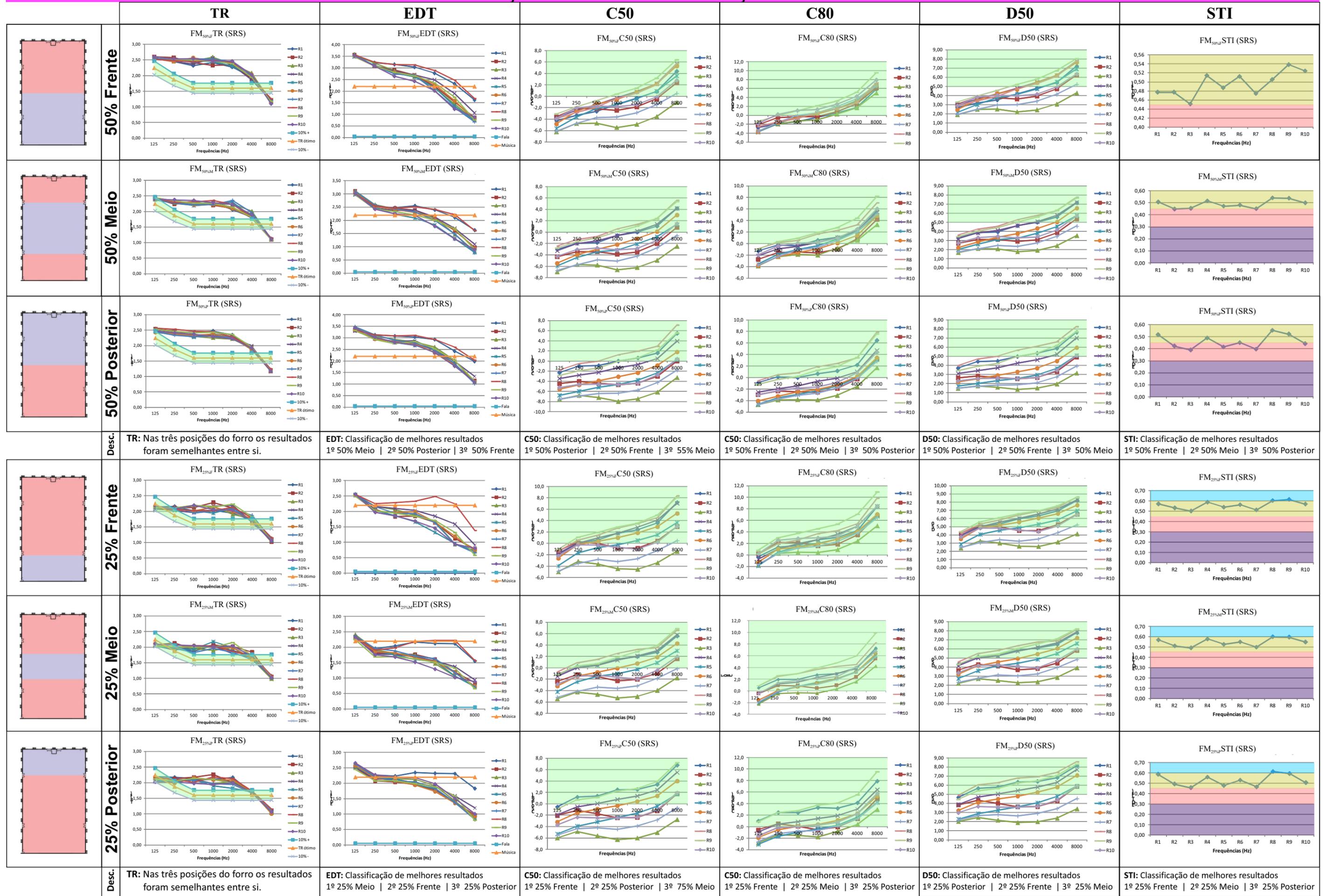
**C80:** razão entre a energia inicial (recebida por um ouvinte até 80 milissegundos a partir de um pulso inicial) e a energia total da reverberação do pulso.

**D50:** razão entre a porção inicial da energia sonora recebida nos primeiros 50ms e a energia total do sinal.

**STI:** medida objetiva para prever a inteligibilidade do discurso transmitido do orador para ouvinte.

Continua...

# FORRO MULTIFACETADO: SISTEMA DE REFORÇO SONORO - Continuação



### 5.3.4 Forro Curvo

As análises dos parâmetros correspondentes ao templo com Forro Curvo, segundo o Sistema de Reforço Sonoro (SRS) são de acordo com a Figura 81. Foi constatado que as características gerais dos gráficos são semelhantes aos gráficos para o Forro Reto. Deste modo, as informações aqui apresentadas referem-se apenas aos resultados. Segue a análise de cada parâmetro para o Forro Curvo.

#### a) Tempo de Reverberação (TR)

Para o  $FC_{100\%}TR$  (SRS) os valores variam de 1,60s a 4,39s. Já para o  $FC_{0\%}TR$  (SRS) a variação ocorre entre 0,99s a 2,02s.

#### b) Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

Para o gráfico  $FC_{100\%}EDT$  (SRS), os valores variam de 1,24s a 7,31s. Enquanto o gráfico o  $FC_{0\%}EDT$  (SRS) apresenta resultados próximo ao recomendado para música nas baixas e médias frequências, diferentemente nas altas, que agora apresentam valores bem abaixo dessa recomendação, conseqüentemente se aproximando do valor recomendado para fala. Para este gráfico a variação ocorre entre 0,44s a 2,46s.

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao EDT foi o Meio.

#### c) Índice de Clareza da fala ( $C_{50}$ )

Para o gráfico  $FC_{100\%}C_{50}$  (SRS) os valores variam de -11,6dB a 4,5dB. Já para o  $FC_{0\%}C_{50}$  (SRS) a variação ocorre entre -4,6dB a 9,1dB, neste gráfico, apenas a Área 1 conseguiu obter todos os valores dentro do recomendado pela literatura. Em todos os gráficos, os receptores que apresentaram melhores resultados foram o R8 (Área 1) e R9 (Área 2).

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao  $C_{50}$  foi a Frente.

#### d) Índice de clareza para música ( $C_{80}$ )

Para o gráfico  $FC_{100\%}C_{80}$  (SRS) os valores variam de -8,7dB a 6,3dB. Já para o  $FC_{0\%}C_{80}$  (SRS) a variação ocorre entre -1,4dB a 11,6dB. Neste último gráfico, as Áreas 1 e 2 possuem todos os valores de acordo com o recomendado para o templo. O receptor que apresentou melhores resultados em todos os gráficos foi o R9 (Área 2).

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao C80 foi a Frente.

**e) Definição (D<sub>50</sub>)**

Para o gráfico FC<sub>100%</sub>D50 (SRS) os valores variam de 0,64 a 7,23. Já para o FC<sub>0%</sub>D50 (SRS) a variação ocorre entre 2,57 a 8,83, neste gráfico, apenas a Área 1 conseguiu obter todos os valores dentro do recomendados pela literatura. Os receptores que apresentaram melhores resultados em todos os gráficos foram o R8 (Área 1) e R9 (Área 2).

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao D50 foi a Frente.

**f) Índice de Transmissão da Fala (STI)**

Para o gráfico FC<sub>100%</sub>STI (SRS) os valores variam de 0,31 a 0,40, neste, as três Áreas apresentam resultados classificados como pobre. Já para o FC<sub>0%</sub>STI (SRS) a variação ocorre entre 0,51 a 0,65, onde a Área 1 passa a ser classificada como a que apresenta bons resultados e as Áreas 2 e 3 apresentam resultados variados.

Os receptores que apresentaram melhores resultados em todos os gráficos foram o R8 (Área 1) e R9 (Área 2).

Nas outras composições do forro (75%, 50% e 25%), a localização que melhor favoreceu ao STI foi a Frente.

Figura 83: Resultados dos parâmetros acústicos referentes ao Forro Curvo, segundo o sistema de reforço sonoro.

# FORRO CURVO: SISTEMA DE REFORÇO SONORO

	TR	EDT	C50	C80	D50	STI
Descrição	TR: Quanto maior a absorção, maior alcance dos valores recomendados.	EDT: Quanto maior a absorção, mais próximo dos valores recomendados para música. Nas duas situações os resultados estão distantes do recomendado para fala.	C50: Com 0% de reflexão, possibilitou que a Área 1 obtivesse todos os valores dentro do recomendado. Os receptores R8 (A1) e R9 (A2) apresentaram os melhores resultados.	C80: Com 0% de reflexão, possibilitou que as Áreas 1 e 2 obtivesse todos os valores dentro do recomendado. O R9 (A2) apresentou os melhores resultados.	D50: Com 0% de reflexão, possibilitou que a Área 1 obtivesse todos os valores dentro do recomendado. Os receptores R8 (A1) e R9 (A2) apresentaram os melhores resultados.	STI: 100% Área 1, 2 e 3 - Pobre 0% Área 1 - Boa Área 2 e 3 - Variável
Desc.	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.	EDT: Classificação de melhores resultados 1º 75% Meio   2º 75% Frente   3º 75% Posterior	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Frente   2º 75% Meio   3º 75% Posterior	C50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Frente   2º 75% Meio   3º 75% Posterior	D50: Classificação de melhores resultados 1º 75% Frente   2º 75% Meio   3º 75% Posterior	STI: Classificação de melhores resultados 1º 75% Frente   2º 75% Meio   3º 75% Posterior

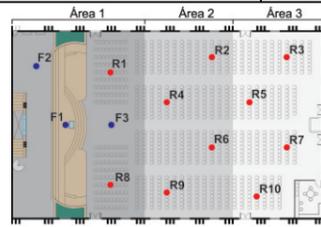
## LEGENDA

A hachura verde indica quais são os intervalos dos valores recomendados para o templo nos gráficos dos parâmetros de TR, C50, C80 e D50.

Para o parâmetro EDT, os valores indicados para fala e música estão indicados no próprio gráfico.

Para o parâmetro STI, a classificação dos valores encontrados segue a figura abaixo:

Classificação	Parâmetro STI			
	Ruim	Pobre	Razoável	Bom
Intervalos de valores de STI	0,00 - 0,30	0,30 - 0,45	0,45 - 0,60	0,60 - 0,75
	0,75 - 1,00			



## CONCEITOS

TR: tempo necessário para que o nível sonoro na sala decaia 60 dB após o sinal de uma fonte sonora ser interrompido.

EDT: tempo necessário para que a energia sonora decaia os primeiros 10dB.

C50: razão logarítmica entre a energia sonora das primeiras reflexões, recebida entre o instante 0 (zero) e t.

C80: razão entre a energia inicial (recebida por um ouvinte até 80 milissegundos a partir de um pulso inicial) e a energia total da reverberação do pulso.

D50: razão entre a porção inicial da energia sonora recebida nos primeiros 50ms e a energia total do sinal.

STI: medida objetiva para prever a inteligibilidade do discurso transmitido do orador para ouvinte.

Continua...

# FORRO CURVO: SISTEMA DE REFORÇO SONORO - Continuação

	TR	EDT	C50	C80	D50	STI						
<b>50% Frente</b>												
<b>50% Meio</b>												
<b>50% Posterior</b>												
<b>Desc.</b>	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.		EDT: Classificação de melhores resultados 1º 50% Meio   2º 50% Posterior   3º 50% Frente		C50: Classificação de melhores resultados 1º 50% Frente   2º 50% Posterior   3º 75% Meio		C50: Classificação de melhores resultados 1º 50% Frente   2º 50% Meio   3º 50% Posterior		D50: Classificação de melhores resultados 1º 50% Frente   2º 50% Posterior   3º 50% Meio		STI: Classificação de melhores resultados 1º 50% Frente   2º 50% Meio   3º 50% Posterior	
<b>25% Frente</b>												
<b>25% Meio</b>												
<b>25% Posterior</b>												
<b>Desc.</b>	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.		EDT: Classificação de melhores resultados 1º 50% Meio   2º 50% Posterior   3º 50% Frente		C50: Classificação de melhores resultados 1º 25% Frente   2º 25% Meio   3º 25% Posterior		C50: Classificação de melhores resultados 1º 25% Frente   2º 25% Meio   3º 25% Posterior		D50: Classificação de melhores resultados 1º 25% Frente   2º 75% Meio   3º 75% Posterior		STI: Classificação de melhores resultados 1º 25% Frente   2º 25% Meio   3º 75% Posterior	

### 5.3.5 Comparativos entre os três forros

Para análise comparativa fez-se a média dos valores dos receptores para cada tipo de forro. A Figura 82 mostra a organização dos gráficos gerados para cada parâmetro, e nestes, a comparação dos resultados dos três tipos de forro. Numa análise geral já é possível perceber que na maioria dos gráficos não houve variações significativas entre os resultados dos forros, apenas em algumas exceções que estão descritas no decorrer das análises.

Assim como foi observado nas análises individuais (por forro), também que com a diminuição da superfície reflexiva, os valores tendem a se aproximar, e em alguns casos, alcançar os valores recomendados para o templo, em todos os parâmetros. Ou seja, os forros que apresentam piores resultados são os que têm 100% de superfície reflexiva, enquanto o que apresenta melhores resultados são os que possuem 0% de superfície reflexiva. As variações dos resultados entre forros foram bem singelas, mas foi possível eleger os melhores forros em cada parâmetro.

Segue a análise comparativa dos forros, em de cada parâmetro.

#### a) Tempo de Reverberação (TR)

Os forros com 100% só atingem os valores recomendados para o templo na frequência de 8 kHz. Já com 0%, os resultados atendem ao recomendado nas frequências 250 Hz e 4 kHz, nas outras, os resultados ficaram muito próximos do recomendado para o templo.

#### b) Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

Nas duas situações, 100% e 0%, os resultados estão acima do recomendado para a fala (0,05s). Em relação ao valor recomendado para música (2,2s) observa-se que os forros com 100% apresentam valores muito acima, nas baixas e médias frequências, e apenas na frequência de 8 kHz, os valores estão logo abaixo. Enquanto os forros com 0% apresentam resultados próximo ao recomendado para música nas baixas e médias frequências, diferentemente nas altas, que agora apresentam valores bem abaixo dessa recomendação, conseqüentemente se aproximando do valor recomendado para fala.

Para este parâmetro foi possível perceber uma leve diferença nos resultados entre forros. Nos gráficos  $3F_{75\%M}EDT$  (SRS),  $3F_{50\%M}EDT$  (SRS),  $3F_{25\%F}EDT$  (SRS) e  $3F_{25\%M}EDT$  (SRS) os resultados para o forro inclinado ficaram um pouco abaixo em relação aos outros forros. No gráfico  $3F_{25\%P}EDT$  os resultados para o forro reto ficaram um pouco acima em relação aos outros dois forros.

Mesmo apresentando singelas variações, o forro que apresentou melhores resultados no parâmetro EDT foi o Multifacetado.

**c) Clareza para fala (C50)**

Os forros com 100% só possuem valores de acordo com o recomendado para o parâmetro de C50 na frequência de 8 kHz. Já nos forros com 0% foi possível perceber que na frequência de 125 Hz nenhum dos forros atende ao recomendado. Enquanto nas outras frequências, os três forros apresentam valores que atendem ao recomendado.

Os três forros apresentaram comportamento semelhante no parâmetro C50.

**d) Clareza para música (C80)**

Os forros com 100% só possuem valores de acordo com o recomendado para o parâmetro de C80 na frequência de 8 kHz. Já com 0%, os três forros atenderam ao parâmetro em todas as frequências.

Mesmo apresentando singelas variações, os melhores resultados no parâmetro C80 foi encontrado nos forros Multifacetado e o Curvo.

**e) Definição (D50)**

Os forros com 100% atenderam aos valores recomendado para o parâmetro D50 na frequência de 8kHz. Já os forros com 0%, apenas os valores referentes à frequência 125Hz não possuem valores dentro do que é recomendado para o templo.

Mesmo apresentando singelas variações, o forro que apresentou melhores resultados no parâmetro D50 foi o Multifacetado.

**f) Índice de Transmissão da Fala (STI)**

Os forros com 100% estão com a inteligibilidade classificada como pobre. Já os forros com 0% essa classificação sobe para razoável.

Mesmo apresentando singelas variações, os melhores resultados no parâmetro C80 foi encontrado nos forros Multifacetado e o Curvo.

Figura 82: Resultados dos parâmetros acústicos referentes à análise comparativa entre os três forros, segundo o sistema de reforço sonoro.

# ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS TRÊS FORROS: SISTEMA DE REFORÇO SONORO

	TR	EDT	C50	C80	D50	STI
<b>100%</b>						
<b>0%</b>						
<b>Descrição</b>	TR: Quanto maior a absorção, maior alcance dos valores recomendados.	EDT: Quanto maior a absorção, mais próximo dos valores recomendados para música. Com 0%, os valores em todas as frequências ficaram abaixo do recomendado para música.	C50: Com 100% de reflexão os três forros atendem ao recomendado na frequência de 8kHz. Já, com 0% de reflexão, os três forros atendem ao recomendado da frequência de 250Hz a 8kHz.	C80: Com 100% de reflexão os três forros atendem ao recomendado na frequência de 8kHz. Com 0% de reflexão, possibilitou que os três forros obtivesse todos os valores dentro do recomendado.	D50: Com 0% de reflexão, possibilitou que os três forros obtivesse todos os valores dentro do recomendado nas médias e altas frequências.	STI: 100% Três forros: Pobre 0% Três forros: Razoável
<b>75% Frente</b>						
<b>75% Meio</b>						
<b>75% Posterior</b>						
<b>Desc.</b>	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.	EDT: Melhores resultados entre os forros 75%F: FM   75%M: FM   75%P: FM	C50: Melhores resultados entre os forros 75%F: FR, FM, FC   75%M: FM   75%P: FM	C80: Melhores resultados entre os forros 75%F: FR, FM, FC   75%M: FM   75%P: FR, FM, FC	D50: Melhores resultados entre os forros 75%F: FR, FM, FC   75%M: FM   75%P: FR, FM, FC	STI: Melhores resultados entre os forros 75%F: FR, FM, FC   75%M: FR, FM, FC   75%P: FC

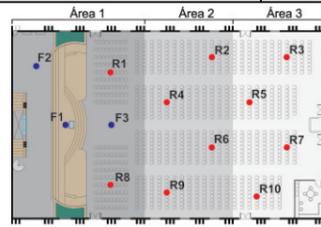
## LEGENDA

A hachura verde indica quais são os intervalos dos valores recomendados para o templo nos gráficos dos parâmetros de TR, C50, C80 e D50.

Para o parâmetro EDT, os valores indicados para fala e música estão indicados no próprio gráfico.

Para o parâmetro STI, a classificação dos valores encontrados segue a figura abaixo:

Classificação	Parâmetro STI				
	Ruim	Pobre	Razoável	Bom	Excelente
Intervalos de valores de STI	0,00 - 0,30	0,30 - 0,45	0,45 - 0,60	0,60 - 0,75	0,75 - 1,00



## CONCEITOS

**TR:** tempo necessário para que o nível sonoro na sala decaia 60 dB após o sinal de uma fonte sonora ser interrompido.

**EDT:** tempo necessário para que a energia sonora decaia os primeiros 10dB.

**C50:** razão logarítmica entre a energia sonora das primeiras reflexões, recebida entre o instante 0 (zero) e t.

**C80:** razão entre a energia inicial (recebida por um ouvinte até 80 milissegundos a partir de um pulso inicial) e a energia total da reverberação do pulso.

**D50:** razão entre a porção inicial da energia sonora recebida nos primeiros 50ms e a energia total do sinal.

**STI:** medida objetiva para prever a inteligibilidade do discurso transmitido do orador para ouvinte.

Continua...

# ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS TRÊS FORROS: SISTEMA DE REFORÇO SONORO - Continuação

	TR	EDT	C50	C80	D50	STI
	<b>50% Frente</b>					
	<b>50% Meio</b>					
	<b>50% Posterior</b>					
Desc.	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.	EDT: Melhores resultados entre os forros 50%F: FM, FC   50%M: FM   50%P: FC	C50: Melhores resultados entre os forros 50%F: FM   50%M: FM   50%P: FM	C80: Melhores resultados entre os forros 50%F: FC   50%M: FM   50%P: FR	D50: Melhores resultados entre os forros 50%F: FM   50%M: FM   50%P: FC	STI: Melhores resultados entre os forros 50%F: FM, FC   50%M: FM   50%P: FR, FM, FC
	<b>25% Frente</b>					
	<b>25% Meio</b>					
	<b>25% Posterior</b>					
Desc.	TR: Nas três posições do forro os resultados foram semelhantes entre si.	EDT: Melhores resultados entre os forros 25%F: FM   25%M: FM   25%P: FM	C50: Melhores resultados entre os forros 25%F: FR, FM, FC   25%M: FM   25%P: FC	C80: Melhores resultados entre os forros 25%F: FM   25%M: FM   25%P: FC	D50: Melhores resultados entre os forros 25%F: FR, FM, FC   25%M: FM   25%P: FM, FC	STI: Melhores resultados entre os forros 25%F: FM, FC   25%M: FM   25%P: FM, FC

## 6. CONCLUSÕES

A presente dissertação avaliou a interferência do forro como elemento para melhoria da qualidade acústica de um templo evangélico localizado no município de São Miguel dos Campos – AL. Os templos evangélicos caracterizam-se como espaços múltiplos, ou seja, espaços onde é executada tanto a palavra falada, quanto a música. Atuações distintas, que apresentam requisitos com exigências acústicas diferentes, entretanto, com graus de importância semelhantes.

A palavra falada precisou ter prioridades nas análises, visto que o ambiente destinado á fala pode ter maior probabilidade em ser utilizado também para a música. Já o contrário pode ser mais difícil, pois a reverberância que dá vivacidade à música pode ser prejudicial à fala. As simulações computacionais foram imprescindíveis, pois permitiu a obtenção dos resultados relacionados parâmetros acústicos analisados nas diversas tipologias de forro e nas duas situações, de acordo com a ISO 3382-1 e de acordo com o Sistema de Reforço Sonoro (SRS).

Observou-se que com a diminuição da área da superfície reflexiva nos forros, houve uma grande mudança nos resultados, e estes, tenderam a se aproximar do que é recomendado para o templo, em todos os parâmetros. Assim, os Forros 100% reflexivos apresentaram os piores resultados, enquanto os Forros 0% reflexivo, os melhores. O material do forro corresponde a variável de maior influência na qualidade acústica do templo, visto que a diminuição da superfície reflexiva implicou em grandes melhorias dos parâmetros acústicos.

Em se tratando da localização dos forros percebe-se que nas simulações de acordo com a ISO 3382-1, a medida que o forro se deslocou para o final do templo os resultados tenderam a se aproximar, e em alguns casos alcançar os valores recomendados nos parâmetros C50, C80 e D50. Para os parâmetros EDT e STI, a localização central de forro reflexivo apresentou os melhores resultados.

Para as simulações de acordo com o SRS a localização do forro reflexivo na frente proporcionou os melhores resultados para os forros Reto e Curvo, nos parâmetros C50, C80, D50 e STI. Já para o parâmetro EDT localizando o forro reflexivo no meio proporcionou melhores resultados. O forro Multifacetado, segundo o SRS, apresentou resultados variados para os parâmetros C50, C80 e D50. Para o parâmetro EDT, a localização central de forro reflexivo apresentou os melhores resultados. E o parâmetro STI, apresentou melhores resultados com o forro reflexivo localizado na frente.

As análises comparativas, entre os três tipos de forro, levaram a constatar que as diferentes formas alteram de forma sutil os resultados dos parâmetros acústicos. Mesmo

apresentando singelas variações, foi possível eleger o forro Multifacetado como o que apresentou melhores resultados.

Com relação ao Tempo de Reverberação (TR), conclui-se que o templo sem o forro se apresenta reflexivo levando a apresentar tempos de reverberação mais altos do que o recomendado, principalmente nas baixas e médias frequências. Com a aplicação do forro com 0% de superfície reflexiva os resultados atendem ao recomendado nas frequências 250 Hz e 4 kHz, nas outras, os resultados ficaram muito próximos do recomendado para o templo. Nesse parâmetro não houve diferenças significativas com relação ao recomendado pela ISO 3382-1 e de acordo com o SRS.

No parâmetro EDT, para o templo sem forro, é possível perceber que a maioria dos resultados se aproxima do valor recomendado para música (2,2s), principalmente nas baixas e médias frequências. Nas duas situações, 100% e 0%, os resultados estão acima do recomendado para a fala (0,05s). Em relação ao valor recomendado para música (2,2s) observa-se que os forros com 100% apresentam valores muito acima, nas baixas e médias frequências. Apenas na frequência de 8 kHz que os valores estão abaixo. Enquanto os forros com 0% apresentam resultados abaixo, porém ainda próximo ao recomendado para música nas baixas e médias frequências, diferentemente nas altas, que agora apresentam valores bem abaixo dessa recomendação, conseqüentemente se aproximando do valor recomendado para fala. Nesse parâmetro não houve diferenças significativas com relação ao recomendado pela ISO 3382-1 e de acordo com o SRS.

No parâmetro Clareza para fala (C50), o templo sem o forro apresenta deficiências principalmente nas baixas frequências. As análises mostraram que os resultados segundo o SRS apresentaram melhores resultados, em comparação às análises segundo a ISO 3382-1. Nenhuma das três áreas analisadas atende ao recomendado para esse parâmetro. Os forros com 100% não possuem valores de acordo com o recomendado para o parâmetro C50 para as simulações de acordo com ISO 3382-1. Já para as simulações de acordo com o SRS, na frequência de 8kHz passa a apresentar valores de acordo com o recomendado. Para os forros com 0%, apenas na frequência de 125 Hz os valores não atende ao recomendado. Nas outras frequências (médias e altas), os resultados do parâmetro dos forros estão de acordo com o recomendado para o templo.

Com relação ao parâmetro Clareza para música (C80) para o templo sem forro, apenas na frequência de 125Hz os resultados não condizem com o recomendado para o templo. As análises mostraram que os resultados segundo o SRS apresentaram melhores resultados, em comparação às análises segundo a ISO 3382-1, para o templo sem forro. A alta reverberância do templo sem o forro, detectada na análise do TR, explica o bom desempenho para o parâmetro

C80. Os forros com 100% só possuem valores de acordo com o recomendado para o parâmetro de C80 na frequência de 8 kHz. Já os forros com 0% atenderam ao parâmetro em todas as frequências. Os resultados foram semelhantes nas duas situações (ISO 3382-1 e SRS), para o templo com forro.

A análise do parâmetro Definição para o templo sem forro leva a concluir que para as simulações de acordo com a ISO 3382-1, esse parâmetro atende ao recomendado nas altas frequências. Já para as simulações de acordo com o SRS, os resultados atendem tanto nas altas, como nas médias frequências. Os forros com 100% não atenderam aos valores recomendado para o parâmetro D50, nas simulações de acordo com a ISO 3382-1. Porém nas simulações de acordo com o SRS os forros atenderam na frequência de 8kHz. Já os forros com 0%, apenas as altas frequências possuem valores dentro do que é recomendado para o templo, nas simulações de acordo com a ISO 3382-1. Para os mesmos forros simulados de acordo com o SRS o parâmetro D50 passa a atender ao recomendado também nas médias frequências. Essas informações traduz a grande falta de definição encontrada no templo nas baixas frequências, mesmo após a aplicação do forro.

Para os valores de parâmetro Índice de Transmissão da Fala (STI), pode-se concluir que a inteligibilidade do templo sem o forro pode ser classificada razoável. O templo com o forro com 100% apresentou uma inteligibilidade ruim para as simulações de acordo com a ISO 3382-1 e inteligibilidade pobre de acordo com SRS. Já os forros com 0% essa classificação passa a ser razoável, nas duas formas de simulação.

Com relação às áreas analisadas, pode-se concluir que a que apresentou melhores resultados para as simulações de acordo com a ISO 3382-1 foi a Área 1. Isso pode ser explicado porque os receptores nesta área se encontram mais próximos das fontes viabilizando melhores resultados na maioria dos parâmetros analisados. Já nas simulações de acordo com o SRS percebe-se que como as fontes estão distribuídas no templo, não houve uma área com melhores resultados, porém houve dois receptores que se destacaram com melhor desempenho, estes foram o R8 (Área 1) e R9 (Área 2).

De acordo com os resultados encontrados pode-se constatar que a interferência do forro na qualidade acústica do templo é positiva desde que este seja composto pelo material adequado, localização correta e quantidade necessária para atendimento aos parâmetros acústicos do templo.

## REFERÊNCIAS

AHNERT, Wolfgang. **Manual do software EASE 4.3**. Renkuz Heinz, USA, 2004.

ANDO, Y. **Architectural Acoustics**. Nova Iorque: Springer Verlag (1998).

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152: Acústica – Níveis de ruído para conforto acústico**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12179: Tratamento Acústico em recintos fechados**. Rio de Janeiro, 1992

BARBO, Marselle N. **Avaliação acústica de um templo católico de grandes dimensões submetivo à excitação impulsiva**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria: 2009.

BARRON, M. **Auditorium Acoustics and Architectural Design**. E & FN SPON, 1998.

BERANEK, L. **Concert and opera halls: how they sound**. EUA: Acoustical Society of America, 1996.

BERNTSON, A.; ANDERSSON, J. Investigations of stage acoustics for a symphony orchestra. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROOM ACOUSTICS - SATELLITE SYMPOSIUM OF THE 19TH INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS, 2007, Seville. *Anais...* Seville: [s.n.], 2007.

BISTAFA, Sylvio R. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. Edgard Blucher. 2ª Edição. São Paulo, 2011.

BRADLEY, J.S. Acoustical Design of Rooms for Speech. **Construction Technology Update**, n. 51, 2002. Disponível em: < [http://www.nrc-cnrc.gc.ca/ctu-sc/ctu\\_sc\\_n51](http://www.nrc-cnrc.gc.ca/ctu-sc/ctu_sc_n51)> Acesso em: 30 mai. 2014.

BRADLEY, J.S. et al. A just noticeable difference in C50 for speech. **Applied Acoustics**, v. 58, p. 99–108, 1999. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-682X\(98\)00075-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-682X(98)00075-9) > Acesso em: 25 fev. 2014.

CARRION, Antoni. **Diseño acústico de espacios arquitectónicos**. Edicions UPC, 1998.

CARVALHO, Antonio P. O. NASCIMENTO, Bruno F. O. **A acústica das capelas subterrâneas da nova Igreja da Santíssima Trindade**, Fátima. 41º Congresso Nacional de Acústica, León, 2010.

CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica Arquitetônica**. 2 ed. Brasília: Thesaurus, 2010.

CAVANAUGH, William J.; WILKES, Joseph A. **Architectural acoustics: principles and practice**. New York, John Wiley & Sons, 1999.

CUNHA, Iara B. **A influência dos sistemas de reforço sonoro na qualidade acústica de igrejas católicas**. Campinas, 2014. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

CUNHA, Iara B.; BERTOLI, Stelamaris R. **Sistema de reforço sonoro e a inteligibilidade da fala em um auditório universitário**. In: XXV Encontro Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC 2014. Campinas, São Paulo. 2014. CD ROM.

EGAN, M. David. **Architectural Acoustics**. New York: McGraw Hill, 1988.

EGAN, M. David. **Concepts in architectural acoustics**. New York: McGraw-Hill, 1972.

FASOLD, W.; VERES, E. **Schallschutz + Raumakustik in der Praxis**. Berlin: Verlag für Bauwesen, 1998.

FUJIMOTO, A. K. **Estudo da qualidade acústica de salas residenciais para uso de sistema de áudio e vídeo.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – UFSC, 2004.

GADE, A. C. **Acoustics for Symphony Orchestras; Status After Three Decades of Experimental Research.** *Building Acoustics*, v. 18, n. 3, p. 181–206, 1 dez. 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 3382-1. Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 1: Performance Spaces. Geneva, 2009.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60268-16 Sound System Equipment –Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. Brussels, 2011.

JONES, Douglas R., **Sound of Worship: A Handbook of Acoustics and Sound System Design for the Church.** Reino Unido: Focal Press. 2011, 307p.

KLEINER, Mendel. **Acoustics and audio technology.** 3ª Edição, 2012.

LONG, Marshall. **Architectural acoustics.** Elsevier, 2005.

LUZ, Thyago de Souza Marques. **Proposta de adequação acústica do projeto arquitetônico do novo templo da igreja ElShamah.** Trabalho Final de Graduação. UFAL, 2010.

MAKRINENKO, L., I., translated by Mrs. R. S. Ratner (1994) **Acoustics of Auditoriums in Public Buildings,** Woodbury, EUA.

MARSHALL, L. G. Acoustical Design: Places for Listening. In: CAVANAUGH, William J. TOCCI, Gregory C. WILKES, Joseph A. (editors) **Architectural acoustics: principles and practice.** New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2010.

MEHTA, Madan; JOHNSON, Jim; ROCAFORT, Jorge. **Architectural acoustics: principles and design.** New Jersey: Prentice-Hall, Inc, 1999. 445p.

NEPOMUCENO, L. X. **Acústica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.

NICOLAS, P. A., **O Segredo das Catedrais**, 1.2d. TRION, 2001.

SANT'ANA, David Queiroz de. **Avaliação Acústica de edifícios Religiosos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná. Curitiba: 2008.

SILVA, Pérides. **Acústica Arquitetônica e condicionamento de Ar**. 6ª ed. Belo Horizonte: EDTAL – Empresa Termo Acústica LTDA, 2011.

SILVA, Telma Eduarda Lopes da. **Guião da Acústica de Igrejas em Portugal**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia. Portugal: 2008.

OLIVEIRA, J. R. de. **Qualidade acústica em igrejas: relação entre o tratamento acústico e a eletroacústica**. Trabalho Final de Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2013.

VALLE, S. do. **Manual prático de acústica**. 3 ed. Rio de Janeiro: Música & Tecnologia, 2009. 404p.

VORLÄNDER, Michael. **Acústica Virtual – Tecnologia e Aplicações**. In: XXV Encontro Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC 2014. Campinas, São Paulo. 2014. CD ROM.

**APÊNDICES**

**APÊNDICE A:** Matriz com nomenclatura dos modelos simulados de acordo com a ISO 3382-

1.

Forma	Material	Parâmetros					
		TR	EDT	C50	C80	D50	STI
Sem forro	-	SFTR	SFEDT	SFC50	SFC80	SFD50	SFSTI
Forro Reto	100%	FR <sub>100%</sub> TR	FR <sub>100%</sub> EDT	FR <sub>100%</sub> C50	FR <sub>100%</sub> C80	FR <sub>100%</sub> D50	FR <sub>100%</sub> STI
	75% Frente	FR <sub>75%F</sub> TR	FR <sub>75%F</sub> EDT	FR <sub>75%F</sub> C50	FR <sub>75%F</sub> C80	FR <sub>75%F</sub> D50	FR <sub>75%F</sub> STI
	75% Meio	FR <sub>75%M</sub> TR	FR <sub>75%M</sub> EDT	FR <sub>75%M</sub> C50	FR <sub>75%M</sub> C80	FR <sub>75%M</sub> D50	FR <sub>75%M</sub> STI
	75% Posterior	FR <sub>75%P</sub> TR	FR <sub>75%P</sub> EDT	FR <sub>75%P</sub> C50	FR <sub>75%P</sub> C80	FR <sub>75%P</sub> D50	FR <sub>75%P</sub> STI
	50% Frente	FR <sub>50%F</sub> TR	FR <sub>50%F</sub> EDT	FR <sub>50%F</sub> C50	FR <sub>50%F</sub> C80	FR <sub>50%F</sub> D50	FR <sub>50%F</sub> STI
	50% Meio	FR <sub>50%M</sub> TR	FR <sub>50%M</sub> EDT	FR <sub>50%M</sub> C50	FR <sub>50%M</sub> C80	FR <sub>50%M</sub> D50	FR <sub>50%M</sub> STI
	50% Posterior	FR <sub>50%P</sub> TR	FR <sub>50%P</sub> EDT	FR <sub>50%P</sub> C50	FR <sub>50%P</sub> C80	FR <sub>50%P</sub> D50	FR <sub>50%P</sub> STI
	25% Frente	FR <sub>25%F</sub> TR	FR <sub>25%F</sub> EDT	FR <sub>25%F</sub> C50	FR <sub>25%F</sub> C80	FR <sub>25%F</sub> D50	FR <sub>25%F</sub> STI
	25% Meio	FR <sub>25%M</sub> TR	FR <sub>25%M</sub> EDT	FR <sub>25%M</sub> C50	FR <sub>25%M</sub> C80	FR <sub>25%M</sub> D50	FR <sub>25%M</sub> STI
	25% Posterior	FR <sub>25%P</sub> TR	FR <sub>25%P</sub> EDT	FR <sub>25%P</sub> C50	FR <sub>25%P</sub> C80	FR <sub>25%P</sub> D50	FR <sub>25%P</sub> STI
	0%	FR <sub>0%</sub> TR	FR <sub>0%</sub> EDT	FR <sub>0%</sub> C50	FR <sub>0%</sub> C80	FR <sub>0%</sub> D50	FR <sub>0%</sub> STI
Forro Multifacetado	100%	FM <sub>100%</sub> TR	FM <sub>100%</sub> EDT	FM <sub>100%</sub> C50	FM <sub>100%</sub> C80	FM <sub>100%</sub> D50	FM <sub>100%</sub> STI
	75% Frente	FM <sub>75%F</sub> TR	FM <sub>75%F</sub> EDT	FM <sub>75%F</sub> C50	FM <sub>75%F</sub> C80	FM <sub>75%F</sub> D50	FM <sub>75%F</sub> STI
	75% Meio	FM <sub>75%M</sub> TR	FM <sub>75%M</sub> EDT	FM <sub>75%M</sub> C50	FM <sub>75%M</sub> C80	FM <sub>75%M</sub> D50	FM <sub>75%M</sub> STI
	75% Posterior	FM <sub>75%P</sub> TR	FM <sub>75%P</sub> EDT	FM <sub>75%P</sub> C50	FM <sub>75%P</sub> C80	FM <sub>75%P</sub> D50	FM <sub>75%P</sub> STI
	50% Frente	FM <sub>50%F</sub> TR	FM <sub>50%F</sub> EDT	FM <sub>50%F</sub> C50	FM <sub>50%F</sub> C80	FM <sub>50%F</sub> D50	FM <sub>50%F</sub> STI
	50% Meio	FM <sub>50%M</sub> TR	FM <sub>50%M</sub> EDT	FM <sub>50%M</sub> C50	FM <sub>50%M</sub> C80	FM <sub>50%M</sub> D50	FM <sub>50%M</sub> STI
	50% Posterior	FM <sub>50%P</sub> TR	FM <sub>50%P</sub> EDT	FM <sub>50%P</sub> C50	FM <sub>50%P</sub> C80	FM <sub>50%P</sub> D50	FM <sub>50%P</sub> STI
	25% Frente	FM <sub>25%F</sub> TR	FM <sub>25%F</sub> EDT	FM <sub>25%F</sub> C50	FM <sub>25%F</sub> C80	FM <sub>25%F</sub> D50	FM <sub>25%F</sub> STI
	25% Meio	FM <sub>25%M</sub> TR	FM <sub>25%M</sub> EDT	FM <sub>25%M</sub> C50	FM <sub>25%M</sub> C80	FM <sub>25%M</sub> D50	FM <sub>25%M</sub> STI
	25% Posterior	FM <sub>25%P</sub> TR	FM <sub>25%P</sub> EDT	FM <sub>25%P</sub> C50	FM <sub>25%P</sub> C80	FM <sub>25%P</sub> D50	FM <sub>25%P</sub> STI
0%	FM <sub>0%</sub> TR	FM <sub>0%</sub> EDT	FM <sub>0%</sub> C50	FM <sub>0%</sub> C80	FM <sub>0%</sub> D50	FM <sub>0%</sub> STI	
	100%	FC <sub>100%</sub> TR	FC <sub>100%</sub> EDT	FC <sub>100%</sub> C50	FC <sub>100%</sub> C80	FC <sub>100%</sub> D50	FC <sub>100%</sub> STI
	75% Frente	FC <sub>75%F</sub> TR	FC <sub>75%F</sub> EDT	FC <sub>75%F</sub> C50	FC <sub>75%F</sub> C80	FC <sub>75%F</sub> D50	FC <sub>75%F</sub> STI

Forro Curvo	75% Meio	FC <sub>75%M</sub> TR	FC <sub>75%M</sub> EDT	FC <sub>75%M</sub> C50	FC <sub>75%M</sub> C80	FC <sub>75%M</sub> D50	FC <sub>75%M</sub> STI
	75% Posterior	FC <sub>75%P</sub> TR	FC <sub>75%P</sub> EDT	FC <sub>75%P</sub> C50	FC <sub>75%P</sub> C80	FC <sub>75%P</sub> D50	FC <sub>75%P</sub> STI
	50% Frente	FC <sub>50%F</sub> TR	FC <sub>50%F</sub> EDT	FC <sub>50%F</sub> C50	FC <sub>50%F</sub> C80	FC <sub>50%F</sub> D50	FC <sub>50%F</sub> STI
	50% Meio	FC <sub>50%M</sub> TR	FC <sub>50%M</sub> EDT	FC <sub>50%M</sub> C50	FC <sub>50%M</sub> C80	FC <sub>50%M</sub> D50	FC <sub>50%M</sub> STI
	50% Posterior	FC <sub>50%P</sub> TR	FC <sub>50%P</sub> EDT	FC <sub>50%P</sub> C50	FC <sub>50%P</sub> C80	FC <sub>50%P</sub> D50	FC <sub>50%P</sub> STI
	25% Frente	FC <sub>25%F</sub> TR	FC <sub>25%F</sub> EDT	FC <sub>25%F</sub> C50	FC <sub>25%F</sub> C80	FC <sub>25%F</sub> D50	FC <sub>25%F</sub> STI
	25% Meio	FC <sub>25%M</sub> TR	FC <sub>25%M</sub> EDT	FC <sub>25%M</sub> C50	FC <sub>25%M</sub> C80	FC <sub>25%M</sub> D50	FC <sub>25%M</sub> STI
	25% Posterior	FC <sub>25%P</sub> TR	FC <sub>25%P</sub> EDT	FC <sub>25%P</sub> C50	FC <sub>25%P</sub> C80	FC <sub>25%P</sub> D50	FC <sub>25%P</sub> STI
	0%	FC <sub>0%</sub> TR	FC <sub>0%</sub> EDT	FC <sub>0%</sub> C50	FC <sub>0%</sub> C80	FC <sub>0%</sub> D50	FC <sub>0%</sub> STI

**APÊNDICE B:** Matriz com nomenclatura dos modelos simulados de acordo com o sistema de reforço sonoro.

Forma	Material	Parâmetros					
		TR	EDT	C50	C80	D50	STI
Sem forro	-	SFTR (SRS)	SFEDT (SRS)	SFC50 (SRS)	SFC80 (SRS)	SFD50 (SRS)	SFSTI (SRS)
Forro Reto	100%	FR <sub>100%</sub> TR (SRS)	FR <sub>100%</sub> EDT (SRS)	FR <sub>100%</sub> C50 (SRS)	FR <sub>100%</sub> C80 (SRS)	FR <sub>100%</sub> D50 (SRS)	FR <sub>100%</sub> STI (SRS)
	75% Frente	FR <sub>75%F</sub> TR (SRS)	FR <sub>75%F</sub> EDT (SRS)	FR <sub>75%F</sub> C50 (SRS)	FR <sub>75%F</sub> C80 (SRS)	FR <sub>75%F</sub> D50 (SRS)	FR <sub>75%F</sub> STI (SRS)
	75% Meio	FR <sub>75%M</sub> TR (SRS)	FR <sub>75%M</sub> EDT (SRS)	FR <sub>75%M</sub> C50 (SRS)	FR <sub>75%M</sub> C80 (SRS)	FR <sub>75%M</sub> D50 (SRS)	FR <sub>75%M</sub> STI (SRS)
	75% Posterior	FR <sub>75%P</sub> TR (SRS)	FR <sub>75%P</sub> EDT (SRS)	FR <sub>75%P</sub> C50 (SRS)	FR <sub>75%P</sub> C80 (SRS)	FR <sub>75%P</sub> D50 (SRS)	FR <sub>75%P</sub> STI (SRS)
	50% Frente	FR <sub>50%F</sub> TR (SRS)	FR <sub>50%F</sub> EDT (SRS)	FR <sub>50%F</sub> C50 (SRS)	FR <sub>50%F</sub> C80 (SRS)	FR <sub>50%F</sub> D50 (SRS)	FR <sub>50%F</sub> STI (SRS)
	50% Meio	FR <sub>50%M</sub> TR (SRS)	FR <sub>50%M</sub> EDT (SRS)	FR <sub>50%M</sub> C50 (SRS)	FR <sub>50%M</sub> C80 (SRS)	FR <sub>50%M</sub> D50 (SRS)	FR <sub>50%M</sub> STI (SRS)
	50% Posterior	FR <sub>50%P</sub> TR (SRS)	FR <sub>50%P</sub> EDT (SRS)	FR <sub>50%P</sub> C50 (SRS)	FR <sub>50%P</sub> C80 (SRS)	FR <sub>50%P</sub> D50 (SRS)	FR <sub>50%P</sub> STI (SRS)
	25% Frente	FR <sub>25%F</sub> TR (SRS)	FR <sub>25%F</sub> EDT (SRS)	FR <sub>25%F</sub> C50 (SRS)	FR <sub>25%F</sub> C80 (SRS)	FR <sub>25%F</sub> D50 (SRS)	FR <sub>25%F</sub> STI (SRS)
	25% Meio	FR <sub>25%M</sub> TR (SRS)	FR <sub>25%M</sub> EDT (SRS)	FR <sub>25%M</sub> C50 (SRS)	FR <sub>25%M</sub> C80 (SRS)	FR <sub>25%M</sub> D50 (SRS)	FR <sub>25%M</sub> STI (SRS)
	25% Posterior	FR <sub>25%P</sub> TR (SRS)	FR <sub>25%P</sub> EDT (SRS)	FR <sub>25%P</sub> C50 (SRS)	FR <sub>25%P</sub> C80 (SRS)	FR <sub>25%P</sub> D50 (SRS)	FR <sub>25%P</sub> STI (SRS)
	0%	FR <sub>0%</sub> TR (SRS)	FR <sub>0%</sub> EDT (SRS)	FR <sub>0%</sub> C50 (SRS)	FR <sub>0%</sub> C80 (SRS)	FR <sub>0%</sub> D50 (SRS)	FR <sub>0%</sub> STI (SRS)
Forro Multifacetado	100%	FM <sub>100%</sub> TR (SRS)	FM <sub>100%</sub> EDT (SRS)	FM <sub>100%</sub> C50 (SRS)	FM <sub>100%</sub> C80 (SRS)	FM <sub>100%</sub> D50 (SRS)	FM <sub>100%</sub> STI (SRS)
	75% Frente	FM <sub>75%F</sub> TR (SRS)	FM <sub>75%F</sub> EDT (SRS)	FM <sub>75%F</sub> C50 (SRS)	FM <sub>75%F</sub> C80 (SRS)	FM <sub>75%F</sub> D50 (SRS)	FM <sub>75%F</sub> STI (SRS)
	75% Meio	FM <sub>75%M</sub> TR (SRS)	FM <sub>75%M</sub> EDT (SRS)	FM <sub>75%M</sub> C50 (SRS)	FM <sub>75%M</sub> C80 (SRS)	FM <sub>75%M</sub> D50 (SRS)	FM <sub>75%M</sub> STI (SRS)
	75% Posterior	FM <sub>75%P</sub> TR (SRS)	FM <sub>75%P</sub> EDT (SRS)	FM <sub>75%P</sub> C50 (SRS)	FM <sub>75%P</sub> C80 (SRS)	FM <sub>75%P</sub> D50 (SRS)	FM <sub>75%P</sub> STI (SRS)
	50% Frente	FM <sub>50%F</sub> TR (SRS)	FM <sub>50%F</sub> EDT (SRS)	FM <sub>50%F</sub> C50 (SRS)	FM <sub>50%F</sub> C80 (SRS)	FM <sub>50%F</sub> D50 (SRS)	FM <sub>50%F</sub> STI (SRS)
	50% Meio	FM <sub>50%M</sub> TR (SRS)	FM <sub>50%M</sub> EDT (SRS)	FM <sub>50%M</sub> C50 (SRS)	FM <sub>50%M</sub> C80 (SRS)	FM <sub>50%M</sub> D50 (SRS)	FM <sub>50%M</sub> STI (SRS)
	50% Posterior	FM <sub>50%P</sub> TR (SRS)	FM <sub>50%P</sub> EDT (SRS)	FM <sub>50%P</sub> C50 (SRS)	FM <sub>50%P</sub> C80 (SRS)	FM <sub>50%P</sub> D50 (SRS)	FM <sub>50%P</sub> STI (SRS)
	25% Frente	FM <sub>25%F</sub> TR (SRS)	FM <sub>25%F</sub> EDT (SRS)	FM <sub>25%F</sub> C50 (SRS)	FM <sub>25%F</sub> C80 (SRS)	FM <sub>25%F</sub> D50 (SRS)	FM <sub>25%F</sub> STI (SRS)
	25% Meio	FM <sub>25%M</sub> TR (SRS)	FM <sub>25%M</sub> EDT (SRS)	FM <sub>25%M</sub> C50 (SRS)	FM <sub>25%M</sub> C80 (SRS)	FM <sub>25%M</sub> D50 (SRS)	FM <sub>25%M</sub> STI (SRS)
	25% Posterior	FM <sub>25%P</sub> TR (SRS)	FM <sub>25%P</sub> EDT (SRS)	FM <sub>25%P</sub> C50 (SRS)	FM <sub>25%P</sub> C80 (SRS)	FM <sub>25%P</sub> D50 (SRS)	FM <sub>25%P</sub> STI (SRS)
	0%	FM <sub>0%</sub> TR (SRS)	FM <sub>0%</sub> EDT (SRS)	FM <sub>0%</sub> C50 (SRS)	FM <sub>0%</sub> C80 (SRS)	FM <sub>0%</sub> D50 (SRS)	FM <sub>0%</sub> STI (SRS)
	100%	FC <sub>100%</sub> TR (SRS)	FC <sub>100%</sub> EDT (SRS)	FC <sub>100%</sub> C50 (SRS)	FC <sub>100%</sub> C80 (SRS)	FC <sub>100%</sub> D50 (SRS)	FC <sub>100%</sub> STI (SRS)

Forro Curvo	75% Frente	FC <sub>75%F</sub> TR (SRS)	FC <sub>75%F</sub> EDT (SRS)	FC <sub>75%F</sub> C50 (SRS)	FC <sub>75%F</sub> C80 (SRS)	FC <sub>75%F</sub> D50 (SRS)	FC <sub>75%F</sub> STI (SRS)
	75% Meio	FC <sub>75%M</sub> TR (SRS)	FC <sub>75%M</sub> EDT (SRS)	FC <sub>75%M</sub> C50 (SRS)	FC <sub>75%M</sub> C80 (SRS)	FC <sub>75%M</sub> D50 (SRS)	FC <sub>75%M</sub> STI (SRS)
	75% Posterior	FC <sub>75%P</sub> TR (SRS)	FC <sub>75%P</sub> EDT (SRS)	FC <sub>75%P</sub> C50 (SRS)	FC <sub>75%P</sub> C80 (SRS)	FC <sub>75%P</sub> D50 (SRS)	FC <sub>75%P</sub> STI (SRS)
	50% Frente	FC <sub>50%F</sub> TR (SRS)	FC <sub>50%F</sub> EDT (SRS)	FC <sub>50%F</sub> C50 (SRS)	FC <sub>50%F</sub> C80 (SRS)	FC <sub>50%F</sub> D50 (SRS)	FC <sub>50%F</sub> STI (SRS)
	50% Meio	FC <sub>50%M</sub> TR (SRS)	FC <sub>50%M</sub> EDT (SRS)	FC <sub>50%M</sub> C50 (SRS)	FC <sub>50%M</sub> C80 (SRS)	FC <sub>50%M</sub> D50 (SRS)	FC <sub>50%M</sub> STI (SRS)
	50% Posterior	FC <sub>50%P</sub> TR (SRS)	FC <sub>50%P</sub> EDT (SRS)	FC <sub>50%P</sub> C50 (SRS)	FC <sub>50%P</sub> C80 (SRS)	FC <sub>50%P</sub> D50 (SRS)	FC <sub>50%P</sub> STI (SRS)
	25% Frente	FC <sub>25%F</sub> TR (SRS)	FC <sub>25%F</sub> EDT (SRS)	FC <sub>25%F</sub> C50 (SRS)	FC <sub>25%F</sub> C80 (SRS)	FC <sub>25%F</sub> D50 (SRS)	FC <sub>25%F</sub> STI (SRS)
	25% Meio	FC <sub>25%M</sub> TR (SRS)	FC <sub>25%M</sub> EDT (SRS)	FC <sub>25%M</sub> C50 (SRS)	FC <sub>25%M</sub> C80 (SRS)	FC <sub>25%M</sub> D50 (SRS)	FC <sub>25%M</sub> STI (SRS)
	25% Posterior	FC <sub>25%P</sub> TR (SRS)	FC <sub>25%P</sub> EDT (SRS)	FC <sub>25%P</sub> C50 (SRS)	FC <sub>25%P</sub> C80 (SRS)	FC <sub>25%P</sub> D50 (SRS)	FC <sub>25%P</sub> STI (SRS)
	0%	FC <sub>0%</sub> TR (SRS)	FC <sub>0%</sub> EDT (SRS)	FC <sub>0%</sub> C50 (SRS)	FC <sub>0%</sub> C80 (SRS)	FC <sub>0%</sub> D50 (SRS)	FC <sub>0%</sub> STI (SRS)