



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

RODRIGO LUIZ CARNIATO FRANCALACCI

**RETROFIT E DESEMPENHO ACÚSTICO: ESTUDO
DO CASO DO ANFITEATRO ISALTINO CASEMIRO**

CAMPINAS

2021

RODRIGO LUIZ CARNIATO FRANCALACCI

**RETROFIT E DESEMPENHO ACÚSTICO:
ESTUDO DO CASO DO ANFITEATRO ISALTINO CASEMIRO**

Texto de Dissertação apresentado a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, na área de Arquitetura, Tecnologia e Cidade.

Orientadora: Stelamaris Rolla Bertoli

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO OU TESE DEFENDIDA PELO ALUNO RODRIGO LUIZ CARNIATO FRANCALACCI E ORIENTADO PELO PROFA. DRA. STELAMARIS ROLLA BERTOLI.

ASSINATURA DO ORIENTADORA



**CAMPINAS
2020**

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

F844r Françalacci, Rodrigo Luiz Carniato, 1987-
Retrofit e desempenho acústico : estudo do caso do anfiteatro Isaltino
Casemiro / Rodrigo Luiz Carniato Françalacci. – Campinas, SP : [s.n.], 2021.

Orientador: Stelamaris Rolla Bertoli.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade
de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Edifícios - Reformas. 2. Patrimônio histórico. 3. Modelos acústicos. 4.
Acústica arquitetônica. I. Bertoli, Stelamaris Rolla, 1958-. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Retrofit and acoustic performance : case study of the Isaltino
Casemiro amphitheater

Palavras-chave em inglês:

Buildings - Renovations

Historical heritage

Acoustical modeling

Architectural acoustics

Área de concentração: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Titulação: Mestre em Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Banca examinadora:

Stelamaris Rolla Bertoli [Orientador]

Nubia Bernardi

Carlos Augusto de Melo Tamanini

Data de defesa: 15-03-2021

Programa de Pós-Graduação: Arquitetura, Tecnologia e Cidade

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0002-4557-7781>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/0913084523388178>

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**Retrofit e Desempenho Acústico:
Estudo do Caso do Anfiteatro Isaltino Casemiro**

Rodrigo Luiz Carniato Francalacci

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Profa. Dra. Stelamaris Rolla Bertoli

Presidente e Orientadora/Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Profa. Dra. Nubia Bermardi

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Prof. Dr. Carlos Augusto de Melo Tamanini

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

Campinas, 15 de março de 2021

*Dedico este trabalho à minha família,
à minha orientatoda e à universidade,
que tornaram possível a sua realização*

Resumo

A preocupação com o aumento do número de construções antigas abandonadas ou subutilizadas, torna o retrofit uma prática importante e crescente no ramo da construção civil para aproveitamento desses espaços. Dentre os principais alvos de retrofit no Brasil, estão os patrimônios históricos ferroviários tais como o Anfiteatro Isaltino Casemiro, antigo armazém pertencente ao complexo ferroviário da cidade de Porto Ferreira, cidade localizada no Estado de São Paulo. Na condição de anfiteatro, este local recebe inúmeros eventos, desde palestras, passando por peças de teatro e até mesmo eventos musicais. Este trabalho avaliou o potencial acústico dessa construção e propôs formas para otimizar o desempenho acústico do local em questão levando em conta a transformação do espaço de armazém para espaço de apresentações culturais, sua nova função. Na etapa inicial, para o estudo do potencial acústico do ambiente, foi realizada a medição de parâmetros acústicos da sala empregando o método de resposta impulsiva e o software *Dirac* da *Bruel&Kjaer*. No interior da sala foram selecionadas dezoito posições de receptor e três posições de fonte sonora. Para cada par fonte-receptor foram calculados os parâmetros: Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Definição (D50), Clareza (C80), Nível Sonoro Relativo (G) todos em função de frequência em bandas de oitava entre 125Hz e 4000Hz. Além disso, da resposta impulsiva também foi obtido o Índice de Transmissão da Fala (STI). Na etapa seguinte construiu-se e validou-se um modelo virtual comparando os valores dos parâmetros acústicos simulados com os parâmetros acústicos medidos. Com o modelo validado, foi possível propor alterações para o espaço com a finalidade de atender aos valores dos parâmetros acústico indicados para as diversas atividades levando em conta sua condição de espaço para múltiplos usos.

Abstract

There is a concern about the increase in the number of abandoned or underutilized old constructions that makes retrofit an important and growing practice in the construction field for the use of these spaces. Among the main retrofit targets in Brazil are the historical railway heritage buildings such as the Amphitheater Isaltino Casemiro, antique warehouse belonging to the railway complex of the city of Porto Ferreira, located in the State of São Paulo. As an amphitheater, this venue hosts numerous events, from lectures, theater plays and even musical events. This work evaluated the acoustic potential of this construction and proposed ways to optimize its acoustic quality, taking into account the transformation of the warehouse space into a space for cultural presentations, its new function. The first step for the study of the acoustic potential of the environment was the measurement of acoustic parameters of the room using the impulse response method and the Bruel&Kjaer Dirac software. Inside the room, eighteen receiver positions and three sound source positions were selected. For each source-receiver pair, the following parameters were calculated: Reverberation Time (RT), Initial Decay Time (EDT), Definition (D50), Clarity (C80) and Sound Strength (G), all as a function of frequencies in octave bands between 125Hz and 4000Hz. In addition, the Speech Transmission Index (STI) was also obtained from the impulse response. In the next step a virtual model was constructed and validated. It was done by comparing the simulated acoustic parameters values with the measured acoustic parameters. With the validated model, it was possible to propose changes to the space in order to get the values of acoustic parameters recommended for the various activities taking into account its space condition for multiple uses.

Lista de Símbolos

RT	<i>Tempo de Reverberação</i>
$T30$	<i>Tempo de Reverberação calculado extrapolando o decaimento entre -5dB e -35dB</i>
EDT	<i>Tempo de Decaimento Inicial</i>
$C80$	<i>Índice de Clareza</i>
$D50$	<i>Definição</i>
G	<i>Nível sonoro Relativo</i>
STI	<i>Índice de Transmissão da Fala</i>
DT	<i>Tempo de Difusão de Schultz</i>
JND	<i>A menor variação perceptível para um dado parâmetro</i>
\mathcal{E}	<i>Erro médio</i>
\mathcal{E}_{global}	<i>Erro médio global, media entre os erros médios de cada banda de frequência</i>
$T30_{mid}$	<i>Valor médio entre $T30$ para 500Hz e $T30$ para 1kHz</i>
EDT_{mid}	<i>Valor médio entre EDT para 500Hz e EDT para 1kHz</i>
$C80_{mid}$	<i>Valor médio entre $C80$ para 500Hz, 1kHz e 2kHz</i>
$D50_{mid}$	<i>Valor médio entre $D50$ para 500Hz e para 1kHz</i>
G_{mid}	<i>Valor médio entre G para 500Hz e para 1kHz</i>

Lista de Ilustrações

<i>Figura 1 - Relatório da Companhia Paulista, 1880. Registra a construção do armazém, hoje Anfiteatro Isaltino Casemiro, e a elaboração do projeto da ponte de madeira.</i>	26
<i>Figura 2 – Reinauguração após revitalização (2014).</i>	31
<i>Figura 3 - Recorte de documento emitido pela Casa dos Conselhos de Porto Ferreira</i>	32
<i>Figura 4 - Distribuição percentual das atividades realizadas no período entre 2014 e 2018.</i>	32
<i>Figura 5 – Visão interna do anfiteatro.</i>	33
<i>Figura 6 – Janela de madeira, visão interna.</i>	34
<i>Figura 7 – Visão da face onde se encontra o portão de acesso ao público</i>	34
<i>Figura 8 – Portão de acesso ao público</i>	35
<i>Figura 9 – Visão da face onde se encontra o portão de acesso ao público</i>	35
<i>Figura 10 – Portão de acesso localizado na face oposta à face do portão de acesso ao público.</i>	36
<i>Figura 11 – Janela de madeira, visão externa.</i>	36
<i>Figura 12 – Visão lateral com diversas janelas de madeira.</i>	37
<i>Figura 13 – Janela de ventilação.</i>	37
<i>Figura 14 - Telhado, vista aérea.</i>	38
<i>Figura 15 - Localização geográfica do Anfiteatro Isaltino Casemiro</i>	38
<i>Figura 16 - Localização do Anfiteatro dentro do município.</i>	39
<i>Figura 17 - Portão de acesso (a) e visão interna (b).</i>	39
<i>Figura 18 - Mata ciliar próxima ao anfiteatro.</i>	40
<i>Figura 19 - Avenida Eng. Nicolau De V. Forjaz e praça da fonte próximas ao anfiteatro.</i>	40
<i>Figura 20 – Hall da antiga estação Sorocabana onde posteriormente seria construída a Sala São Paulo.</i>	54
<i>Figura 21 – Escadas de acesso (a) aos mezaninos (b).</i>	55
<i>Figura 22 – Balcões de concreto instalados na área de audiência.</i>	56
<i>Figura 23 – Posições extremas do teto móvel da Sala São Paulo. (a) Mínimo. (b) Máximo</i>	57
<i>Figura 24 - Matadouro da Vila Mariana no início do século XX.</i>	58
<i>Figura 25 - Principais elementos da terceira intervenção feita na Cinemateca Brasileira.</i>	60
<i>Figura 26 - Função de cada uma das construções da Cinemateca Brasileira após a terceira intervenção.</i>	61
<i>Figura 27 - Sala BNDES (Cinemateca Brasileira)</i>	61
<i>Figura 28 - Reflexões entre a fonte e o receptor.</i>	63
<i>Figura 29 - O diagrama de resposta impulsiva descrevendo as três etapas do som no caminho entre o emissor e o receptor.</i>	64
<i>Figura 30 – Representação da definição do tempo de reverberação RT</i>	66
<i>Figura 31 – Representação da obtenção do Tempo de Reverberação</i>	66
<i>Figura 32 - Intervalo de cálculo do EDT</i>	69
<i>Figura 33 - Alteração no EDT para diferentes posições de receptor.</i>	70

<i>Figura 34 – Representação da definição de C80 (Clareza). A razão entre as reflexões primárias e tardias, obtidas a partir de um gráfico de resposta impulsiva.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 35 - Ilustração da teoria e princípio de medição do STI e RAST.</i>	<i>76</i>
<i>Figura 36 - Tempo de reverberação em função do ranking das melhores salas.</i>	<i>83</i>
<i>Figura 37 - Tempo de reverberação recomendado para atividades de música ou fala em função do volume da sala.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 38 - Tempo de reverberação adequado para diversas aplicações e volumes de sala.</i>	<i>86</i>
<i>Figura 39 – Sugestão de critério para avaliar o Nível Sonoro Relativo (G) em função da distância entre a fonte e o receptor (BARRON, 2005).</i>	<i>91</i>
<i>Figura 40 – Curvas recomendadas para o Tempo de Reverberação em função do volume segundo a norma NS 8178 para: (a) Apresentação de Música Acústica Fraca (b) Apresentação de Música Acústica Forte (c) Apresentação de Música Amplificada (d) Ensaio de Música Acústica Fraca (e) Ensaio de Música Acústica Forte (e) Ensaio de Música Amplificada</i>	<i>93</i>
<i>Figura 41 – Curvas recomendadas pela norma NS 8178 para o Nível Sonoro Relativo e Tempo de Reverberação em função do volume.</i>	<i>95</i>
<i>Figura 42 - Vistas externas do Anfiteatro Isaltino Casemiro.</i>	<i>96</i>
<i>Figura 43 - Visão interna do Anfiteatro Isaltino Casemiro antes da revitalização de 2014.</i>	<i>99</i>
<i>Figura 44 - Visão interna do Anfiteatro Isaltino Casemiro após a revitalização de 2014.</i>	<i>99</i>
<i>Figura 45 - O forro PVC foi instalado a 4 metros do chão.</i>	<i>99</i>
<i>Figura 46 - Planta baixa do Anfiteatro Isaltino Casemiro. Todas as cotas medidas em metros.</i>	<i>100</i>
<i>Figura 47 - Planta baixa (palco e camarim). Todas as cotas medidas em metros.</i>	<i>100</i>
<i>Figura 48 - Visão em perspectiva dos pontos de acesso ao palco.</i>	<i>100</i>
<i>Figura 49 - Cortinas no palco.</i>	<i>100</i>
<i>Figura 50 – Fotografia aérea do Anfiteatro Isaltino Casemiro. Note que as principais fontes de ruído são avenida e a mata ciliar.</i>	<i>101</i>
<i>Figura 51 - Distribuição das janelas no Anfiteatro.</i>	<i>102</i>
<i>Figura 52 - Planta baixa para a área da plateia. Todas as cotas medidas em metros.</i>	<i>103</i>
<i>Figura 53 - Visão em perspectiva da área de bilheteria e sanitários.</i>	<i>104</i>
<i>Figura 54 - Vista do ponto de vista da rampa. É possível ver que a parede que separa a audiência da área de bilheteria.</i>	<i>104</i>
<i>Figura 55 - Planta baixa (bilheteria e sanitários). Todas as cotas medidas em metros.</i>	<i>105</i>
<i>Figura 56 - Posição das cortinas durante a medição.</i>	<i>107</i>
<i>Figura 57 - Panorama geral da distribuição dos pontos de fonte (vermelho), e receptor (azul). Bilheteria e sanitários não entraram na medição.</i>	<i>108</i>
<i>Figura 58 – Posicionamento dos pontos escolhidos para a fonte durante a medição do Anfiteatro. Todas as cotas medidas em metros.</i>	<i>109</i>
<i>Figura 59 - Pontos onde foram posicionados os microfones de medição.</i>	<i>110</i>
<i>Figura 60 - Momento da calibração da fonte sonora para o cálculo do Nível Sonoro Relativo.</i>	<i>111</i>

<i>Figura 61- Pontos adotados para fonte e receptor e convenção adotada para os lados esquerdo e direito</i>	112
<i>Figura 62 - Modelo simplificado para o lado esquerdo.</i>	127
<i>Figura 63 - Modelo simplificado para o lado direito.</i>	127
<i>Figura 64 – Modelo de camadas construído no SketchUp 2016 e exportado para o ODEON. Cara cor indica uma camada utilizada durante a fase de validação.</i>	177
<i>Figura 65 – Superfícies e objetos diversos, cujos coeficientes de absorção sonora não puderam ser estimadas.</i>	178
<i>Figura 66 - T30 simulado (azul) e medido (verde) em função do ponto receptor para a banda de 125Hz com a fonte na posição (a) F1 (b) F2 (c) F3. curvas em vermelho representam o intervalo de ± 2 JND.</i>	180
<i>Figura 67 - T30 simulado (azul) e medido (verde) em função do ponto receptor para a banda de 250Hz com a fonte na posição (a) F1 (b) F2 (c) F3. curvas em vermelho representam o intervalo de ± 2 JND.</i>	180
<i>Figura 68 - T30 simulado (azul) e medido (verde) em função do ponto receptor para a banda de 500Hz com a fonte na posição (a) F1 (b) F2 (c) F3. curvas em vermelho representam o intervalo de ± 2 JND.</i>	181
<i>Figura 69 - T30 simulado (azul) e medido (verde) em função do ponto receptor para a banda de 1kHz com a fonte na posição (a) F1 (b) F2 (c) F3. curvas em vermelho representam o intervalo de ± 2 JND.</i>	181
<i>Figura 70 - T30 simulado (azul) e medido (verde) em função do ponto receptor para a banda de 2kHz com a fonte na posição (a) F1 (b) F2 (c) F3. curvas em vermelho representam o intervalo de ± 2 JND.</i>	181
<i>Figura 71 - T30 simulado (azul) e medido (verde) em função do ponto receptor para a banda de 4kHz com a fonte na posição (a) F1 (b) F2 (c) F3. curvas em vermelho representam o intervalo de ± 2 JND.</i>	181
<i>Figura 72 – Aberturas localizadas no lado esquerdo do ponto de vista da audiência.</i>	183
<i>Figura 73 – Proposta de alteração do forro de PVC para um forro de madeira acompanhando o madeiramento que sustenta as telhas.</i>	184
<i>Figura 74 – Modelo tridimensional do anfiteatro com a substituição das aberturas por paredes rígidas e com a retirada do forro PVC.</i>	185
<i>Figura 75 – Modelo do anfiteatro com a instalação de painéis móveis e da cortina no fundo região de audiência. As superfícies em verde indicam material com alto coeficiente de absorção sonora</i>	187
<i>Figura 76 - Modelo do anfiteatro com a instalação de painéis móveis e da cortina no fundo atrás do palco. As superfícies em verde indicam material com alto coeficiente de absorção sonora</i>	187
<i>Figura 77 – Forro repartido em oito regiões. Em cada região está um par de painéis móveis. As superfícies em verde indicam alto coeficiente de absorção sonora.</i>	188
<i>Figura 78 – Recorte representado as regiões 2, 4 e 6 da Figura 77.</i>	189
<i>Figura 79 - Recorte representado as regiões 7 e 8 da Figura 77</i>	189

Lista de Tabelas

<i>Tabela 1 - Escala qualitativa para avaliação dos valores de STI.</i>	<i>76</i>
<i>Tabela 2 - Mínima diferença perceptível (JND) para alguns parâmetros acústicos levando em conta a média sobre as bandas de frequência de 500 e 1000Hz em um ponto específico de uma sala não ocupada com volume maior do que 25000m³.</i>	<i>78</i>
<i>Tabela 3 - Sugestões de Barron (2005) para o Tempo de Reverberação.</i>	<i>84</i>
<i>Tabela 4 - Tempo de disusão de Schultz.</i>	<i>84</i>
<i>Tabela 5 – Critérios da norma NS 8178 para volume, área, pe direito, quantidade de audiência e volume por pessoa para cada tipo de música na situação de ensaio ou apresentação.</i>	<i>94</i>
<i>Tabela 6 - Coordenadas cartesianas para cada posição de microfone. A origem do sistema de coordenadas está indicada na Figura 47 ao lado.</i>	<i>110</i>
<i>Tabela 7 – Dados referentes ao Gráfico 11.</i>	<i>122</i>
<i>Tabela 8 - Dados referentes ao Gráfico 12.</i>	<i>122</i>
<i>Tabela 9 - Nesta tabela R1 é a distância percorrida pelo som direto e R2 é a distância percorrida pelo som refletido. A tabela mostra a relação entre a pressão sonora do som refletido e do som direto bem como o atraso entre os mesmos para cada uma das combinações Fonte-Receptor.</i>	<i>130</i>
<i>Tabela 10 - Dados referentes ao Gráfico 24.</i>	<i>137</i>
<i>Tabela 11 - Nível global das regiões , média por região e média total.</i>	<i>147</i>
<i>Tabela 12 - Critérios adotados para analisar cada parâmetro de acordo o tipo de atividade praticada. Onde “-” significa “não aplicável”.</i>	<i>151</i>
<i>Tabela 13 -Valores recomendados para o parâmetro C80 para diversos estilos de música.</i>	<i>158</i>
<i>Tabela 14 - Resumo do desempenho acústico do Anfiteatro Isaltino Casemiro em cada parâmetro analisado para cada tipo de atividade.</i>	<i>175</i>
<i>Tabela 15 -Erro médio e erro global em termos de JND para cada posição de fonte emissora.</i>	<i>180</i>
<i>Tabela 16 - Coeficientes de absorção sonora após a validação do modelo computacional.</i>	<i>182</i>
<i>Tabela 17 -Coeficientes de absorção sonora adotados na simulação com os painéis móveis, forro de madeira e cortinas.</i>	<i>190</i>
<i>Tabela 18 – Configuração 1, disposição e resultados.</i>	<i>192</i>
<i>Tabela 19 - Configuração 2, disposição e resultados.</i>	<i>192</i>
<i>Tabela 20 - Configuração 3, disposição e resultados.</i>	<i>193</i>
<i>Tabela 21 - Configuração 4, disposição e resultados.</i>	<i>193</i>
<i>Tabela 22 – Configuração apropriada para cada atividade considerada.</i>	<i>194</i>
<i>Tabela 23 - Principais atividades realizadas no Anfiteatro Isaltino Casemiro no período compreendido entre outubro de 2013 e novembro de 2018.</i>	<i>206</i>

Lista de Gráficos

- Gráfico 1 – Parâmetro EDT em função (a) de frequência para cada receptor (linha tracejada representa o valor médio) (b) dos receptores para cada banda de frequência (eixo horizontal superior indica a distância entre os pontos receptores e a fonte em F1) _____ 115
- Gráfico 2 – Parâmetro EDT em função (a) de frequência para cada receptor (linha tracejada representa o valor médio) (b) dos receptores para cada banda de frequência (eixo horizontal superior indica a distância entre os pontos receptores e a fonte em F2) _____ 115
- Gráfico 3 – Parâmetro EDT em função (a) de frequência para cada receptor (linha tracejada representa o valor médio) (b) dos receptores para cada banda de frequência (eixo horizontal superior indica a distância entre os pontos receptores e a fonte em F3) _____ 115
- Gráfico 4 – EDTmid em função da distância entre a fonte e o receptor. Pontos pretos representam valores medidos nos pontos mais ao centro do auditório, já os pontos em vermelho representam os valores medidos nos pontos mais próximos das paredes laterais do auditório. _____ 117
- Gráfico 5 - EDTmid em função da distância entre a fonte e o receptor. Os pontos em azul indicam valores medidos a direita, os pontos em roxo indicam os valores medidos à esquerda (do ponto de vista da audiência). As linhas tracejadas representam as linhas de tendência. _____ 117
- Gráfico 6 - Parâmetro T30 em função (a) de frequência para cada receptor (linha tracejada representa o valor médio) (b) dos receptores para cada banda de frequência (eixo horizontal superior indica a distância entre os pontos receptores e a fonte na posição F1). _____ 119
- Gráfico 7 - Parâmetro T30 em função (a) de frequência para cada receptor (linha tracejada representa o valor médio) (b) dos receptores para cada banda de frequência (eixo horizontal superior indica a distância entre os pontos receptores e a fonte na posição F2). _____ 119
- Gráfico 8 - Parâmetro T30 em função (a) de frequência para cada receptor (linha tracejada representa o valor médio) (b) dos receptores para cada banda de frequência (eixo horizontal superior indica a distância entre os pontos receptores e a fonte na posição F3). _____ 119
- Gráfico 9 – T30mid em função da distância entre a fonte e o receptor. Pontos pretos representam valores medidos nos pontos mais ao centro do auditório, já os pontos em vermelho representam os valores medidos nos pontos mais próximos da parede. As duas linhas tracejadas representam as linhas de tendência. _____ 121
- Gráfico 10 – T30mid em função da distância entre a fonte e o receptor. Os pontos em azul indicam valores medidos a direita, os pontos em roxo indicam os valores medidos à esquerda (do ponto de vista da audiência) . As duas linhas tracejadas representam as linhas de tendência. _____ 121
- Gráfico 11 – Média dos parâmetros EDT e T30 sobre os pontos receptores para cada fonte emissora. _____ 122
- Gráfico 12 - Desvio padrão referente a média calculada no Gráfico 11. _____ 122
- Gráfico 13 - EDTmid e T30mid médios, em função da posição de receptor para cada fonte emissora. _____ 123

- Gráfico 14 - Para a fonte emissora na posição F1 apresenta-se: (a) D50 em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) D50 em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores). _____ 125
- Gráfico 15 - Para a fonte emissora na posição F2 apresenta-se: (a) D50 em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) D50 em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores). _____ 125
- Gráfico 16 - Para a fonte emissora na posição F3 apresenta-se: (a) D50 em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) D50 em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores). _____ 125
- Gráfico 17 - Relação entre a pressão sonora do som direto e do som refletido para cada uma das combinações Fonte-Receptor em função do atraso. _____ 131
- Gráfico 18 - D50mid em função da distância Fonte-Receptor. Note que de forma geral os menores valores estão associados aos pontos localizados na parte esquerda sala. Pontos à esquerda em vermelho e à direita em preto. _____ 131
- Gráfico 19 - D50 (média espacial) em função da banda de frequência para cada fonte. _____ 133
- Gráfico 20 - Média entre as bandas de 500Hz e 1kHz para o D50 em função dos pontos receptores para cada fonte emissora. _____ 133
- Gráfico 21 - Para a fonte emissora na posição F1 apresenta-se: (a) C80 em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) C80 em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores). _____ 135
- Gráfico 22 - Para a fonte emissora na posição F2 apresenta-se: (a) C80 em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) C80 em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores). _____ 135
- Gráfico 23 - Para a fonte emissora na posição F3 apresenta-se: (a) C80 em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) C80 em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores). _____ 135
- Gráfico 24 - Média espacial de C80 em função de bandas de oitava de frequência para cada fonte considerando e desconsiderando os pontos receptores P16 e P18. _____ 137
- Gráfico 25 - C80, média sobre as bandas de 500Hz, 1kHz e 2kHz para cada fonte emissora em função dos: (a) pontos receptores P1 à P8, (b) pontos receptores P9 à P18. _____ 139

Gráfico 26 – C80, média sobre as bandas 500Hz, 1kHz e 2kHz em função da distância fonte-receptor (a) incluindo os pontos problemáticos (b) excluindo os pontos problemáticos. Em vermelho estão os pontos do lado esquerdo e em preto os pontos do lado direito. _____	139
Gráfico 27 - Correlação inversa entre os parâmetros EDTmid e C80mid. _____	140
Gráfico 28 - Para a fonte emissora na posição F1 apresenta-se: (a) G(dB) em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) G(dB) em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores). _____	141
Gráfico 29 - Para a fonte emissora na posição F2 apresenta-se: (a) G(dB) em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) G(dB) em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores). _____	141
Gráfico 30 - Para a fonte emissora na posição F3 apresenta-se: (a) G(dB) em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) G(dB) em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores). _____	141
Gráfico 31 – Nível Sonoro Relativo médio em função da frequência, considerando o sinal emitido por cada uma das três posições de fontes. _____	143
Gráfico 32 – Gmid(dB) em função do ponto receptor, considerando o sinal emitido por cada uma das três posições de fontes. _____	143
Gráfico 33 – Gmid(dB) em função da distância fonte-receptor, para os pontos à esquerda (em vermelho) e à direita (em preto) _____	144
Gráfico 34 - STI em cada ponto receptor para cada uma das três fontes emissoras (F1, F2 e F3). _____	145
Gráfico 35 - STI em função da distância entre a fonte e o receptor. _____	146
Gráfico 36 - Som residual para a frente (verde), fundo (amarelo), centro (azul) e média espacial (vermelho), em função de banda de oitava de frequência. _____	148
Gráfico 37 – O comportamento dos parâmetros Gmid, C80mid, STI, T30mid, EDTmid e D50mid em função da distância fonte-receptor. _____	149
Gráfico 38 - Limites de tolerância para a reverberação nas bandas de frequência de 125Hz a 4000Hz. O gráfico considera as três posições de fonte separadamente. _____	153
Gráfico 39 - Tempo de reverberação ideal segundo a norma NS 8178:2014. (1) Música Acústica Fraca. (2) Música Acústica Forte e (3) Música Amplificada. _____	154
Gráfico 40 – Nível Sonoro Relativo (G) e Tempo de Reverberação recomendados em função do volume para cada tipo de atividade musical. _____	157
Gráfico 41 - Número de ocorrências para cada faixa de valores de C80mid. _____	161
Gráfico 42 - Tempo de Reverberação em função do volume para as atividades de fala e música. _____	163
Gráfico 43 - Faixa de tolerância para o Tempo de Reverberação no espectro de frequências de 60Hz a 8kHz. _____	164
Gráfico 44 - Comportamento do Tempo de Reverberação em função da frequência. _____	165

<i>Gráfico 45 – Nível Sonoro Relativo medido em função da distância fonte-receptor e Nível Sonoro Relativo Mínimo tolerável.</i>	<i>166</i>
<i>Gráfico 46 –Histograma mostrando a quantidade de ocorrências do parâmetro D50mid em cada intervalo de valores.</i>	<i>167</i>
<i>Gráfico 47 – Tempo de Reverberação recomendado pela ABC (2009), em função do volume. Em vermelho está o volume para o Anfiteatro Isaltino Casemiro</i>	<i>169</i>
<i>Gráfico 48 –Variação recomendada para o Tempo de Reverberação por faixas de oitavas segundo ABC (2009)</i>	<i>170</i>
<i>Gráfico 49 – Variação medida do Tempo de Reverberação por faixas de frequência.</i>	<i>171</i>
<i>Gráfico 50 – Média espacial do Ruído Residual medido no anfiteatro (em vermelho), curvas NC recomendadas para atividades de música ou teatro (NC25 e NC30) e curva NC do anfiteatro Isaltino Casemiro (NC40).</i>	<i>173</i>
<i>Gráfico 51 - Média espacial do Ruído Residual medido no anfiteatro (em vermelho), curvas NC recomendadas para a atividade de cinema (NC20, NC25 e NC30) e curva NC do anfiteatro Isaltino Casemiro (NC40).</i>	<i>173</i>

Sumário

Capítulo 1 - Introdução	20
Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica	24
2.1 Contexto histórico	24
2.2 Descrição Geográfica	38
2.3 O Retrofit, Patrimônio e Patrimônio Ferroviário	41
2.3.1 O Retrofit na Arquitetura	41
2.2.2 Conceito de Patrimônio - Uma Breve Discussão	45
2.2.3 O Nascimento do Patrimônio Ferroviário no Brasil	47
2.4 Referências de Retrofit para esta Pesquisa	52
2.4.1 A Sala São Paulo	53
2.4.2 A Cinemateca Brasileira	57
Capítulo 3 - Parâmetros Acústicos para Salas	62
3.1 Parâmetros Acústicos da Norma ISO 3382-1:2009	65
3.1.1 Tempo de Reverberação - RT	65
3.1.2 Tempo de Decaimento Inicial - EDT	68
3.1.3 Índice de Clareza (C80) e Definição (D50)	70
3.1.4 Nível Sonoro Relativo - G	73
3.2 Outros Parâmetros Acústicos Importantes	75
3.2.1 Índice de Transmissão da Fala - STI	75
3.3 Valores de Referência para os Parâmetros Acústicos Estudados	76
3.3.1 Tempo de Reverberação - RT	81
3.3.2 Tempo de Decaimento Inicial - EDT	86
3.3.3 Índice de Clareza - C80	88
3.3.4 Nível Sonoro Relativo - G	89
3.4 A Norma Norueguesa NS 8178:2014	91
Capítulo 4 - Materiais e Métodos	96

4.1 Caracterização do Espaço Físico	98
4.2 Medição dos Parâmetros Acústicos.....	105
4.2.1 Aparato utilizado na medição	106
4.2.2 Procedimento de Medição	106
Capítulo 5 -Resultados e Análise	112
5.1 Análise dos Parâmetros Acústicos	113
5.1.1 Tempo de Decaimento Inicial (EDT)	113
5.1.2 Tempo de Reverberação T30	118
5.1.3 Definição D50	123
5.1.4 Índice de Clareza C80.....	133
5.1.5 Nível Sonoro Relativo.....	140
5.1.6 Índice de Transmissão da Fala STI	144
5.1.7 Som Residual	147
5.1.8 Análise Geral e Correlação entre os Parâmetros	149
5.2 Análise do Potencial Acústico	150
5.2.1 T30 para Atividades Musicais	152
5.2.2 G para Atividades Musicais	155
5.2.3 C80 para Atividades Musicais	158
5.2.4 T30 para Teatro ou Fala	163
5.2.5 G para Teatro ou Fala.....	165
5.2.6 D50 para Teatro ou Fala	167
5.2.7 T30 para Cinema e Dança	168
5.2.8 G, D50, C80 e STI para Cinema e Dança	172
5.2.9 Análise do Nível de Ruído Residual	172
5.2.10 Desempenho acústico: Considerações	174
Capítulo 6 - Propostas de Adaptação	176
6.1 Simulação e Validação do Modelo Computacional.....	176
6.2 Adaptação para Sala Multiuso.....	183

Capítulo 7 - Conclusão	195
Referências Bibliográficas	198
Anexo A	206
Anexo B	209

Capítulo 1

Introdução

O Anfiteatro Isaltino Casemiro, localizado na cidade de Porto Ferreira, Estado de São Paulo, foi parte, como veremos, do antigo complexo ferroviário pertencente a Companhia Paulista¹. Complexo este que integra uma imensa gama de construções que, ao cair em desuso, passaram a ter a sua função comprometida. A retomada da vida para estas construções se traduz através da retomada do seu uso. A ideia de reutilizar também está de acordo com o conceito de sustentabilidade, uma vez que aproveitar algo já existente significa, em última instância, uma economia de energia. O conceito de retrofit se fortalece em meio a este cenário, pois busca, através da remodelação e atualização, promover a reintegração de edifícios inutilizados ou subutilizados. No Brasil esta prática já se manifestou através das intervenções que levaram a antiga estação Sorocabana a se transformar na atual Sala São Paulo. O mesmo aconteceu com a Cinemateca Brasileira e com o Centro Empresarial de São Paulo (CENESP).

O momento atual é convidativo para a prática do retrofit, pois marca uma era de grandes avanços tecnológicos coexistentes com uma preocupação crescente em relação à questão da sustentabilidade e da preservação da memória de prédios de valor histórico. A presença forte do uso da ferrovia no Brasil, no final do século XIX e início do século XX, deixou marcas na história deste país. Marcou a era do café que trouxe prosperidade para diversas regiões do Brasil. A importância dos elementos associados à ferrovia brasileira já foi percebida pelos órgãos pú-

¹ A Companhia Paulista de Estradas de Ferro (1868-1971) foi uma das mais importantes companhias ferroviárias do país.

blicos. Desde da década de 1980, com o programa PRESERVE (Programa de Preservação do Patrimônio Histórico do Ministério dos Transportes, 1980-1988), as autoridades passaram a se organizar no sentido de preservar o patrimônio ferroviário brasileiro (IPHAN/PROGRAMA MONUMENTA, 2010). Desde então diversas leis foram editadas visando criar um inventário e protegê-lo, algumas delas estão previstas na própria Constituição Federal de 1988 nos artigos 23 e 30. Além disso, no ano de 2010, foi editada uma portaria dedicada inteiramente ao patrimônio ferroviário, a Portaria nº 407, de 21 de Dezembro de 2010. A verdade, no entanto, é que a forma mais eficiente de se proteger uma construção é dar um novo uso a ela, reintegrá-la ao convívio cotidiano.

Uma forma de reintegração destes prédios de valor histórico que vem sendo buscada com frequência é a utilização deles para funções que envolvem a cultura, assim como aconteceu com a Sala São Paulo e com a Cinemateca Brasileira.

O Anfiteatro Isaltino Casemiro, faz parte dos prédios de valor histórico que vêm sendo utilizados para fins culturais. Este prédio foi construído no ano de 1880 e, no contexto da era da ferrovia, funcionou como um armazém de mercadorias, fazendo parte da história do café que trouxe muito progresso para a cidade de Porto Ferreira. Hoje as autoridades da cidade estão voltando as suas forças para trazer o local à vida novamente. A princípio a ideia foi utilizar o espaço para eventos artísticos e palestras. No ano de 2006, o espaço foi inaugurado como um anfiteatro pela primeira vez, contudo só passou a ser utilizado com maior frequência a partir de 2014, quando foi feita uma revitalização para garantir maior conforto e também para adaptar o local às novas leis vigentes. Contudo, com o uso frequente, tornou-se perceptível que a qualidade acústica do anfiteatro não era adequada às novas funções, e por isso o uso deste espaço para apresentações que envolvem música ou teatro passou a ser cada vez menor. Hoje 43% do uso do espaço corresponde a palestras ou reuniões que a prefeitura faz com moradores dos bairros da cidade. A ideia original era que o espaço fosse utilizado para fins culturais, no

entanto, a qualidade acústica deste ambiente compromete este objetivo e como consequência ele continua subutilizado.

O principal objetivo deste trabalho é conhecer o Anfiteatro Isaltino Casemiro em detalhes, estudando o seu potencial acústico de maneira que seja possível avaliar a sua utilização tanto para a atividade de fala quanto para a atividade de música, além de discutir possíveis melhorias. Contudo, por tratar-se de um espaço histórico, cujas informações estão pouco organizadas na literatura existente, um objetivo específico acabou se estabelecendo: justamente organizar as informações históricas dispersas em fontes das mais diversas possíveis, desde relatórios antigos da Companhia Paulista de Estrada de Ferro, passando por recortes de jornais e até entrevistas.

O estudo do potencial acústico do anfiteatro em questão partiu do esclarecimento das suas potencialidades, pois é de fundamental importância entender a finalidade a que o espaço se destina antes de analisar a sua qualidade acústica. Em seguida foi preciso compreender quais são os parâmetros acústicos utilizados quando se pretende qualificar uma sala. Nessa dissertação, foram estudados os parâmetros: Tempo de Reverberação (RT), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Índice de Clareza (C80), Nível Sonoro Relativo (G), Definição (D50) e por fim o Índice de Transmissão da Fala (STI). Uma vez compreendidos os conceitos que definem cada parâmetro, um segundo passo é aprender como utilizá-los, ou seja, entender quais critérios devem ser adotados quando se pretende avaliar um determinado ambiente. Neste momento, percebe-se que este é um aspecto que ainda necessita de mais estudos. A maioria dos estudos importantes, como os de Beranek (2004), envolvem grandes salas de concerto e música acústica. Contudo, mais recentemente, em 2014, foi editada a norma norueguesa NS 8178 que busca estabelecer critérios para avaliar o desempenho de salas de menor porte tanto para música acústica quanto para música amplificada. Apesar disso, é fato que a elaboração de critérios objetivos ainda está em desenvolvimento. Nesse sentido, como peça importante para conseguir avaliar a qualidade acústica do Anfiteatro Isaltino Casemiro, este trabalho buscou também compreender o que os estudos atuais já

revelaram com relação aos critérios adotados para cada um dos parâmetros citados neste capítulo.

O método adotado para avaliar a sala em questão e explorar as suas potencialidades passa por três etapas, a primeira delas é justamente conhecer o espaço estudado, o que envolve sua geometria e os materiais que o compõe. A segunda etapa consiste na medição de seis parâmetros acústicos Tempo de Reverberação (T30), Índice de Decaimento Inicial (EDT), Índice de Clareza (C80), Nível Sonoro Relativo (G), Definição (D50) e por fim o Índice de Transmissão da Fala (STI)). A terceira etapa, por fim, consiste na criação e validação de um modelo computacional que seja capaz de simular o comportamento dos parâmetros acústicos no anfiteatro. A simulação foi feita por meio do software ODEON. O modelo foi validado a partir da comparação dos dados simulados com os dados coletados na etapa de medição. Com o modelo validado, foi possível gerar variações das características acústicas da sala por meio de modificações na sua geometria e nos materiais que a compõe a sala. Dessa forma foi possível estudar possíveis melhorias para o Anfiteatro.

Além deste capítulo introdutório esta dissertação possui outros seis capítulos. O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica do Anfiteatro Isaltino Casemiro e busca entender os conceitos de *retrofit* e patrimônio ferroviário. O Capítulo 3 se dedica ao estudo dos parâmetros acústicos utilizados nesta pesquisa, buscando entender suas definições e critérios. O Capítulo 4 é o capítulo da metodologia e mostra como o trabalho foi conduzido. No Capítulo 5 é feita a análise e avaliação da sala a partir dos dados obtidos por meio da etapa de medição e dos critérios dos parâmetros acústicos estudados. O Capítulo 6 mostra como o modelo computacional foi validado para representar o comportamento dos parâmetros acústicos na sala. Ainda no Capítulo 6 é estudada uma proposta de adequação acústica para o ambiente. No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões do trabalho.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Este capítulo é dividido em quatro partes. A primeira parte versa sobre o contexto histórico em que se insere o objeto de estudo deste trabalho, o Anfiteatro Isaltino Casemiro, localizado na cidade de Porto Ferreira, contando como ele surgiu, de quais momentos históricos ele fez parte, e qual foi sua função ao longo do tempo. A segunda parte contextualiza geograficamente o anfiteatro em questão. A terceira parte apresenta uma revisão bibliográfica, sobre os conceitos de *retrofit*, patrimônio e patrimônio ferroviário, além de buscar entender como o local estudado se conecta a estes conceitos. A última parte deste capítulo destina-se a uma breve análise sobre alguns exemplos importantes de *retrofit* que possam servir de embasamento para o estudo em questão.

2.1 CONTEXTO HISTÓRICO

É quase impossível separar a história do Anfiteatro Isaltino Casemiro da história da cidade de Porto Ferreira, pois, como veremos na sequência, ele, se não foi o primeiro prédio da cidade é um dos mais antigos.

Porto Ferreira é uma pequena cidade brasileira, localizada no interior do estado de São Paulo, na microrregião de Pirassununga. O rio Mogi-Guaçu corta o município e foi ao redor de suas margens que a cidade nasceu por volta dos anos de 1860. Uma balsa que efetuava a travessia de passageiros e mercadorias através do rio marca o início da história da cidade. O nome “Porto Ferreira” deriva justamente do nome do responsável por aquele ponto fluvial, o Balseiro João Inácio Ferreira. Nas palavras de J. P. Da Motta Júnior:

Deu o nome a esta pittoresca localidade o barqueiro João Ignacio Ferreira, que ahi viveu por muitos annos, dando passagem em uma barca sobre o rio Mogy-guassú, aos viajantes que demandavam o centro d'esta provincia. (...)

(...) Era ahi, no Porto-Ferreira, que outr'ora estacionavam as moções vindas do deserto para conduzirem sal e café para longínquas pairagens.

N'esse bom tempo, apenas havia no Porto-Ferreira a pobre habitação do honrado barqueiro: era uma pequena casa coberta com telhas. (LISBOA, 1884, p. 47-48)

No ano de 1879, com 62 anos de idade, o Balseiro João Ferreira faleceu. No entanto, como o seu nome batizou a cidade, ele permanece na memória de seus habitantes até os dias de hoje. No ano de seu falecimento, Porto Ferreira já havia crescido e se tornado um pequeno vilarejo. Nessa época, a pequena, porém florescente povoação, estava situada em terrenos da Companhia Paulista¹, e dava obediência ao município de Bethlem do Descalvado (hoje apenas Descalvado).

Neste período histórico, o Estado de São Paulo era o maior produtor de café do mundo. O âmago dessa produção era a cidade de Ribeirão Preto, e a concessão dos trilhos que levavam a essa cidade era alvo de disputa entre a Companhia Paulista e a Companhia Mogiana de Estradas de Ferro².

Buscando expandir a malha ferroviária para o coração da produção cafeeira, em 15 de janeiro de 1880, a Companhia Paulista trouxe seus trilhos até o Porto de João Inácio Ferreira. A Paulista não poderia avançar mais naquele momento, pois aguardava o governo decidir qual das duas companhias teria autorização para adentrar sentido Ribeirão Preto e, portanto, sentido café.

Além de trazer a estrada de ferro, a Companhia Paulista precisou realizar outras obras a fim de criar as condições necessárias para se firmar na região. Nesse contexto, construiu um armazém, edificação que ainda existe, e hoje é exatamente o Anfiteatro Isaltino Casemiro, objeto de estudo deste trabalho (GIESBRECHT, 2018). A Figura 1 mostra um recorte do relatório anual (29 de fevereiro

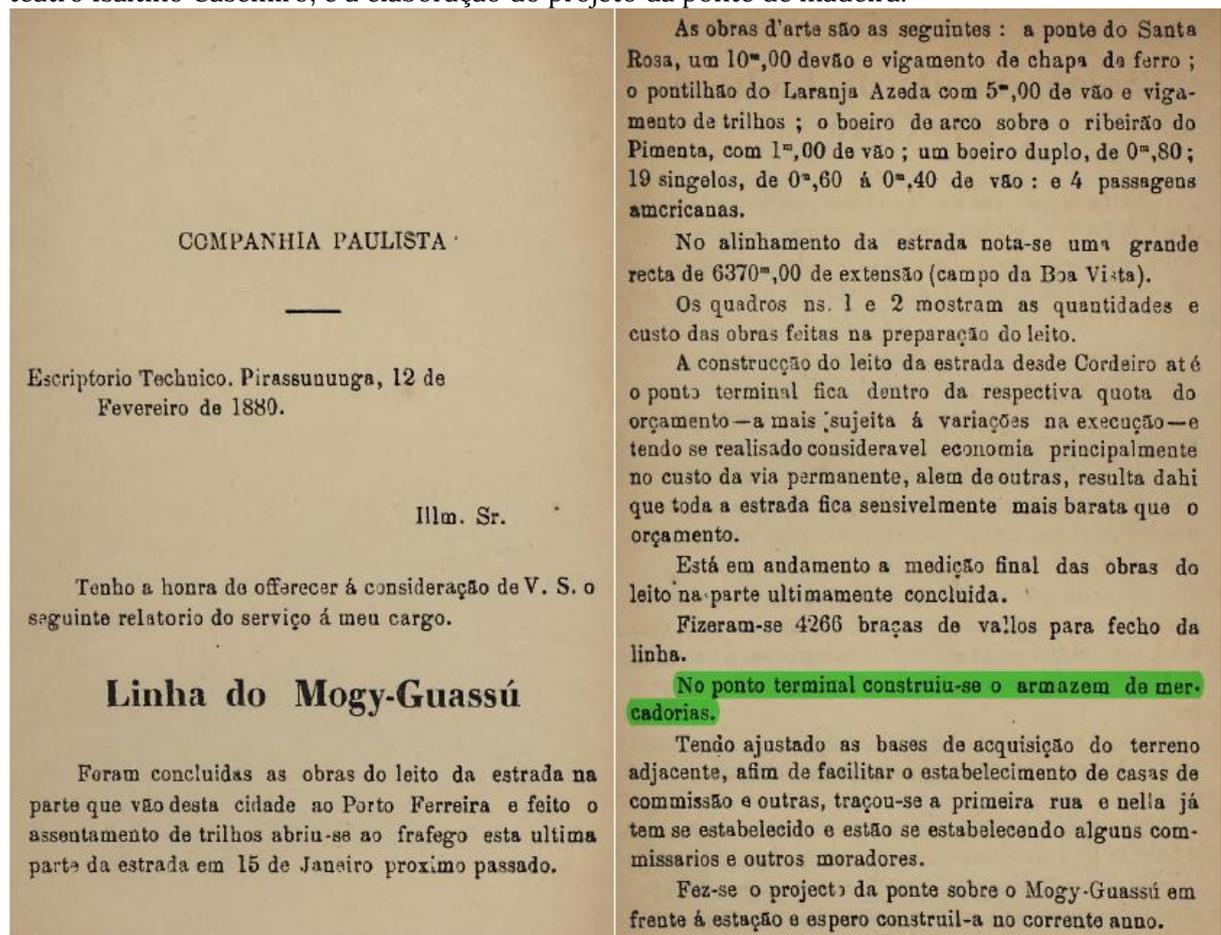
¹ A Companhia Paulista de Estradas de Ferro (1868-1971) foi uma das mais importantes companhias ferroviárias do país.

² A Companhia Mogiana de Estradas de Ferro (1872-1971) foi uma companhia ferroviária brasileira com sede na cidade paulista de Campinas.

de 1880) da Companhia Paulista. Nele é possível ver exatamente o nascimento deste prédio. A construção marca simplesmente a gênese da cidade e por isso tem um valor histórico inestimável.

Enquanto aguardava a resposta do governo provençal, em 7 de novembro de 1881, a Companhia Paulista inaugurou a chegada dos seus trilhos até Descalvado. Ainda em 1881, a Balsa, que foi a semente germinante de Porto Ferreira, foi comprada também pela Paulista, que a desativou logo em seguida, e, para cumprir a função da travessia, construiu uma ponte de madeira ligando as margens do rio. A ponte já havia sido projetada no ano de 1880, conforme se lê no último parágrafo do trecho recortado (Figura 1).

Figura 1 - Relatório da Companhia Paulista, 1880. Registra a construção do armazém, hoje Anfiteatro Isaltino Casemiro, e a elaboração do projeto da ponte de madeira.



Fonte: Relatório da Diretoria da Companhia Paulista, 29 de Fevereiro de 1880.

Em 1883, a decisão preferiu favorecer a Companhia Mogiana com relação à concessão dos ramais rumo ao centro cafeeiro do Estado de São Paulo. Isso fez com que a Companhia Paulista procurasse novos caminhos a fim de não perder o lucrativo negócio do transporte das safras do café.

A ponte de madeira anteriormente construída foi então utilizada para passar os trilhos da *E. F Santa Rita*, uma estrada de ferro aberta em 1884 por fazendeiros da cidade vizinha de Santa Rita do Passa Quatro, ligando Porto Ferreira a essa cidade. A Companhia Paulista apoiou os fazendeiros na construção deste ramal, que sete anos depois, em 1891, foi incorporado à empresa. Inicialmente, esse ramal ligava Porto Ferreira a Santa Rita do Passa Quatro e Vassununga³, e era um dos únicos trilhos da Paulista com bitola estreita (60cm).

No período narrado até agora, ou seja, entre o falecimento de João Ferreira (1879) e 1885, o povoado de Porto Ferreira cresceu rapidamente.

O Porto-Ferreira, que, ha seis annos, era um local remotíssimo, é hoje um dos logares que mais rapidamente tem progredido n'esta província.

O anno passado (1883), contava apenas dez casas cobertas com telhas; hoje, segundo uma recente estatística que fiz, conta trinta casas cobertas com telhas, sete cobertas com palha e muitas em construção.

O seu commercio consta de três lojas de fazendas e ferragens, tres armazéns de commissões, cinco casas de secos e molhados, um hotel, uma padaria, uma botica, um bilhar, uma ferraria, uma hospedaria e uma escola particular (LISBOA, 1884, p. 47-48).

O desenvolvimento da região ganhou mais força ainda em 1885, quando foi construído o dique do córrego *Santa Rosa*, obra que tornou possível o atracamento dos vapores no porto do rio Mogi-Guaçu, marcando a chegada da navegação fluvial. O transporte pelas águas foi uma das alternativas em que a Companhia Paulista apostou para atingir a região do café. Esta decisão fez com que a cidade

³ Vassununga era uma usina de açúcar localizada no município de Santa Rita do Passa Quatro. Hoje ainda produz açúcar, mas com o nome de usina Santa Rita.

de Porto Ferreira fosse rota do escoamento de diversos produtos. Os transportes fluvial e ferroviário puderam então se conectar, conforme sugere o relatório do então presidente da província:

"Em Porto Ferreira tem a companhia uma doca e guindaste a fim de baldear as cargas das lanchas directamente para os vagões da ferrovia e vice-versa" (Relatório do Presidente da Província, 1886, ref. 1885).

Nem sempre era possível transferir diretamente as cargas dos barcos para os vagões dos trens. Exatamente por isso, o armazém (hoje anfiteatro) foi muito utilizado, pois era lá que os produtos (especialmente o café) que seriam transferidos da malha fluvial para a malha ferroviária ficavam armazenados quando precisavam aguardar algum tempo para a baldeação.

Naquele momento, entretanto, a estação ferroviária de Porto Ferreira ainda não possuía um prédio adequado, contudo, ainda assim a estrada de ferro e a navegação trouxeram um enorme crescimento para a cidade como previu poeticamente J. P. Da Motta Júnior:

De todos os pontos de commercio central, d'esta provincia, nenhum dispõe de tão bellos elementos para um brilhante futuro como seja Porto-Ferreira, que ainda hontem dormia sobre as fimbrias da túnica da solidão; e hoje, qual criança despertada do somno infantil, brinca com o silvo da locomotiva que passa, e espera ouvir o echo do vapor que sin-grando as águas do Mogy, brevemente levará ao sertão a noticia do seu progresso. (LISBOA, 1884, p. 47-48)

A prosperidade daquele momento histórico levou a cidade a ser reconhecida como município em 1896. Contudo, no ano de 1903 Porto Ferreira viveu uma nova realidade. Com a mudança das oficinas dos trens de bitola de 60 cm para Jundiaí, a manutenção e construção de vagões ferroviários passou a ser um trabalho mais custoso e demorado. Além disso, neste mesmo ano, no dia 1º de maio, a navegação fluvial foi encerrada pela Companhia Paulista, pois a essa altura

a estrada de ferro já havia atingido os principais portos e era um meio mais rápido, seguro e eficaz. No entanto, essa mudança impactou a vida dos habitantes e levou inclusive a uma redução da população da cidade.

Apesar dos infortúnios, a Companhia Paulista continuou investindo na localidade, e finalmente, em 1913, construiu a estação ferroviária definitiva, que junto ao armazém passou a constituir o complexo ferroviário da cidade.

A estação ainda hoje tem sua construção preservada, embora já não mais desempenhe sua atividade original, o armazém como já dito, hoje funciona como um anfiteatro, ao passo que os outros prédios da estação abrigaram a secretaria de cultura local até o ano de 2018.

De 1913 até 1976, a estrada de ferro esteve ativa, carregando passageiros e mercadorias. Em 1975, um ano antes de ser desativada, a estação foi o cenário nostálgico da filmagem do comercial dos cigarros Continental. Tendo participação do ator Herson Capri ao som da música “Eu Voltei” de Roberto Carlos.

Depois disso a estação ficou abandonada até 1995, quando houve uma reforma com objetivo justamente, de transformar a antiga estação no prédio da Secretaria de Cultura do município.

Mais precisamente, em 2006, o armazém foi reformado e inaugurado pela primeira vez. A reforma visou preparar o prédio para desempenhar a função de anfiteatro, que o nome do seu patrono, Isaltino Casemiro, uma homenagem a este homem que sempre esteve ligado à música e que também trabalhou por anos na Companhia Paulista de Estradas de Ferro (FABBRI,2014).

Isaltino era conhecido por ser multi-instrumentista. Seu instrumento de coração era o violão, mas também tocava cavaquinho, bandolim e acordeão. No início da década de 1960, este homenageado trabalhou em um programa de calouros intitulado “Onde nascem os astros”, apresentado pela Rádio Primavera (rádio local). Seu trabalho consistia em orientar e preparar os calouros para as apresentações. Além disso, neste mesmo período, Isaltino fazia parte da “Little Boys”, uma Big Band da cidade de Santa Rita do Passa Quatro que tocava Jazz, tendo seu repertório baseado na famosa orquestra de Ray Conniff.

Na década seguinte, 1970, Isaltino fundou um conjunto de choro chamado “Batutas do Choro”. E, por fim, foi diretor social da Associação dos Aposentados e Pensionistas de Porto Ferreira. Faleceu em 25 de julho de 2006, exatamente no ano em que o anfiteatro foi inaugurado em sua homenagem.

Desde então o anfiteatro serviu a cidade como um espaço multifuncional, envolvendo desde eventos musicais, além de apresentações de teatro, ballet, cultos religiosos, reuniões, palestras e tanto mais.

Apesar de todo o valor histórico do prédio, e mesmo após a inauguração de 2006, ele não apresentava as condições estruturais necessárias para a realização das atividades, principalmente com relação às normas de segurança e às novas normas de acessibilidade para a pessoa com deficiência. Por esses motivos, o espaço estava subutilizado. Somente no ano de 2014, veio à tona a necessidade de revitalização do espaço. A prefeitura da cidade realizou então uma obra visando a adequação e reinaugurou o anfiteatro no dia 18 de julho de 2014. A Figura 2 mostra o momento da reinauguração que integrou a festa de aniversário de 118 anos da cidade.

A cerimônia reuniu autoridades do município e convidados. Discursaram o diretor do Departamento de Cultura e Turismo, Paulo Mendes Monteiro, e a prefeita Renata Braga. A pianista Lygia Lima Francalacci executou o Hino Nacional e foi muito aplaudida pelos presentes.

Na sequência houve a apresentação da Big Band André Ruiz, que presta homenagem ao músico ferreirense falecido em setembro de 2009. O professor Walter Ferreira da Silva, pai do patrono da big band e integrante do grupo, se fez presente, assim como demais familiares.

No descerramento da placa inaugural foi convidada a senhora Luiza Aprígio Casemiro, viúva do patrono do anfiteatro. (FABBRI,2014)

Figura 2 – Reinauguração após revitalização (2014).



Fonte: (FABBRI, 2014)

A reforma contou com a instalação de um forro PVC anti-chama, a instalação de portas com travas anti-pânico, um novo sistema de iluminação, a troca de todos os ventiladores e por fim uma nova pintura em todo o prédio (FABBRI,2014).

Desde então existe uma preocupação das autoridades locais com a preservação do anfiteatro. A possibilidade de Tombamento vem sendo estudada pelas autoridades locais como sugere o recorte indicado na Figura 3. O trecho faz parte de um documento ⁴emitido pela Casa dos Conselhos da cidade, em 21 de dezembro de 2017.

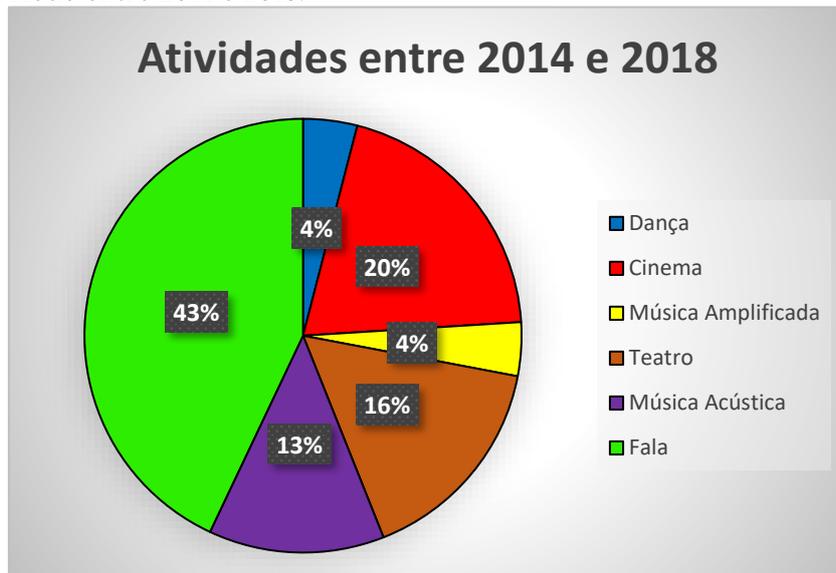
⁴ Documento disponível na íntegra para consulta no Anexo B.

Figura 3 - Recorte de documento emitido pela Casa dos Conselhos de Porto Ferreira na terceira quarta feira de cada mês sendo a próxima reunião em 21 de fevereiro de 2017. **III** – Do Patrimônio Histórico. Os Conselheiros examinam a as **possibilidades de Tombamento** através de Legislação específica, de vários prédios em nosso município, estabelecendo como prioridade os Prédios da Antiga Fepasa, onde está localizada a Casa da Cultura e o **Anfiteatro Isaltino Casemiro**. Outros edifícios foram sugeridos pelos conselheiros sendo: - 1- A Ponte de Ferro sobre o Rio Mogi Guaçu, 2- o prédio do Museu, antiga Delegacia de Polícia, 3 – o antigo prédio da CESP atual Casa dos Conselhos, 4 – o prédio do Matadouro, 5 – A Praça Pascoal Salzano, 6 – Os Chaminés ainda existentes no Município, como o da Cia. Nestle, o da Cerâmica Porto Ferreira, o da Prada Força e Luz e outros. 7 – o Paredão de Pedra do antigo Cais. Como estratégia para os primeiros passos a Plenária do Conselho define como meta o levantamento dos documentos de cada um dos itens citados que poderão ser apresentados nas próximas reuniões. Também para pauta da próxima reunião ficou definida a apresentação de prédios

Fonte: Documento emitido pela Casa dos Conselhos de Porto Ferreira, disponível para consulta no Anexo B.

Após a reforma, o espaço passou a ser utilizado com maior frequência, mas ainda se mostra inadequado para as atividades que desempenha, principalmente por não possuir uma condição acústica favorável. A Tabela 23 do Anexo A traz as principais atividades realizadas desde de 2014, e o Figura 4 mostra a distribuição percentual destas mesmas atividades.

Figura 4 - Distribuição percentual das atividades realizadas no período entre 2014 e 2018.



Fonte: Autor

Segundo informe da Secretaria de Cultura de Porto Ferreira, o que se projeta para o anfiteatro é o aumento das atividades culturais envolvendo música, cinema e teatro. A prefeitura cogitou a construção de um novo espaço para a cidade dedicado à realização das atividades culturais, contudo, a falta de verba orçamental é um empecilho. Uma saída sem dúvida é adequar o espaço para que possa desempenhar com mais eficiência a nova função que lhe foi atribuída, dando continuidade ao processo de revitalização, conscientizando a população da importância do prédio enquanto patrimônio histórico cultural. Para as atividades lá realizadas, é de especial importância um olhar para a questão acústica, e sua adequação, e é principalmente este aspecto que será abordado neste trabalho.

Para complementar este primeiro contato com objeto de estudo apresentam-se as Figuras de 5 à 14, que mostram um pouco do Anfiteatro Isaltino Casemiro atualmente após passar pelas diversas transformações discutidas nesta seção.

Figura 5 – Visão interna do anfiteatro.



Fonte: Autor

Figura 6 – Janela de madeira, visão interna.



Fonte: Autor

Figura 7 – Visão da face onde se encontra o portão de acesso ao público



Fonte: Auto

Figura 8 – Portão de acesso ao público



Fonte: Autor

Figura 9 – Visão da face onde se encontra o portão de acesso ao público



Fonte: Autor

Figura 10 – Portão de acesso localizado na face oposta à face do portão de acesso ao público



Fonte: Autor

Figura 11 – Janela de madeira, visão externa.



Fonte: Autor

Figura 12 – Visão lateral com diversas janelas de madeira.



Fonte: Autor

Figura 13 – Janela de ventilação.



Fonte: Autor

Figura 14 - Telhado, vista aérea.



Fonte: Fotografia feita com drone, cortesia de Marcos Zaniboni

2.2 DESCRIÇÃO GEOGRÁFICA

O Anfiteatro Isaltino Casemiro se localiza, no município de Porto Ferreira, que pertence ao Estado de São Paulo. O local fica a uma distância de 1500 metros da Rodovia Anhanguera (SP-330), km 227, e a 500 metros do Rio Mogi Guaçu, assim como mostra a Figura 15.

Figura 15 - Localização geográfica do Anfiteatro Isaltino Casemiro



Fonte: Google Maps

Dentro da cidade, o anfiteatro se localiza no Centro, na Avenida Eng. Nicolau De V. Forjaz, principal avenida da cidade, ocupando a região da antiga FE-PASA juntamente com o prédio da Secretaria de Cultura. O local é de fácil acesso para a população e conta com um grande espaço destinado a estacionamento para os dias de eventos culturais (Figura 16).

Figura 16 - Localização do Anfiteatro dentro do município.



Fonte: Google Maps

A Figura 17 mostra tanto a visão externa, com a parede que contém o portão de acesso quanto a visão interna do anfiteatro. A Figura 18 mostra parte da mata ciliar que separa o rio Mogi Guaçu e o anfiteatro.

Figura 17 - Portão de acesso (a) e visão interna (b).



(a)



(b)

Fonte: Autor

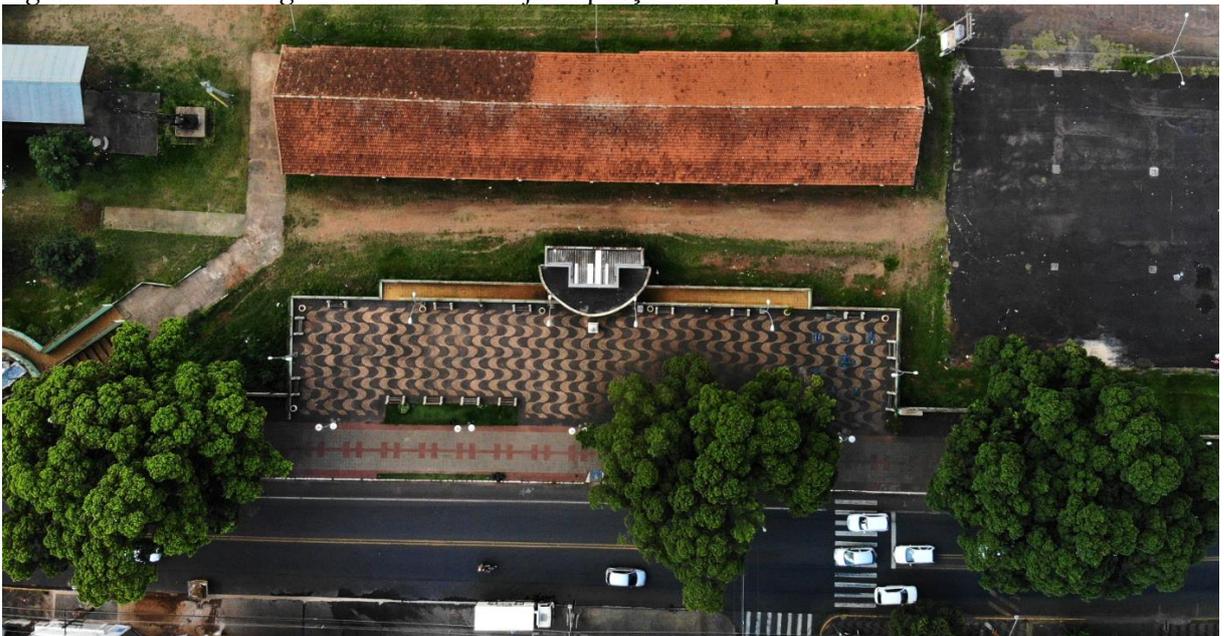
A Avenida Eng. Nicolau De V. Forjaz, e o estacionamento podem ser vistos em maiores detalhes na Figura 19.

Figura 18 - Mata ciliar próxima ao anfiteatro.



Fonte: Fotografia feita com drone, cortesia de Marcos Zaniboni

Figura 19 - Avenida Eng. Nicolau De V. Forjaz e praça da fonte próximas ao anfiteatro.



Fonte: Fotografia feita com drone, cortesia de Marcos Zaniboni

2.3 O RETROFIT, PATRIMÔNIO E PATRIMÔNIO FERROVIÁRIO

Neste capítulo será feita uma breve apresentação sobre os conceitos de retrofit, patrimônio e patrimônio ferroviário. O conteúdo está dividido em três partes. A primeira busca elucidar qual o sentido do termo retrofit na arquitetura. A segunda discute brevemente a ideia de patrimônio, e a terceira aprofunda um pouco mais sobre a história da ferrovia no Brasil e como surgiu a compreensão do Patrimônio Ferroviário. Esta análise é importante para que se possa refletir justamente sobre o objeto de estudo deste trabalho, uma vez que o Anfiteatro Isaltino Casemiro é produto da história da ferrovia neste país.

2.3.1 O Retrofit na Arquitetura

Originalmente a palavra retrofit surgiu no contexto da aviação e fazia referência à atualização tecnológica das aeronaves. Contudo, hoje ela é utilizada em diversas áreas de conhecimento, inclusive no ramo da construção civil (MORARES, 2012).

Uma análise etimológica da palavra retrofit nos dá um importante ponto de partida para entender o seu conceito. O prefixo “retro” vem do latim e significa “para trás”, o sufixo “fit” é um verbo em inglês, que significa ajustar, adaptar, encaixar. O retrofit de uma edificação antiga significaria então ajustar a construção para as necessidades atuais.

Para Barrientos (2004), a ideia de retrofit “diz respeito ao processo de modernização e atualização de edificações, visando torná-las contemporâneas, valorizando os edifícios antigos, prologando sua vida útil, seu conforto e funcionalidade através da incorporação de avanços tecnológicos e da utilização de materiais de última geração”.

Segundo Do Vale (2006), o retrofit “busca pela sincronicidade do edifício com o tempo presente, de modo a vitalizá-lo com novos materiais e tecnologias,

evitando que se torne obsoleto e permitindo que acompanhe o desenvolvimento tecnológico dos grandes centros urbanos”.

A norma NBR 15575-1:2013 define retrofit como sendo a “remodelação ou atualização do edifício ou de sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil, eficiência operacional e energética”.

O arquiteto Nelson Dupré (2017), responsável pelo projeto da *Sala São Paulo*, antiga *Estação Júlio Prestes*, faz algumas anotações com relação aos conceitos de retrofit, restauro e reforma. Para ele, o retrofit é dar nova vida a algo pré-existente, equivale a revitalizar. O restauro seria recuperar algo desgastado pelo uso, no sentido de reconstituir. Por fim, a reforma consistiria em introduzir mudanças em algo com a finalidade de aprimorar.

É claro que estes conceitos se cruzam em alguma medida, visto que uma mudança introduzida pela reforma, por exemplo, pode ser exatamente o elemento necessário para dar nova vida à edificação, e, portanto, caracterizar o retrofit. O próprio Nelson Dupre (2017) deixa claro que existe uma forte ligação entre o restauro e o retrofit quando se trata de edifícios de patrimônio histórico.

Interpretando as palavras de Dupre, o retrofit parece estar amarrado à ideia de recuperar o uso da edificação. Dar vida é justamente fazê-la ter sentido prático no cotidiano, reintegrando-a. Observa-se, no entanto, que tanto o conceito de restauração quanto o de reforma não possuem esta mesma amarra, ou seja, é possível restaurar por si só, não existe a necessidade de colocar a construção restaurada em atividade.

A prática do retrofit começa a ter relevância a partir do momento em que construções antigas passam a cair em desuso, abandono ou sub uso. Com o avanço tecnológico e com as transformações das tendências arquitetônicas, algumas construções podem perder a sua utilidade, algumas vezes por questões inclusive ligadas à legislação vigente. Como exemplo disso, temos o próprio objeto deste trabalho, o Anfiteatro Isaltino Casemiro, que, conforme descrito a Seção 2.1, foi submetido a algumas reformas, entre elas a instalação de um forro PVC anti-

chama, e de portas com travas anti-pânico. Estas reformas foram necessárias para que o prédio pudesse estar de acordo com as normas de segurança. Contudo, quando o projeto original foi concebido, no ano de 1880, sequer se sonhava com a norma atual tal como é, ou com a função que este prédio viria a ter.

O conceito do retrofit no universo da Arquitetura nasceu na Europa e nos Estados Unidos, no final da década de 1990 (MORARES, 2012). Nestes países a legislação era rígida com relação à proteção do patrimônio arquitetônico. Na Europa especialmente, a densidade de construções históricas foge à imaginação. Neste sentido, a demanda para o retrofit surgiu do seguinte dilema: o que fazer com as construções antigas de patrimônio? A demolição é inconcebível, pois significaria derrubar parte da história da humanidade, numa demonstração de insensibilidade combinada com irresponsabilidade. Por outro lado, a existência destas construções não pode apenas ser sustentada por seu valor histórico. É também irresponsável e insensível manter estes patrimônios subutilizados.

Hoje o Brasil sofre algo semelhante ao que a Europa passou. Segundo (DO VALE, 2006), existe um conflito entre o desenvolvimento das cidades e a defesa das áreas tombadas. Em meio a este conflito, o retrofit se apresenta como uma opção que deve ser considerada em duas situações:

- (a) Quando é mais economicamente vantajoso recuperar uma construção do que iniciar uma nova.
- (b) Quando se trata de edificações de patrimônio histórico, onde existe a necessidade de criar condições para que a construção se adapte a um novo uso.

É fundamental e urgente começar a pensar como o reuso das edificações de patrimônio é interessante e como esta prática está diretamente ligada à ideia de sustentabilidade. Aproveitar estas construções em detrimento de erguer

novos prédios sem dúvida provoca um menor impacto ao meio ambiente, pois implica em uma necessidade a menos de construir. Dito isso, é oportuno lembrar que o ramo da construção civil é um dos que mais agride o meio ambiente:

“O Brasil é responsável 685 000 000 de toneladas de entulhos, que geram custos para coleta, transporte e deposição desses resíduos, pois a construção civil usa de materiais não-renováveis. O reaproveitamento de materiais de demolição também seria uma alternativa viável, já que evita o desperdício e são reciclados e reutilizados” (SPADOTTO et al., 2011, pg. 175).

“Além dos preocupantes números apresentados que, segundo o Ministério do Meio Ambiente (2016), representam mais de 50% dos resíduos sólidos gerados pelo conjunto das atividades humanas, fica claro a necessidade de se pensar em ações concretas para reduzir, o mais rápido possível, os níveis de poluição provenientes deste setor.” (DINIZ, 2016)

Nesse contexto, o retrofit é uma forma eficiente de conservar o passado e promover a sustentabilidade. Além disso, a reintegração da edificação ao cotidiano da comunidade parece ser um fator determinante para a sua preservação. Na concepção do arquiteto francês Viollet-le-Duc (2000), a maneira mais eficaz de preservar uma construção histórica é encontrar para ela uma função. Reis Filho (1992) e Lyra (1984) endossam a ideia de que a restauração, visando o reuso, contribui para a preservação e acrescentam a vantagem econômica associada, uma vez que envolve custos menores de execução do que iniciar uma nova obra.

Alguns obstáculos podem ser encontrados durante o processo de reintegração. Segundo Diniz (2016), a legislação vigente pode não ser suficiente para evitar a destruição destes edifícios, além disso a população muitas vezes acredita que o pensamento de preservação anda na contramão do progresso e que é sinônimo de estagnação.

2.2.2 Conceito de Patrimônio - Uma Breve Discussão

A palavra patrimônio tem origem no latim, no império romano, entretanto, na sociedade patriarcal romana, o patrimônio não se estendia ao coletivo, mas apenas aos bens individuais acumulados. O conceito de patrimônio como bem coletivo viria a surgir apenas na Idade Média quando as grandes obras das igrejas, templos e prédios passaram a incorporar a paisagem da cidade e, portanto, fazer parte da vida da população de forma coletiva.

Contudo a ideia de valorizar bens antigos, incluindo as edificações, surgiu no período do renascimento cultural. Neste momento histórico, houve uma veneração à cultura dos povos clássicos, especialmente gregos e romanos, e evidenciou-se o colecionismo, que consistia em salvaguardar artefatos do período clássico.

Patrimônio histórico tal qual como se pensa hoje teve seu princípio com a formação dos estados nacionais e com a Revolução Francesa, e está diretamente ligado ao conceito moderno de identidade cultural. A necessidade de formar valores nacionais tais como a língua, território e cultura, levou à criação de escolas, museus e políticas a fim de constituir um patrimônio nacional.

A preocupação com a preservação destes patrimônios vem inicialmente com a Revolução Francesa. As revoltas populares eram violentas e ameaçavam principalmente a integridade das edificações. Fato análogo aconteceu com o restante do mundo durante a Primeira e a Segunda Guerra Mundial. Após estes eventos históricos, iniciou-se uma onda de restauração dos monumentos destruídos.

A criação da ONU e da UNESCO são marcos importantes para a defesa do patrimônio da humanidade que pela primeira vez, em 1972, foi definido pela UNESCO como sendo:

Monumentos - obras arquitetônicas, esculturas, pinturas, vestígios arqueológicos, inscrições, cavernas; Conjuntos - grupos de construções; Sítios - obras humanas e naturais de

valor histórico, estético, etnológico ou científico; Monumentos naturais – formações físicas e biológicas; Formações geológicas ou fisiográficas – habitat de espécies de na mais e vegetais ameaçados de extinção; Sítios naturais – áreas de valor científico ou de beleza natural (FUNARI, 2009).

Desde então esta definição foi ampliada através de diversas cartas publicadas, tais como: Cartas de Veneza (1964), Amsterdã (1975), Machu Picchu (1977), Tlaxcala (1982).

No Brasil, foi na década de 1930 que o tema do patrimônio passou a ser discutido. A primeira medida prática veio com a constituição de 1934, que buscou impedir a debandada das obras de arte do Brasil. Neste mesmo período, houve uma reflexão com relação ao papel social da propriedade privada, buscando mecanismos de regular a maneira como os patrimônios históricos poderiam ser conservados quando inseridos neste contexto de propriedade individual. Tudo isso culminou no surgimento da lei Nacional nº 25/1937, a lei do tombamento.

Em 1936, foi criado o Serviço de Patrimônio Histórico e Artístico (SPHAN), cujo objetivo era a preservação do patrimônio brasileiro. Em 1970, o SPHAN se transformou no Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), até hoje em atividade.

A Constituição Federal de 1988 definiu o patrimônio cultural brasileiro:

Art. 216. Constituem patrimônio cultural brasileiro os bens de natureza material e imaterial, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira, nos quais se incluem:

- I - as formas de expressão;
- II - os modos de criar, fazer e viver;
- III - as criações científicas, artísticas e tecnológicas;
- IV - as obras, objetos, documentos, edificações e demais espaços destinados às manifestações artístico-culturais;
- V - os conjuntos urbanos e sítios de valor histórico, paisagístico, artístico, arqueológico, paleontológico, ecológico e científico (BRASIL, 1988).

2.2.3 O Nascimento do Patrimônio Ferroviário no Brasil

Leniaud (1992), em seu livro “L'utopie française : essai sur le patrimoine” define patrimônio como sendo “um conjunto de coisas do passado que são transmitidas às gerações futuras em razão de seu interesse histórico e estético”.

No Brasil, a estrada de ferro teve tamanha importância histórica, que foi necessário criar meios específicos para proteger o espólio remanescente. A este espólio deu-se o nome de Patrimônio Ferroviário.

A primeira ferrovia foi inaugurada no Brasil em 30 de abril de 1854, durante o período imperial governado por D. Pedro II. O primeiro trecho ligava o Porto Mauá ao Fragoso no Rio de Janeiro, e tinha 14 Km de extensão (IPHAN/PROGRAMA MONUMENTA, 2010). Já em 1889, ano da proclamação da República, a estrada de ferro teria 9.583 Km de extensão (XAVIER, 2017). O crescimento rápido foi resultado do crescente mercado do café e do já consolidado mercado do açúcar. Inúmeras regiões se desenvolveram por conta da ferrovia e do café, como exemplo temos a própria cidade de Porto Ferreira.

Até 1930, a ferrovia dominou o transporte brasileiro, tanto de carga quanto de passageiros. Esse domínio começou a dar sinais de que iria acabar durante o governo de Washington Luís (1926-1930), quando foi investida uma significativa quantidade de verbas para a construção de estradas de rodagem nos principais Estados do Brasil (STEFANI, 2007).

Em julho de 1934, durante o governo de Getúlio Vargas, foi criado o Departamento de Estradas de Rodagem. De acordo com Leister (1979), em 1941, houve um adensamento da rede rodoviária no estado de São Paulo. Leister acredita que isso aconteceu devido a maior mobilidade que a rodovia oferecia.

Além do incentivo ao transporte rodoviário, outros fatores combinaram para o enfraquecimento das ferrovias, dentre eles a Primeira e a Segunda Guerra Mundial, que dificultaram tanto a importação de peças para as ferrovias quanto a exportação do café, algodão, fumo e outros produtos. Isso levou o transporte fer-

roviário a perder a sua “renda” e passar a dar prejuízo (IPHAN/PROGRAMA MONUMENTA, 2010). Outro fator decisivo foi a falta de integração da malha ferroviária neste período.

Até meados do século XX, as ferrovias apresentavam poucos eixos de integração nacional, configurando-se em arquipélagos desconexos de redes densas e desintegradas, resultado do projeto inicial de implantação com foco apenas na ligação das zonas produtoras e portos de escoamento (IPHAN/PROGRAMA MONUMENTA, 2010)

Como consequência do baque econômico, diversas empresas passaram para o controle estatal. Entre 1951 e 1953, ainda durante o governo de Getúlio Vargas, houve empenho para elaborar um plano de financiamento visando melhorias na infraestrutura do país. Para isso, foi criada a Comissão Mista Brasil-Estados Unidos para o Desenvolvimento Econômico. Esta Comissão, através de estudos e pesquisas, concluiu que seria mais vantajoso desativar algumas linhas férreas que não contribuíam positivamente para a economia. Além disso, foi proposta a criação de uma administração que cuidasse de toda a malha ferroviária do país. Neste contexto surgiu, em 1957, a Rede Ferroviária Federal S. A (RFFSA) (STEFANI, 2007).

A RFFSA era uma tentativa de gerir a malha ferroviária, buscar a redução de despesas e a modernização. A criação veio da consolidação de 18 ferrovias regionais, e atendia a 19 unidades da federação.

Entretanto, apesar dos esforços de Getúlio Vargas, a ferrovia brasileira sofreu com algumas medidas políticas. Uma das mais importantes foi o “Plano de Metas” instituído por Juscelino Kubitschek. Este plano estabeleceu o sistema automotivo como prioridade para o Brasil. Dali em diante o uso da ferrovia declinou progressivamente.

A importância histórica da ferrovia no Brasil é incontestável. O trem ainda vive no imaginário da população. Virou música e poesia. Na década de 1980, este fato já era percebido, e o governo, no âmbito do Ministério dos Transportes, iniciou seus esforços para a preservação do patrimônio através da criação de um

Programa de Preservação do Patrimônio Histórico dos Transportes (PRESERVE). O projeto que envolvia a RFFSA teve início em 1981 e abrangia a preservação da história ferroviária em localidades do Nordeste, Sudeste e Sul do país (IPHAN/PROGRAMA MONUMENTA, 2010).

O PRESERVE priorizou o acervo dos imóveis, material rodante e equipamentos com valor histórico e cultural. Além disso diversos documentos da área jurídica e administrativa também foram conservados.

A RFFSA esteve em atividade por aproximadamente 40 anos, quando, no ano de 1992, durante o governo Collor, foi incluída no Programa Nacional de Desestatização. A sua privatização acabou ocorrendo no período entre 1996/1998, e, vale destacar, que pouco tempo antes de efetivada, a FEPASA¹ foi incorporada à RFFSA².

Como forma de manter a Memória Ferroviária viva, foi promulgada a Lei Nacional 11.483/2007, que lei atribui ao IPHAN a responsabilidade pela administração do Patrimônio Ferroviário.

Art. 9º - Caberá ao Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN receber e administrar os bens móveis e imóveis de valor artístico, histórico e cultural, oriundos da extinta RFFSA, bem como zelar pela sua guarda e manutenção (Lei Nacional 11.483/2007).

Desde este momento, o IPHAN passou a realizar o Inventário de Conhecimento do Patrimônio Cultural Ferroviário. Faz parte das atribuições do IPHAN definir os critérios de valoração para os bens, tanto no âmbito histórico como artístico e cultural. Além disso, o órgão em questão é o único competente para isto (IPHAN/PROGRAMA MONUMENTA, 2010).

¹ A FEPASA foi a fusão das ferrovias presentes no Estado de São Paulo, que só se concluiu em 1971 com a incorporação da Companhia Paulista.

² Disponível em <https://www.rffsa.gov.br/> (Inventariança da extinta Rede Ferroviária Federal S.A.)

A atribuição de valor é um procedimento delicado. Segundo o próprio Manual do Patrimônio Ferroviário (IPHAN/PROGRAMA MONUMENTA, 2010), o conceito de monumento histórico vem se transformando. A tendência é que deixe de ser encarado apenas como algo monumental, imponente ou grandioso à medida que se considerem também as variáveis sociais e econômicas. Entende-se por monumento algo que retrate a cultura de uma população pertencente a um dado contexto histórico e geográfico. Como dito no Manual Técnico do Patrimônio Ferroviário, “... Nesse sentido, monumento pode ser tanto uma deslumbrante catedral, quanto uma simples e rústica casa de taipa... (IPHAN/PROGRAMA MONUMENTA, 2010)”

O Anfiteatro Isaltino Casemiro, objeto de estudo deste trabalho, se encaixa exatamente nesta visão. Embora tivesse no passado cumprido uma função de armazém para as cargas que eram transportadas, e, portanto, não possua um aspecto deslumbrante, ainda assim, por ter sido a primeira edificação da cidade, marcando a sua gênese, e também por estar inserido no contexto histórico do desenvolvimento do café e da malha ferroviária no Brasil, é uma edificação de grande importância histórica para a cidade e para o país.

Podemos ir mais além ao observar que, embora caiba ao IPHAN definir os critérios de valoração dos bens do Patrimônio Ferroviário, é necessário a participação ativa da administração municipal e da comunidade. Isso simplesmente pelo fato de que só quem viveu naquela região é que vivenciou aquela realidade, e, portanto, sabe o valor de cada construção, de cada herança. Inclusive a própria Constituição Federal prevê a participação dos municípios e das comunidades na promoção e preservação do patrimônio histórico cultural local.

No artigo 23 da Constituição Federal de 1988, mais especificamente nos incisos III a V, consta que é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios:

“... III - proteger os documentos, as obras e outros bens de valor histórico, artístico e cultural, os monumentos, as paisagens naturais notáveis e os sítios arqueológicos;

IV - impedir a evasão, a destruição e a descaracterização de obras de arte e de outros bens de valor histórico, artístico ou cultural;

V - proporcionar os meios de acesso à cultura, à educação e à ciência; ..." (BRASIL, 1988)

O inciso IX do artigo 30 complementa dizendo que “*compete aos municípios promover a proteção do patrimônio histórico-cultural local, observada a legislação e a ação fiscalizadora federal e estadual* (BRASIL, 1988)”, e no artigo 216, parágrafo primeiro, existe ainda uma previsão para a colaboração da comunidade:

“...o Poder Público, com a colaboração da comunidade, promoverá e protegerá o patrimônio cultural brasileiro, por meio de inventários, registros, vigilância, tombamento e desapropriação, e de outras formas de acautelamento e preservação... (BRASIL, 1988)”

Observando tudo isso, o IPHAN vem buscando o envolvimento das esferas municipais, estaduais, bem como da sociedade civil, incentivando a preservação destes bens especialmente em escala regional. Pois, como foi dito, o desenvolvimento de diversas regiões do país foi fruto das ferrovias e de suas estações.

Naturalmente, a definição de Patrimônio Ferroviário está intimamente ligada aos critérios de valoração adotados pelo IPHAN. Tais critérios foram adotados no ano de 2010, através da Portaria nº 407 (IPHAN, 2018). O procedimento envolve a eleição de uma comissão de avaliação, que mediante processo administrativo aponta os bens a serem considerados pelo órgão. O objetivo é fazer o inventário para criar uma Lista do Patrimônio Cultural Ferroviário (XAVIER, 2017). No artigo 4º da portaria citada, a partir de três incisos, define-se que: “São passíveis de inclusão na Lista do Patrimônio Cultural Ferroviário os bens móveis e imóveis oriundos da extinta RFFSA ”

I - Que apresentem correlação com fatos e contextos históricos ou culturais relevantes, inclusive ciclos econômicos,

movimentos e eventos sociais, processos de ocupação e desenvolvimento do País, de seus Estados ou Regiões, bem como com seus agentes sociais marcantes;

II - Portadores de valor artístico, tecnológico ou científico, especialmente aqueles relacionados diretamente com a evolução tecnológica ou com as principais tipologias empregadas no Brasil a partir de meados do século XIX até a década de 1970;

III - Cujo intuito de valoração cultural seja objeto de manifestação individual ou coletiva de pessoa física ou jurídica, pública ou privada, desde que devidamente justificada, podendo ser, inclusive, motivada por seu valor simbólico.

Parágrafo único. Os bens passíveis de valoração serão analisados e avaliados, isoladamente ou em conjunto, mediante processo administrativo (IPHAN, 2018).

A ideia de criar uma lista é facilitar a utilização desses bens pela sociedade. O manual do Patrimônio Ferroviário (IPHAN/PROGRAMA MONUMENTA, 2010) deixa claro que a sociedade deverá dar a estes bens um uso compatível e poderá fazer neles as alterações necessárias para que cumpram suas funções, respeitando sempre as características arquitetônicas e a preservação. Diferentemente do Decreto Lei 25/1937 (lei do tombamento), a Lista só é aplicável para os bens provenientes da extinta RFFSA. Além do mais, o tombamento garante a não demolição, ao passo que o fato de um determinado bem estar presente na lista não é garantia de proteção contra demolição. Contudo, é importante ressaltar que a aplicação de uma lei independe da outra.

É interessante perceber que a orientação do manual do Patrimônio Ferroviário do IPHAN, citada no parágrafo acima, parece estar intimamente conectada com a ideia de retrofit discutida há pouco. Dar uso as edificações é exatamente revitalizar, reintegrar à vida cotidiana, conforme definiu Nelson Dupre (2017).

2.4 REFERÊNCIAS DE RETROFIT PARA ESTA PESQUISA

Aqui serão apresentados dois exemplos onde o conceito de retrofit está presente. O primeiro caso é a Sala São Paulo, antigo prédio da estação Sorocabana

passou por diversas modificações para que pudesse, enfim, ter sua nova função estabelecida. O segundo caso é a Cinemateca Brasileira, antigo matadouro da Vila Mariana, sofreu diversas intervenções e hoje funciona como um espaço de cinema.

2.4.1 A Sala São Paulo

A Sala São Paulo é indubitavelmente fruto de uma metamorfose. O prédio da Estação Julio Prestes originalmente foi concebido pelo arquiteto Christiano Stockler das Neves em 1925 para funcionar como uma estação ferroviária, a estação Sorocabana. O prédio foi premiado em 1926 na bienal de arquitetura de Buenos Aires. O prêmio foi importante, mas o estilo Luís XVI, adotado pelo arquiteto, foi alvo de muita controvérsia, pois não ia de encontro às tendências modernistas estabelecidas pela Semana da Arte Moderna de 1922 (DUPRÉ, 2017).

O fato é que a ferrovia Sorocabana sentiu a crise de 1929, e o prédio foi entregue à província de São Paulo para pagar as dívidas da empresa com o governo, que só conseguiu concluir a construção do prédio no final de 1938. Em meio a tudo isso, muitos dos elementos arquitetônicos que faziam parte do projeto original não foram implementados (DUPRÉ, 2017).

O pátio central era considerado a sede da estrada de ferro Sorocabana, onde havia os escritórios. Neste espaço central, havia um jardim, onde mais posteriormente foi colocado um piso e uma pequena cobertura sobre uma estrutura metálica de ferro fundido (Figura 20). Até o ano de 1997, ano de início das intervenções, este espaço era utilizado para festas sociais. Originalmente, quando Christiano Stockler projetou esta área, o espaço era previsto para ser utilizado como área de embarque para os passageiros de primeira classe (DUPRÉ, 2017).

Figura 20 – Hall da antiga estação Sorocabana onde posteriormente seria construída a Sala São Paulo.



Fonte: (DUPRÉ, 2017)

Para área central projetou-se a ocupação do térreo da Sala São Paulo, e algumas atividades que dizem respeito às necessidades da orquestra principal, como por exemplo, a sala dos músicos e uma plataforma de carga e descarga (que também pode servir como palco para outras atividades em algumas situações excepcionais). A fim de preparar o espaço para a sua nova função, foram ativados e desenvolvidos sanitários de uso público, elevadores de acesso e também um elevador de carga com a finalidade de transportar os instrumentos. Em seguida, objetivando criação de mais lugares para o público, desenvolveram-se balcões no nível do mezanino e balcões no nível do primeiro pavimento. Para dar acesso aos mezaninos, foram construídas as escadas e corredores suspensos, ambos feitos com madeira e apoiados em uma estrutura metálica, como mostra a Figura 21a. A

ideia foi utilizar materiais diferentes daqueles utilizados na edificação original, com o objetivo de diferenciar os elementos do prédio original dos elementos associados à intervenção (DUPRÉ, 2017).

Internamente também foram necessárias várias intervenções. Balcões de concreto pré-moldado e revestimento de madeira com uma superfície em almofadas foram colocados de forma a preservar as condições de originalidade do prédio e permitir que, de todos os ângulos, fosse possível discernir os elementos da edificação original dos elementos oriundos da intervenção proposta. Não havia possibilidade de se imaginar uma arquitetura de restauro em um edifício de patrimônio histórico, sem levar em consideração as questões que envolviam o restauro no sentido de manter parte da identidade original (DUPRÉ, 2017).

Figura 21 – Escadas de acesso (a) aos mezaninos (b).



Fonte: (DUPRÉ, 2017)

Para efeito das necessidades de acústica, é importante lembrar que a configuração ideal para uma sala de concertos seria a configuração da caixa de sapatos, conforme recomenda Beranek (2003), em função dos requisitos de tempo de reverberação. Essas proporções sugeridas pelos engenheiros da época terminavam na altura das colunas (Figura 22a), no entanto, o compromisso era restaurar o prédio por completo, ou seja, até sua altura integral. Por este motivo 12 metros de altura seriam perdidos de um conjunto de 26 metros compreendido entre o

forro até o piso da plateia. O desafio foi resgatar a altura perdida no sentido de preservar a história da edificação. Nesse contexto foi proposto um forro móvel, para que fosse possível de fato resgatar todo o conjunto de elementos entre os dois pavimentos. Assim seria possível formar uma percepção muito clara do volume original do espaço existente.

Figura 22 – Balcões de concreto instalados na área de audiência.



(a)

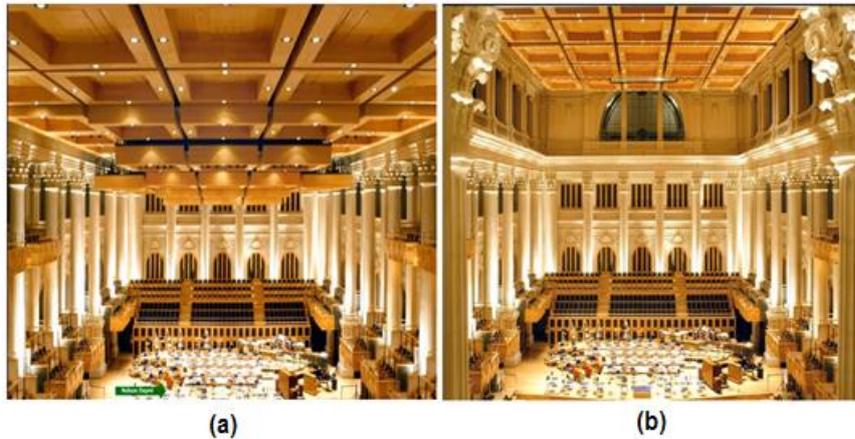
(b)

Fonte: (DUPRÉ, 2017)

Em um primeiro momento, esta ideia não foi recebida muito bem, contudo, em seguida, houve uma reação positiva quando se percebeu que a proposta permitiria maior flexibilidade na sonoridade da sala, uma vez que, ao alterar o volume, podemos controlar o tempo de reverberação. Hoje, o tempo de reverberação da Sala São Paulo pode variar de 1,8s para a posição mais baixa até 3,8 segundos de tempo de reverberação para a posição mais elevada do forro (Figura 23). Outro ponto relativo à acústica foi a preocupação com o isolamento, porque a estação está próxima a estações de trens ainda ativas. A solução proposta para este problema foi a instalação de amortecedores entre o piso e o chão da Sala São Paulo (DUPRÉ, 2017).

Diante do exposto, observa-se que o processo de transformação da Estação Ferroviária Sorocabana na Sala São Paulo foi delicado por ter que lidar com os requisitos técnico para um bom desempenho acústico e com a preservação da identidade histórica, alinhando a poesia e magia da história aos recursos tecnológicos da modernidade. Da necessidade de se conciliar história e modernidade nasceu a característica mais marcante da Sala São Paulo, o teto móvel.

Figura 23 - Posições extremas do teto móvel da Sala São Paulo. (a) Mínimo. (b) Máximo.



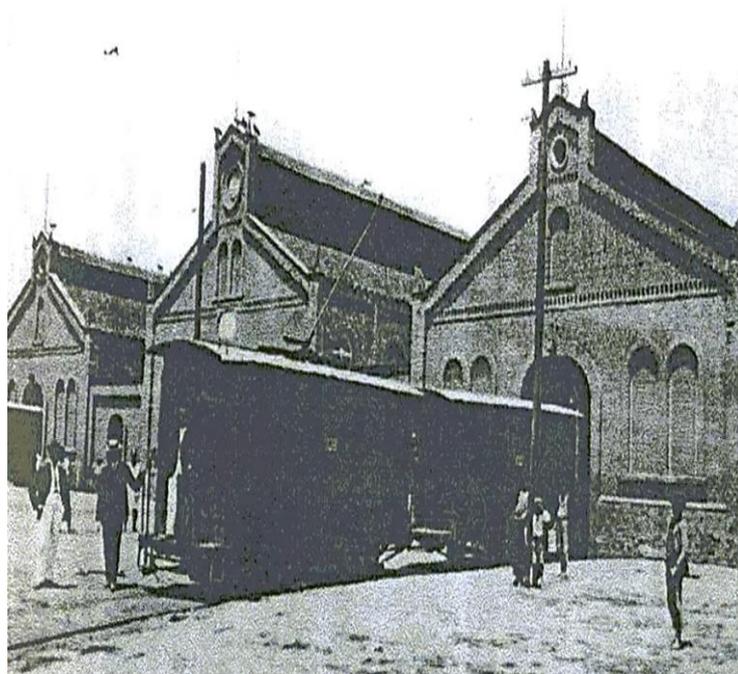
Fonte: (DUPRÉ, 2017)

2.4.2 A Cinemateca Brasileira

A Cinemateca Brasileira também envolve a questão do restauro e de como o conjunto edificado foi adaptado à nova realidade. A Cinemateca Brasileira, localizada na cidade de São Paulo no Bairro de Vila Mariana, foi originalmente projetada para funcionar como um matadouro de bovinos. O projeto teve início em 1884 e foi concebido pelo arquiteto alemão naturalizado brasileiro Alberto Kuhlmann (ALMEIDA, 2012). O conjunto foi inaugurado no ano de 1887 e era composto por três edifícios e dois blocos adicionais destinados às áreas administrativas e atividades diversas, como era comum em construções industriais. Apesar de o

conjunto ter sido destinado a funcionar como um matadouro, houve alguma preocupação com relação a sua arquitetura. O conjunto seguia o estilo industrial, com blocos retangulares, coberturas inclinadas, telhas de barro sobre tesouras e pilares de madeira com as paredes feitas em tijolinho aparente conforme mostra a Figura 24 (ALMEIDA, 2012).

Figura 24 - Matadouro da Vila Mariana no início do século XX.



Fonte: (DUPRÉ, 2017)

O matadouro esteve ativo por 40 anos, e em 1927, teve suas atividades encerradas. Do ano de seu encerramento até o ano de seu tombamento (que só aconteceu em 1985), o conjunto passou por vários tipos de uso tendo sofrido diversas modificações, tais como:

(...) a substituição parcial da cobertura de telhas de barro por telhas de fibrocimento, perda dos componentes do lanternim, substituição de portas e janelas originais por novas sem comprometimento com a manutenção dos componentes preexistentes, fechamento de alguns vãos de portas e janelas. De modo geral, durante os vários anos que separam o fechamento do antigo matadouro das iniciativas de preservação, verificou-se a ausência completa de qualquer medida de ma-

nutenção do conjunto, o que favoreceu não somente a degradação dos materiais, mas chegou a comprometer a própria estabilidade das edificações. (ALMEIDA, 2012)

Entre 1981 e 1983 houve uma primeira tentativa de restauro do conjunto arquitetônico. A proposta veio por parte dos arquitetos Fernando José Martinelli e José Osvaldo Vilela e seguia a linha de Viollet-leDuc¹, defensor de que o processo de restauração deve buscar reconstituir as características originais do objeto a ser restaurado (ALMEIDA, 2012). O fato é que essa proposta foi iniciada, mas não foi concluída.

No ano de 1988 a Cinemateca Brasileira ganhou o espaço e ficou responsável pela sua restauração. A segunda intervenção ocorreu então entre os anos de 1989 e 1993. Contudo, desta vez a abordagem foi baseada em outra visão sobre o restauro, que buscou manter as marcas do tempo deixando as partes restauradas e as ruínas como estavam (ALMEIDA, 2012).

A terceira intervenção, liderada pelo arquiteto Nelson Dupré, aconteceu entre os anos de 2000 e 2007, e seguiu a linha de restauro anteriormente adotada, com a intenção de manter as marcas produzidas pelo tempo. Na área frontal, as calçadas foram ampliadas de três para aproximadamente vinte metros, além disso foram introduzidos estacionamentos na área externa (ALMEIDA, 2012). As principais alterações arquitetônicas são mostradas na Figura 25 e descritas no trecho abaixo.

Os interiores e coberturas foram tratados com materiais e técnicas apropriados aos novos usos.

Dentre os principais os elementos novos introduzidos pelo arquiteto Nelson Dupré notam-se os novos caixilhos em aço na cor preta; a utilização de superfícies envidraçadas em substituição aos portões de madeira, garantindo a permeabilidade visual entre interior e exterior; as tesouras e lanternins redesenhados, respeitando-se a dimensão das peças originais, agora substituídas por componentes articulados em aço:

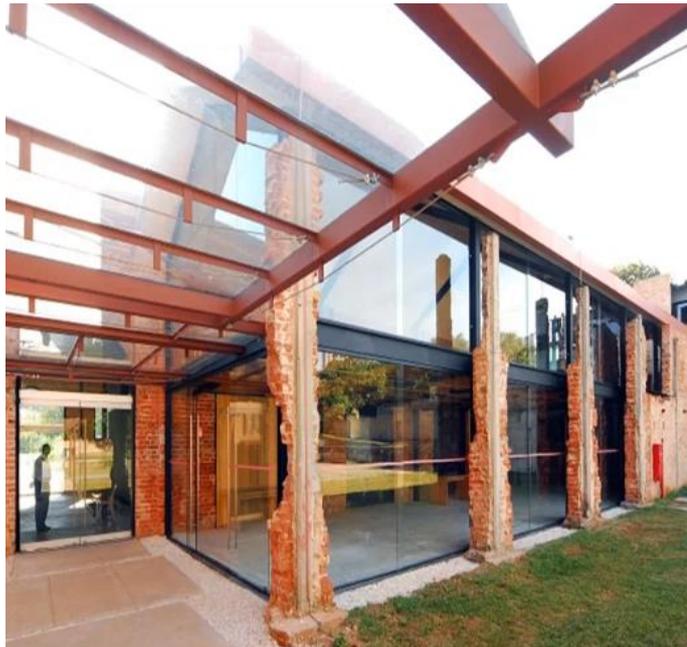
¹ Eugène Emmanuel Viollet-le-Duc (Paris, 27 de janeiro de 1814 – Lausana, 17 de setembro de 1879) foi um arquitecto francês ligado à arquitectura revivalista do século XIX e um dos primeiros teóricos da preservação do património histórico.

tirantes e diagonais em forma de barras e as asas em chapa dobrada (ALMEIDA, 2012).

Mais recentemente foram introduzidos elevadores de acesso para pessoas com deficiência.

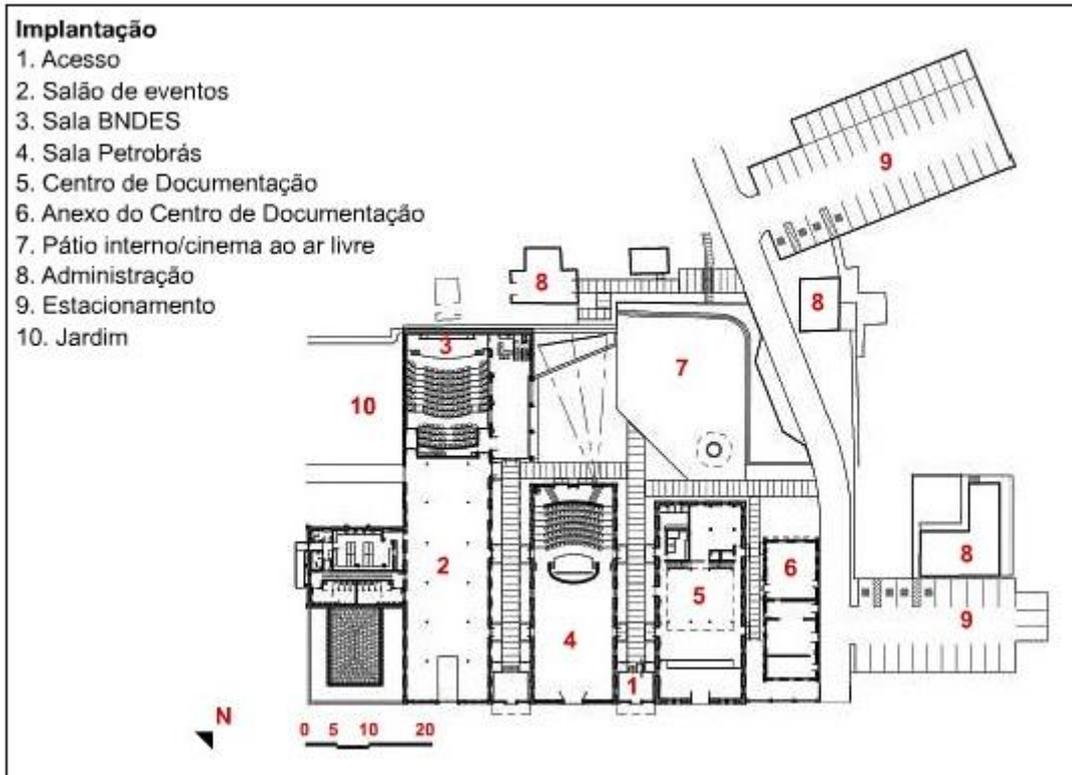
Quatro daqueles prédios que compunham o antigo matadouro formam hoje um núcleo histórico onde se insere a Cinemateca Brasileira. Após as intervenção, as quatro construções passaram a ter as funções descritas na Figura 26.

Figura 25 - Principais elementos da terceira intervenção feita na Cinemateca Brasileira.



Fonte: (DUPRÉ, 2017)

Figura 26 - Função de cada uma das construções da Cinemateca Brasileira após a terceira intervenção.



Fonte: (DUPRÉ, 2017)

Figura 27 - Sala BNDES (Cinemateca Brasileira)



Fonte: (DUPRÉ, 2017)

Capítulo 3

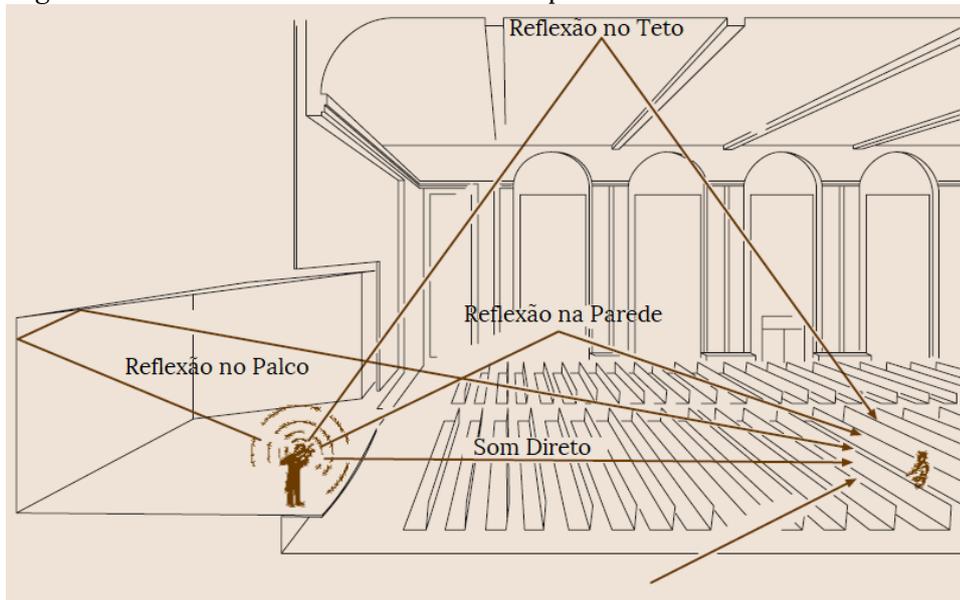
Parâmetros Acústicos para Salas

O tempo de reverberação foi por muito tempo o único indicador para a qualidade sonora de uma sala. Contudo, a experiência auditiva se mostra muito mais complexa, de forma que um único parâmetro não é o suficiente para descrever a experiência humana. Com o tempo, a necessidade de estabelecer outros parâmetros se mostrou evidente. A dificuldade na definição de novas variáveis de caracterização acústica está em conectar as sensações subjetivas com seus respectivos parâmetros objetivos. Dessa forma, para o autor, parece que o primeiro passo é perceber estes parâmetros subjetivos para depois procurar associá-los às informações objetivas obtidas a partir de medições. A questão central, e talvez a maior dificuldade, seria entrar em um consenso com relação as estas sensações sonoras, visto que, do ponto de vista abstrato, o significado de cada sensação pode variar de um indivíduo para o outro. Como veremos mais à frente neste capítulo, sensações tais como clareza ou definição estão, de certa forma, sujeitas à percepção e interpretação de quem ouve. Um dos grandes trunfos da norma ISO 3382-1:2009 foi justamente elucidar e definir alguns indicadores objetivos indexando-os às suas respectivas sensações abstratas. Indicadores objetivos são obtidos a partir de medições.

Neste contexto, para avaliar o comportamento do som em uma sala, dois elementos são imprescindíveis. Estamos falando do emissor (fonte sonora) e do receptor (ouvinte). A primeira coisa que o ouvinte escuta é o som direto, pois este percorre o caminho mais curto, ou seja, a linha reta entre a fonte e o receptor.

Logo em seguida, chegam as primeiras reflexões com um certo atraso, pois tiveram que percorrer um percurso maior (Figura 28). Este maior espaço percorrido também fará com que as primeiras reflexões percam mais energia, seja devido aos choques com as superfícies absorvedoras ou devido ao atrito com o ar. A maior parte da energia sonora é dissipada em forma de calor. Isso tudo fará com que as reflexões primárias cheguem com um menor nível de pressão sonora do que o som direto.

Figura 28 - Reflexões entre a fonte e o receptor.



Fonte: Adaptado de (ROSSING, 2015)

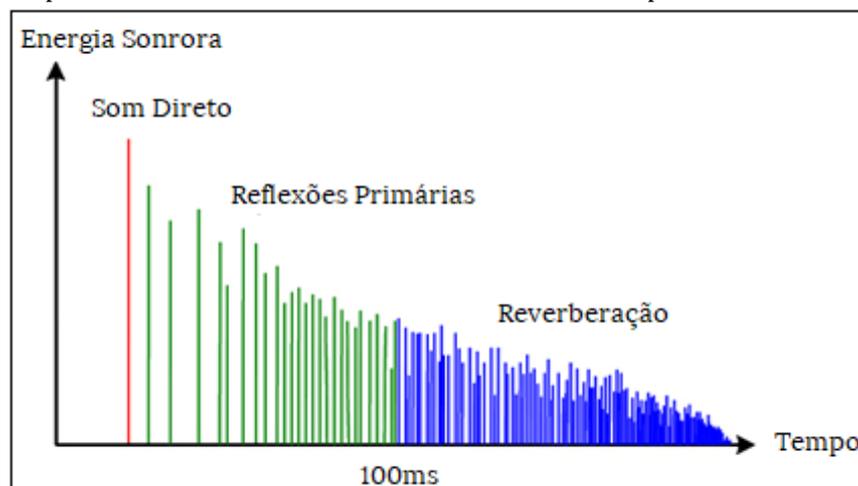
Nesse ponto, é providencial lembrar que o ouvido humano, devido a sua anatomia, possui um tempo de integração (tempo necessário para notar o atraso entre dois sons) de aproximadamente 45ms (FASTL,1999). Na prática, o significado disso é que o ouvinte não consegue distinguir o som direto das reflexões que chegam dentro deste intervalo de tempo. Contudo, é preciso tomar cuidado com a interpretação deste efeito. O fato de não conseguir distinguir uma reflexão da outra não significa que o receptor vai perceber o som como se não houvesse reflexão alguma. De fato, conforme vamos analisar em maiores detalhes neste capítulo, estas reflexões são parte importante para algumas sensações subjetivas tais como a percepção do tamanho da sala, ou ainda para ajudar o ouvinte a se localizar no espaço.

No entanto, o processo de dissipação da energia não termina com as reflexões primárias. Enquanto a energia sonora não for completamente dissipada, reflexões continuarão a acontecer. Dessa forma, um campo reverberante se estabelece à medida que o número de reflexões aumenta.

O termo “campo reverberante” é oportuno e apropriado, isso pois, com o aumento do número de reflexões que chega aos ouvidos do receptor, fica cada vez mais difícil distinguir uma reflexão das outras. A tendência é que aumente a densidade de frentes de onda sonora chegando ao receptor, cada uma com um tempo de atraso diferente, em um movimento caótico. Como consequência, o cérebro humano acaba integrando todas estas reflexões em um pacote só. Esse pacote de reflexões tardias produz em nós uma sensação diferente daquela produzida pelas reflexões primárias. É justamente essa sensação que é chamada de reverberância.

Em suma, podemos separar o som recebido pelo receptor em três componentes: som direto, reflexões primárias e campo reverberante. Cada um destes ingredientes pode ser visualizado em um diagrama de energia sonora em função do tempo (Figura 29).

Figura 29 - O diagrama de resposta impulsiva descrevendo as três etapas do som no caminho entre o emissor e o receptor.



Fonte: Adaptado de (BEHLER, 2006)

Ao diagrama da Figura 29 dá-se o nome de Resposta Impulsiva. A norma ISO 3382-1:2009, em seu Anexo A, deixa claro que muitos dos parâmetros acústicos podem ser derivados da resposta de impulso.

3.1 PARÂMETROS ACÚSTICOS DA NORMA ISO 3382-1:2009

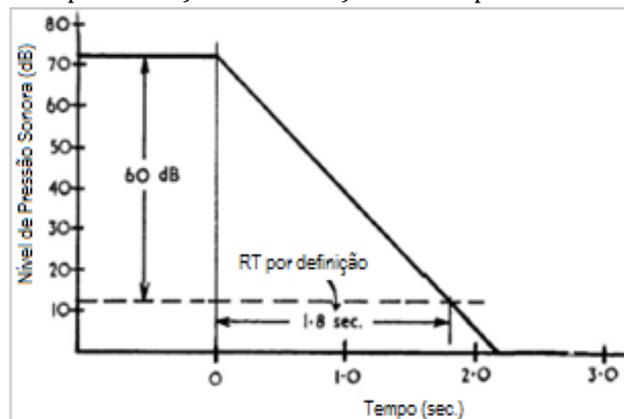
A norma ISO 3382-1:2009 afirma em seu Anexo A, que os estudos sobre as características acústicas subjetivas têm demonstrado que muitas informações objetivas obtidas das medições de respostas de impulso estão correlacionadas com aspectos particularmente subjetivos.

Como foi dito anteriormente, o tempo de reverberação é um indicador muito importante, contudo, o acréscimo de novos parâmetros descritores acústicos torna a caracterização de uma sala muito mais rica e completa. A norma em questão (ISO 3382-1:2009) se limitou a incluir apenas os parâmetros considerados importantes do ponto de vista subjetivo e que ao mesmo tempo pudessem ser deduzidos diretamente a partir das respostas de impulso. Vamos comentar agora um pouco sobre alguns destes indicadores e mostrar como eles podem ser obtidos.

3.1.1 Tempo de Reverberação – RT

A norma ISO 3382-1:2009 define o tempo de reverberação (RT) como sendo o tempo necessário para que a densidade média de energia sonora em um determinado espaço sofra um decréscimo de 60 dB (um milhão de vezes menor) após a interrupção da fonte sonora (Figura 30).

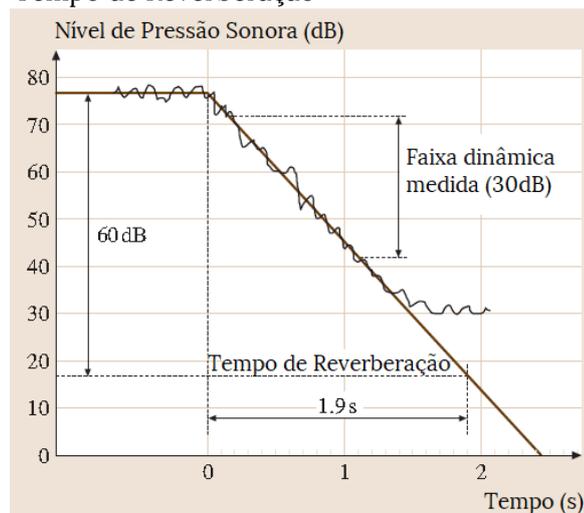
Figura 30 – Representação da definição do tempo de reverberação RT



Fonte: Adaptado de (Beranek, 2011)

A norma ISO 3382-1:2009 ainda deixa claro que este tempo pode ser avaliado dentro de uma faixa dinâmica menor do que 60 dB. Na prática é exatamente isso que acontece, uma vez que o ruído de fundo geralmente é um fator limitante que não permite medir o decaimento completo do sinal. Nestes casos a alternativa é medir em um intervalo menor, como por exemplo entre -5 dB e -25 dB, ou entre -5 dB e -35 dB conforme mostra a Figura 31. O valor calculado por estas curvas pode então ser extrapolado para a obtenção do decaimento total de 60 dB.

Figura 31 – Representação da obtenção do Tempo de Reverberação



Fonte: Adaptado de (ROSSING, 2015)

A fim de minimizar o impacto de particularidades da geometria e reflexões iniciais fortes, na medição do tempo de reverberação são desconsiderados os primeiros 5 dB do decaimento.

A equação 3.1 mostra como seria possível obter o valor do tempo de reverberação através da extrapolação do decaimento dentro de uma janela de 30 dB (Figura 31).

$$T30 = 60dB \frac{(t_{-35}) - (t_{-5})}{(-5dB) - (-35dB)} \quad (3.1)$$

Na equação 3.1, t_{-35} e t_{-5} representam respectivamente os instantes de tempo em que o nível de pressão sonora do sinal está 35 dB e 5 dB abaixo do seu valor inicial. Neste caso, como o intervalo é de 30 dB a extrapolação da curva recebe o nome de $T30$. Ou seja, neste caso a taxa de decaimento foi obtida a partir de um intervalo de 30 dB. Analogamente, $T20$ é o nome que se dá quando esta taxa for calculada no intervalo de decaimento entre 25 dB e 5 dB.

Contudo, nem sempre este decaimento é linear, ou seja, nem sempre o $T30$ ou o $T20$ possuem valores semelhantes ao tempo de decaimento completo. De fato, uma discrepância entre $T30$ e $T20$ já denuncia que o decaimento não é linear. A causa mais comum responsável por esta não linearidade é sem dúvida a presença de acoplamento de espaços. Por exemplo, imagine que queiramos medir o decaimento de uma sala de estar, mas a porta que dá para a cozinha está aberta, neste caso, temos dois ambientes acoplados. O tempo de reverberação prevalente no início do decaimento será o tempo da sala que queremos medir, mas se a cozinha possuir um tempo de reverberação maior do que o da sala de estar, então isso irá provocar uma alteração na taxa de decaimento da sala, de forma a estender o tempo de reverberação. Como a taxa deixa de ser constante, o decaimento também deixa de ser linear. A norma ISO 3382-2:2008, em seu anexo B, apresenta um

método para avaliar se a não linearidade é verdadeira ou não. Ou seja, se ela representa algum problema na medição ou se representa de fato o comportamento do local medido.

O tempo de reverberação RT pode ser medido ou calculado, uma das formas mais conhecidas para o cálculo é a equação de Sabine (Equação 3.2),

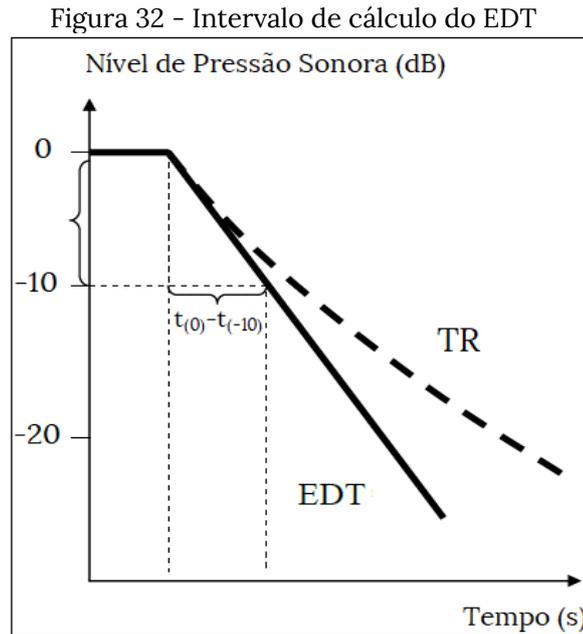
$$RT = \frac{0,16V}{\sum_{i=1}^n \alpha_i S_i + 4mV} \quad (3.2)$$

onde α é o coeficiente de absorção sonora correspondente à respectiva área S (em m^2). V é o volume da sala (em m^3), m é o coeficiente de absorção do ar, que depende da temperatura, da umidade e do comprimento da onda sonora.

É preciso estar atento, no entanto, para o fato de que o coeficiente de absorção dos materiais não é constante, ele varia com a frequência, o que significa que o tempo de reverberação também irá variar com a frequência. Assim, a norma ISO 3382-1:2009 recomenda uma avaliação em função da frequência em bandas de oitava no intervalo de 125 a 4000Hz.

3.1.2 Tempo de Decaimento Inicial - EDT

O tempo de decaimento inicial (EDT) está associado a forma como percebemos o tempo de reverberação. Na vida real, o ouvido humano não pode perceber o decaimento completo do som. Muitas vezes o ruído de fundo pode atrapalhar essa percepção. Outra situação seria o caso de dois sons emitidos em um intervalo de tempo pequeno o suficiente para que o segundo mascare o decaimento do primeiro. Na prática, isso significa que, mesmo que tenhamos um decaimento não linear (como em salas acopladas por exemplo), o tempo de reverberação percebido será aquele referente ao início do decaimento, pois, como já dito, a parte final será mascarada.



Fonte: Autor

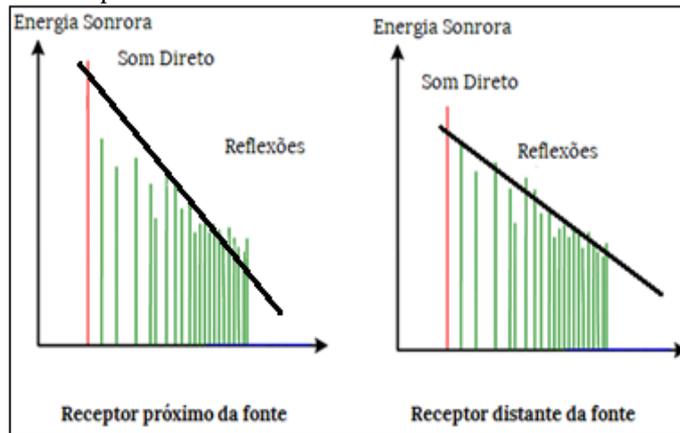
Para efeito, considera-se parte inicial os primeiros 10dB do decaimento, ou seja, o intervalo entre 0 dB e -10 dB. O EDT então será calculado utilizando a inclinação da janela do intervalo inicial, extrapolando-a para um decaimento de 60dB. Esta inclinação é obtida através do cálculo de regressão linear (Figura 32).

Neste ponto é preciso esclarecer que o início do intervalo ocorre no instante em que a primeira onda sonora chega ao receptor, e não quando ela é emitida. O valor da intensidade sonora no momento da chegada é então normalizado para 0 dB.

É importante lembrar além disso que, diferentemente do tempo de reverberação (RT), os primeiros 5 dB do decaimento não são descartados. O que significa que podemos ter variações nos valores de EDT dependendo do ponto em que for posicionado o receptor. Isso pode ocorrer, pois, a posição do receptor influencia diretamente na proporção entre o som direto e das primeiras reflexões, o que por sua vez impacta no cálculo da curva de ajuste através da regressão linear. Se o receptor estiver muito perto da fonte, a razão entre as intensidades das primeiras reflexões e das reflexões seguintes tende a aumentar. Por outro lado, caso o receptor seja posicionado longe da fonte, esta razão tende a diminuir. No último

caso, por exemplo, a alteração provocaria uma redução na inclinação da reta referente à taxa de decaimento e conseqüentemente um aumento no valor do EDT (Figura 33).

Figura 33 - Alteração no EDT para diferentes posições de receptor.



Fonte: Autor

3.1.3 Índice de Clareza (C80) e Definição (D50)

A forma como a energia sonora se distribui no tempo em um determinado recinto tem um grande impacto na forma como uma pessoa perceberá o som em seu interior. Isso se deve a um fenômeno que ocorre no ouvido humano conhecido como “Efeito Haas”. Quando o ouvido recebe uma onda sonora, e em seguida recebe uma onda igual, porém com um atraso de 20 a 40ms, por questões anatômicas e fisiológicas, ele não é capaz de distinguir este atraso, e acaba integrando os sons contidos dentro deste intervalo de forma a perceber tudo como se fosse um único bloco sonoro (KUTTRUFF, 2000). Nesse sentido, reflexões rápidas tendem a reforçar o som direto, ao passo que reflexões tardias tendem a competir com som direto, criando um mascaramento.

É exatamente explorando esse efeito (*Haas*) que surgiram alguns parâmetros como Clareza (C80) e Definição (D50), presentes na norma ISO 3382-1:2009. A ideia básica é obter um gráfico de resposta impulsiva e delimitar uma fronteira temporal baseada no comportamento do ouvido descrito no parágrafo

acima. Em seguida calcula-se a quantidade de energia em todo o intervalo de tempo do decaimento, bem como a energia antes e depois da fronteira temporal definida. Da razão entre estas quantidades, é possível conseguir parâmetros objetivos.

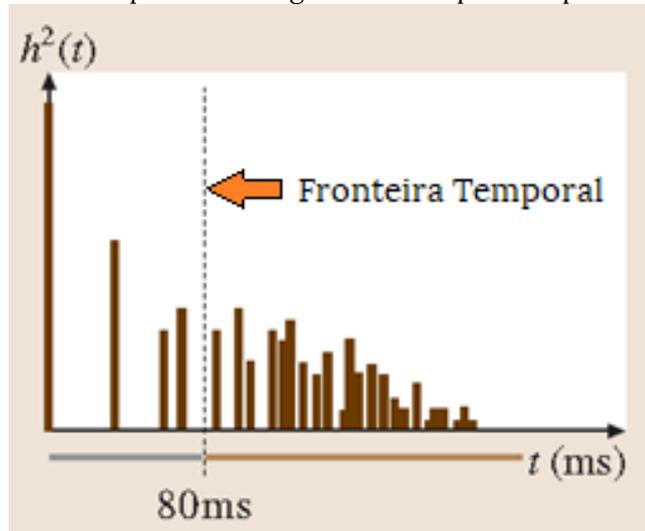
A escolha desta fronteira é importante. Experimentos realizados no início da década de 1950 mostraram que faixa entre 50 e 100ms de atraso entre o som direto e suas reflexões é útil na hora de adotar um valor de fronteira (KUTTRUFF, 2000, p200.)

A norma ISO 3382-1:2009 traz a expressão: “Balanço entre a energia que chega cedo e tarde”. Segundo a norma, para o cálculo do parâmetro C80 (Clareza), adota-se 80ms como o ponto de fronteira temporal. Este ponto então separa as reflexões que chegam adiantadas em relação as reflexões tardias. O parâmetro pode então ser calculado através da razão entre as energias antes e depois deste instante de tempo, assim como mostra a equação 3.4 e a Figura 34.

$$C80 = 10\log_{10} \frac{\int_0^{80ms} h(t)^2 dt}{\int_{80ms}^{\infty} h(t)^2 dt} \quad (3.4)$$

onde $h(t)$ é a função que descreve a pressão sonora instantânea em função do tempo e é obtida a partir da resposta impulsiva.

Figura 34 – Representação da definição de C80 (Clareza). A razão entre as reflexões primárias e tardias, obtidas a partir de um gráfico de resposta impulsiva.



Fonte: Adaptado de (ROSSING, 2015)

No cálculo do parâmetro D50 (Definição), adota-se como valor de fronteira 50ms, mas o cálculo é ligeiramente diferente, neste caso no denominador temos todo o intervalo de tempo, assim como mostra a Equação 3.5.

$$D50 = \frac{\int_0^{50ms} h(t)^2 dt}{\int_0^{\infty} h(t)^2 dt} \quad (3.5)$$

onde $h(t)$ é a função que descreve a pressão sonora instantânea em função do tempo e é obtida a partir da resposta impulsiva

Para aumentar tanto a Clareza quanto a Definição basta maximizar o som direto e as primeiras reflexões de forma a aumentar a proporção deles com relação ao decaimento completo. Isso pode ser alcançado tanto reduzindo o tempo de reverberação (o que denuncia uma correlação inversa a ele) quanto incrementando o som direto, através de sistemas eletrônicos de som, por exemplo.

Na prática, a principal diferença entre estes dois parâmetros é que o C80 é mais eficiente para avaliar uma sala destinada a prática musical, ao passo que o D50 é mais adequado para situações de fala.

3.1.4 Nível Sonoro Relativo – G

A quantidade de energia sonora presente em uma sala não era considerada um critério útil na hora de mensurar a qualidade acústica de um determinado local. Isso acontecia porque esta quantidade depende não só do tempo de reverberação da sala, mas também da potência da fonte sonora, e esta última variável não é uma propriedade diretamente ligada à sala propriamente dita (KUTTRUFF, 2000, p221). Contudo, a necessidade de considerar a densidade de energia presente como um fator importante começou a aparecer no momento em que foi percebido que parâmetros como Clareza (C80) e Definição (D50) são de pouca utilidade se o som for fraco demais (KUTTRUFF, 2000, p221).

Nesse contexto, o Nível Sonoro Relativo (G) foi um parâmetro proposto para avaliar a percepção da intensidade sonora do ponto de vista do receptor em relação a sua posição na sala e à potência de emissão da fonte presente na sala.

O cálculo deste parâmetro consiste em comparar a energia que a fonte sonora produz no ponto onde se quer medir, com a energia que essa mesma fonte produz em um campo livre a 10 (dez) metros de distância (uma câmara anecoica é utilizada para simular um campo livre). A Equação 3.6 descreve matematicamente o parâmetro G.

$$G = 10 \log_{10} \frac{\int_0^{\infty} h(t)^2 dt}{\int_0^{\infty} h_{10}(t)^2 dt} \quad (3.6)$$

onde $h(t)$ representa a pressão sonora instantânea no ponto onde se mede o Nível Sonoro Relativo (G), e $h_{10}(t)$ representa a pressão sonora instantânea medida no

campo livre a 10 (dez) metros de distância da fonte. É pertinente lembrar que o instante $t=0$, em ambas as funções, não é o momento em que o som foi emitido, mas sim, o momento em que o som direto chega ao ponto que se deseja medir. Ambas estas funções são obtidas através da resposta impulsiva.

Multiplicando as integrais da Equação 3.6 por $1/T_0 h_0^2$. Onde $T_0 = 1s$ e $h_0 = 20\mu Pa$ (valor de referência que representa o limiar da audição humana). Teremos:

$$G = 10\log_{10} \frac{\frac{1}{T_0} \int_0^{\infty} \frac{h(t)^2 dt}{h_0^2}}{\frac{1}{T_0} \int_0^{\infty} \frac{h_{10}(t)^2 dt}{h_0^2}} \quad (3.7)$$

Utilizando um pouco de álgebra de logaritmos podemos desenvolver a equação 3.7 e chegar à Equação 3.8 como outra forma de expressar G:

$$G = 10\log_{10} \frac{1}{T_0} \int_0^{\infty} \frac{h(t)^2 dt}{h_0^2} - 10\log_{10} \frac{1}{T_0} \int_0^{\infty} \frac{h_{10}(t)^2 dt}{h_0^2} \quad (3.8)$$

O primeiro termo da Equação 3.8 expressa o nível de pressão sonora no ponto medido, L_{pE} . O segundo termo expressa o nível de pressão sonora no campo livre a 10 (dez) metros da fonte, $L_{pE,10}$. Assim podemos escrever o Nível Sonoro Relativo (G) como se mostra na Equação 3.9:

$$G = L_{pE} - L_{pE,10} \quad (3.9)$$

A interpretação da Equação 3.9 é de que o Nível Sonoro Relativo (G) é a contribuição que o ambiente dá para a formação do nível sonoro total presente em um determinado ponto.

A norma ISO 3382-1:2009 considera para fins práticos, que, na Equação 3.6, o instante $t = \infty$ é o instante de tempo em que o nível de pressão sonora instantânea observada no gráfico da resposta impulsiva está 30 dB ou mais abaixo do nível inicial.

3.2 OUTROS PARÂMETROS ACÚSTICOS IMPORTANTES

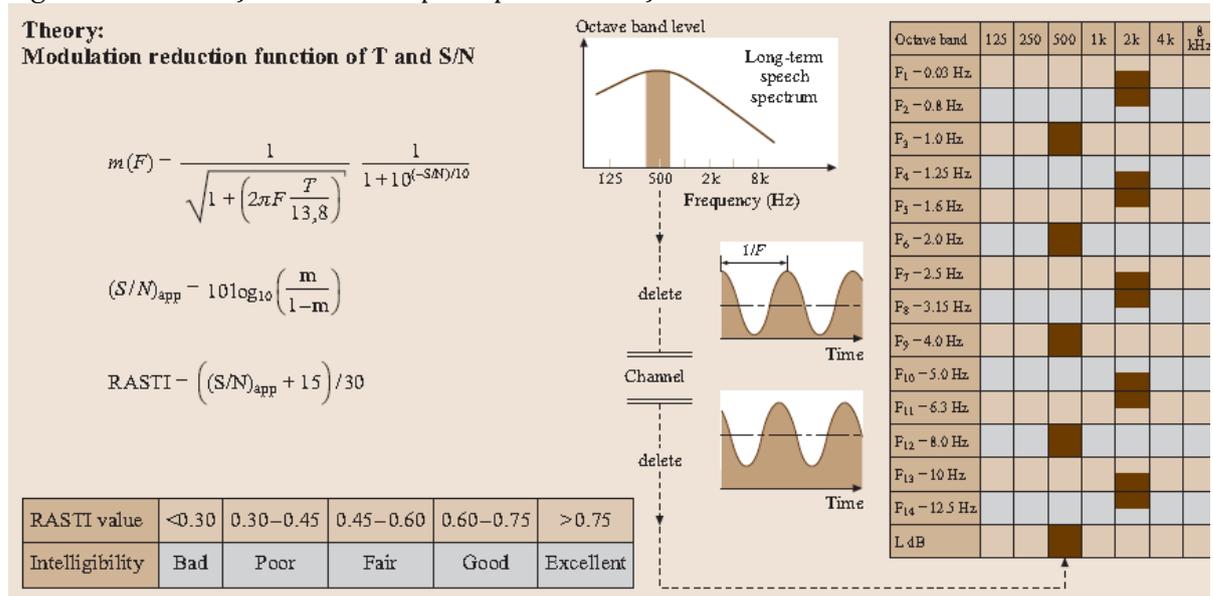
3.2.1 Índice de Transmissão da Fala – STI

Atualmente, a forma mais comum de avaliar a inteligibilidade de uma sala é através do índice de transmissão da fala (STI, *Speech Transmission Index*). Esta medição é baseada na ideia de que a fala pode ser considerada um sinal de amplitude modulada no qual o grau da modulação é portador da informação contida na fala. Vale lembrar que modulação é o processo de adição de voz, música ou outro sinal inteligível a uma onda sonora, chamada de “portadora”. Se o caminho da transmissão inclui ruído ou reverberação ao sinal, o grau da modulação ficará reduzido, resultado em baixa inteligibilidade (ROSSING, 2015).

A transferência da modulação é testada ao se emitir um ruído em sete bandas de oitava, cada uma modulada com 14 diferentes modulações de frequências, como listado na Figura 35. Em seguida calcula-se a razão entre o grau de modulação original e o recebido e o fator de redução da modulação, isto para cada uma das 98 combinações. Uma média ponderada deste fator resulta em um número entre 0 e 1, correspondendo às avaliações qualitativas da Tabela 1.

Um método mais rápido é usar apenas duas bandas transportadoras de ruídos e as 10 (dez) frequências de modulação (indicadas pela parte escura da Figura 35), é chamada de *rapid STI* (RASTI). O método STI/RASTI é descrito na norma IEC 286-16 de 1988.

Figura 35 - Ilustração da teoria e princípio de medição do STI e RASTI.



Fonte: Adaptado (ROSSING, 2015)

Tabela 1 - Escala qualitativa para avaliação dos valores de STI.

Intervalo de STI	0,00-0,30	0,30-0,45	0,45-0,60	0,60-0,75	0,75-1,00
Inteligibilidade	Péssima	Ruim	Razoável	Boa	Excelente

Fonte: Adaptado (ROSSING, 2015)

Embora o método original de medição do STI e RASTI empregue sinais modulados de ruídos, também é possível o fator de redução da modulação a partir da resposta impulsiva. Assim, este fator versus a frequência de modulação F, a qual é chamada de função de transferência da modulação (MTF), pode ser encontrada pela transformada de Fourier do quadrado da resposta impulsiva normalizada pela energia total da resposta impulsiva total.

3.3 VALORES DE REFERÊNCIA PARA OS PARÂMETROS ACÚSTICOS ESTUDADOS

Quando se desenvolve um projeto acústico ou se avalia determinado local, é muito importante saber onde se quer chegar. A primeira etapa é conhecer os parâmetros acústicos, saber medi-los ou calculá-los. A segunda etapa é saber o

que esperar deles. Para isso é importante conhecer quais são os valores de referência, ou seja, quais valores indicam que um determinado local possui uma qualidade acústica adequada. No entanto, o desenvolvimento de critérios objetivos para avaliação acústica é relativamente recente na história. O primeiro parâmetro foi o Tempo de Reverberação, proposto pelo físico Wallace Clement Sabine¹ em 1922. Posteriormente, muitos parâmetros surgiram, especialmente depois da década de 1950, como os casos D50, proposto por Thiele (1953); EDT, proposto por Jordan (1970); C80, por Reichardt, Alim e Schmidt (1975) e o Nível Sonoro Relativo (G), por Lehmann (1976). Dada a história recente, ainda não existem conclusões definitivas para os valores ideais de cada um destes indicadores (BRADLEY, 2011), de forma que este ainda é um aspecto que necessita de mais estudos.

Durante o estudo destes indicadores, percebeu-se que um ponto central para compreender o impacto que cada um deles tem na qualidade de uma sala é entender como suas variações são percebidas pelo ouvido, ou seja, qual é a mínima diferença perceptível (critério comumente simbolizado pela sigla JND), para cada um deles. Contudo, estas variações ainda não estão completamente esclarecidas. Os valores de JND (*Just-noticeable difference*) disponíveis são todos baseados nas variações de frequência em banda larga. Ainda faltam informações sobre como percebemos estas variações para cada banda de frequência (BRADLEY, 2011). Além disso, como muitos parâmetros estão correlacionados, uma dificuldade nos estudos dos valores de JND é justamente variar independentemente apenas o aspecto que se deseja estudar (BRADLEY, 2011). A norma ISO 3382-1:2009 traz no corpo do seu texto os valores de JND para alguns parâmetros como mostra a Tabela 2.

A quantidade de indicadores de qualidade acústica proposta é grande, bem como a complexidade na análise de cada um deles. Como vimos no início do capítulo, na maior parte dos casos, os valores dependem da banda de frequência investigada. Além do mais, muitas vezes alguns parâmetros estão correlacionados

¹ Wallace Clement Sabine (13 de junho de 1868 – 10 de janeiro de 1919) foi um físico norte-americano. Fundou o campo da arquitetura acústica.

entre si. Outro ponto que torna complexa a análise é o fato de que cada posição da sala nunca (ou quase nunca) terá as mesmas propriedades acústicas, ou seja, nunca terá os mesmos valores medidos para cada parâmetro. Diante deste cenário, é natural que se procure simplificar a análise de uma determinada sala, o que se reflete na busca de um número único para cada parâmetro, número este que seja capaz de representar a sala como um todo do ponto de vista de um determinado indicador de qualidade. A definição deste número único envolve algumas estratégias, como por exemplo a adoção de uma banda de frequência considerada representativa, o cálculo de médias sobre o espectro de frequências ou sobre algumas bandas particulares.

Tabela 2 - Mínima diferença perceptível (JND) para alguns parâmetros acústicos levando em conta a média sobre as bandas de frequência de 500 e 1000Hz em um ponto específico de uma sala não ocupada com volume maior do que 25000m³.

Parâmetro Acústico	(JND)	Valores típicos
Nível Sonoro Relativo (G)	1 dB	-2 a +10 dB
Tempo de Decaimento Inicial (EDT)	Rel 5%	1,0 a 3,0s
Índice de Clareza (C80)	1 dB	-5 a +5 dB
Definição (D50)	0,05	0,3 a 0,7

Fonte: Adaptado ISO 3382-1:2009

A norma ISO 3382-1:2009, não especifica exatamente como obter um número que condense toda a informação do espectro sonoro, e a realidade é que não existem evidências suficientes que garantam que a percepção sonora em uma dada banda de frequência, ou a média sobre algumas bandas específicas seja de fato mais representativas do que uma média sobre todo o espectro. Além do mais, é provável que cada parâmetro possua as suas particularidades e necessite de um cálculo diferente. A verdade é que precisamos de mais estudos subjetivos para este aspecto (BRADLEY, 2011). Contudo, existem algumas vantagens em calcular algumas médias. Segundo Barron (2005), o cálculo de médias ajuda a suavizar o efeito de interferências devido a questões de fase. Problema este que geralmente não ocorre nos softwares de simulação, que ignoram este fator. Barron (2005) ainda

sugere calcular as médias por região do espectro, dividindo-o em graves (125-250Hz) e médios (500-2000Hz). A principal motivação seria a forma como estas regiões são absorvidas, absorvedores porosos para os agudos e membranas ou ressonadores para os graves.

No entanto, sabemos que os valores que cada parâmetro acústico pode assumir está fortemente ligado à sua posição na sala, em vista disso, para conseguir um número único se faz necessário o cálculo da média sobre os valores medidos correspondentes as diversas posições do espaço que se deseja caracterizar. Foi exatamente essa a abordagem das primeiras pesquisas.

Na década de 1970, houve uma das primeiras tentativas de encontrar uma relação entre alguns parâmetros objetivos e a percepção de qualidade acústica por parte dos ouvintes. Para isso, dois estudos alemães, (LEMAHN, 1980) e (SCHROEDER, 1974), utilizaram dois métodos diferentes para reproduzir em laboratório a sonoridade de algumas salas de concerto. Logo depois, com o mesmo intuito, Barron (1988) aplicou questionários em espectadores frequentadores de salas britânicas (BRADLEY, 2011).

Mais recentemente, Beranek (2003) publicou diversos materiais que relacionam o resultado da medição de parâmetros acústicos objetivos de algumas salas de concerto, com um ranking, produzido por Beranek (2003), onde 58 salas foram classificadas subjetivamente através de entrevistas aplicadas a ouvintes experientes (BRADLEY, 2011). O que estes estudos fazem na realidade é apontar a relação que a média de alguns indicadores acústicos tem com as salas mais bem classificadas no ranking. Este foi um passo extremamente importante na busca por critérios de qualidade, contudo, é preciso cautela na interpretação destes resultados, não podemos esquecer que estes valores refletem apenas uma média. Neste momento, é oportuno questionar se, ao analisar uma sala, existe algum ponto que tenha exatamente estas características, ou seja, se existe algum lugar onde o valor medido para cada parâmetro seja exatamente a média da sala (BARRON, 2005). E podemos ir mais a fundo ainda e questionar o que poderíamos esperar se de fato este ponto existisse. Será que ele seria o ponto mais agradável?

A verdade é que embora a atribuição de um valor médio para avaliar uma sala inteira seja de fato a maneira mais simples e prática de comparar as diversas salas, este método está longe de ser preciso. É provável, por exemplo, que, para as cadeiras que estão mais próximas do palco, o Nível Sonoro Relativo (G) e o Índice de Clareza C80 possuam valores maiores do que a média. O EDT, por outro lado, tende a diminuir nestes pontos.

Segundo Barron (2005), um dos problemas em calcular a média espacial é que isso acaba por dificultar a comparação entre salas distintas, isso porque os valores das médias não diferem muito. Barron (2005), ainda diz que o valor médio só é apropriado quando o parâmetro medido não varia muito com a posição, como é o caso para o tempo de reverberação. Lembrando que para saber se um parâmetro varia muito ou pouco é preciso sempre levar em conta o seu JND. O fato é que a maioria dos novos indicadores presentes na norma ISO 3382-1:2009, são sensíveis à posição da sala. Para Barron (2005), a média nestes casos representa apenas uma tendência, e uma maneira muito mais inteligente de avaliar estes parâmetros seria medir os seus valores em diversas posições e depois compará-los com as posições preferidas pelos espectadores.

A variação dos indicadores com a posição é um dos fatores que torna difícil estabelecer critérios precisos. No entanto os parâmetros podem variar mais em algumas salas do que em outras, e este pode ser por si só um ponto a se avaliar (SKÅLEVIK, 2008). Será que as salas onde os indicadores acústicos variam menos tendem a ser mais agradáveis? Segundo Davy, Dunn e Dubout (1979), o desvio padrão no tempo de reverberação, por exemplo, pode indicar o grau de difusividade da sala, que por sua vez, pode estar também associado à qualidade da mesma. Como veremos ainda neste capítulo, o desvio padrão de determinados parâmetros pode sim dizer muito sobre a qualidade acústica de um ambiente.

Com relação às pesquisas, outro fator que deve ser levado em conta é a aplicação de questionários para avaliar salas, justamente devido ao caráter subjetivo envolvido em pesquisas deste tipo. É provável que pessoas diferentes possuam critérios diferentes de avaliação, visto que é um aspecto bastante subjetivo, alguns

gostam mais de clareza, outros de intensidade e assim por diante. Além disso também deve-se considerar a condição clínica de audição dos entrevistados. E por fim, é plausível pensar que os parâmetros mais sensíveis à posição da sala possam sofrer julgamentos diferentes dependendo do local onde o entrevistado viver a experiência da sala.

Outro ponto a se considerar é interdependência entre dois parâmetros ou mais, que pode se caracterizar tanto por uma correlação direta quanto por uma correlação inversa. Isso significa que, mesmo sabendo o valor ideal de cada parâmetro, ainda existe o desafio de encontrar um equilíbrio entre eles, uma vez que um influencia o outro. Por exemplo, supondo-se que se queira otimizar o valor de C80 ao máximo, isso pode levar a salas com grandes volumes e alto coeficiente de absorção, o que por sua vez vai acabar por reduzir o tempo de reverberação e consequentemente o Nível Sonoro Relativo (G). Um dos desafios da simulação acústica é desenvolver algoritmos que consigam otimizar os valores de cada parâmetro, para cada ponto de receptor, levando em conta justamente esta interdependência (ECHENAGUCIA, 2014).

Os subitens a seguir buscam mostrar um pouco do que se sabe hoje acerca dos valores ideais para alguns parâmetros. A ideia é criar uma base teórica a fim de proporcionar uma melhor interpretação dos valores medidos ou simulados.

3.3.1 Tempo de Reverberação - RT

Dois fatores são primordiais ao se definir um valor ideal para o Tempo de Reverberação, o primeiro é a função que o local vai exercer. Por exemplo, uma sala para concertos não terá a mesma exigência que uma sala para cinema. O segundo fator é o volume do local, quanto maior o recinto, maiores tempos de reverberação são desejáveis.

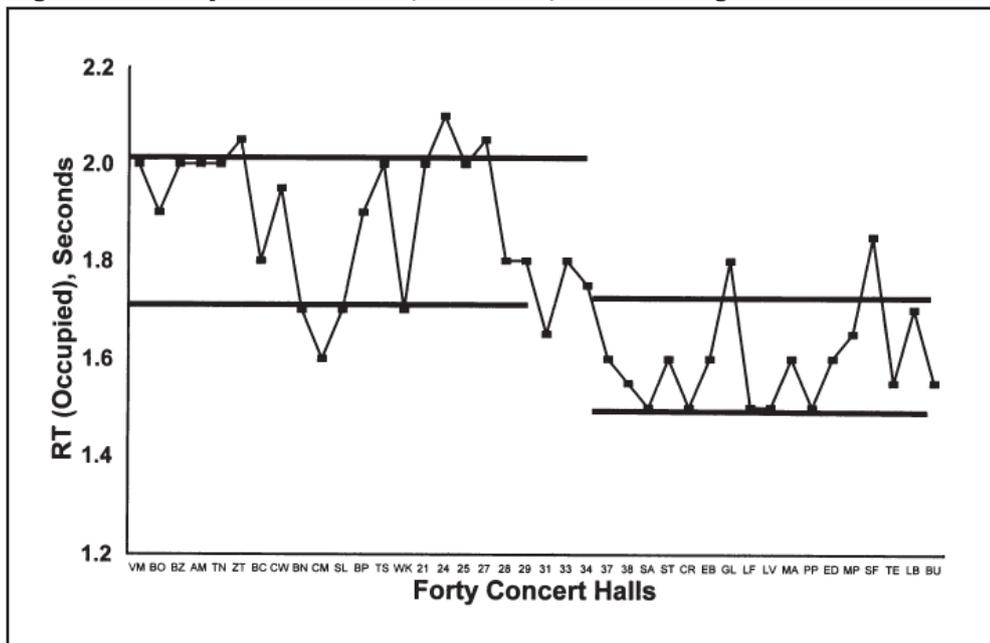
De maneira geral, o tempo de reverberação ideal está muito associado ao efeito de mascaramento oriundo do campo reverberante. Imagine que em um

determinado local existe alguém falando. Se o tempo de decaimento for muito maior do que o intervalo entre as palavras, quando a pessoa estiver falando a segunda palavra, ainda existirá muita energia sonora no local reverberando a primeira palavra, isso pode gerar um certo mascaramento e atrapalhar a compreensão da fala. Por outro lado, em um concerto onde as notas musicais tocadas possuem duração maior, este mesmo tempo de reverberação não vai prejudicar, e, pode ainda, contribuir para enriquecer o timbre final da música e reforçar o som. Outra situação possível é o da música percussiva, situação em que temos muitas notas musicais sendo tocadas em um curto intervalo de tempo e que vai exigir outros valores de reverberação, geralmente mais baixos.

Um dos primeiros estudos de grande repercussão que buscou entender a conexão entre as melhores salas de concerto e os seus respectivos tempos de reverberação foi conduzido por Beranek (2003). Nesta pesquisa, 58 salas foram avaliadas através de questionários e medidos diversos parâmetros acústicos. O valor do tempo de reverberação foi obtido através da média aritmética entre as bandas de 500 e 1000Hz. Além disso, este número representa também uma média sobre as diversas posições na sala, e como vimos, quando se trata do tempo de reverberação, esta média é útil, justamente por este parâmetro não ser tão sensível a variações na posição.

A Figura 36 mostra os resultados obtidos por Beranek. As melhores salas estão posicionadas no início do eixo das abcissas. É importante observar que os valores apresentados no gráfico correspondem às salas em condição de ocupação máxima. Ao observar a Figura 36, podemos notar que as melhores salas ficaram com tempos de reverberação compreendidos entre 1,7 – 2,0s.

Figura 36 - Tempo de reverberação em função do ranking das melhores salas.



Fonte: Adaptado (BERANEK, 2003)

Este estudo apresentado por Beranek (2003) foi muito importante, contudo, está restrito a grandes salas de concerto. Barron (2005), por outro lado, apresenta sugestões para situações mais diversas. A Tabela 3 mostra algumas recomendações para o tempo de reverberação, levando em conta não exatamente o volume da sala, mas sim o tipo de música praticada (o que de certa forma está relacionado com o volume). É importante dizer que os valores recomendados na Tabela 3, assim como nos estudos de Beranek (2003), também são baseados na média aritmética entre as bandas de 500Hz e 1000Hz calculadas com a sala ocupada. Para obter o tempo de reverberação de uma sala ocupada ($RT_{ocupado}$) a partir de uma sala vazia (RT_{vazio}) podemos utilizar a equação 3.10:

$$RT_{ocupado} = RT_{vazio} - DT \quad (3.10)$$

onde DT é o tempo de difusão de Schultz e varia com a frequência conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 3 - Sugestões de Barron (2005) para o Tempo de Reverberação.

Tipo de Música/Fala	RT(s) Recomendado
Concerto de órgão	>2,15
Música clássica (período romântico)	1,8 – 2,2
Música clássica (período clássico e barroco)	1,6 – 1,8
Opera	1,3 – 1,8
Música de câmara	1,4 – 1,7
Teatro	0,7 – 1,0

Fonte: Adaptado de (BARRON, 2005)

Tabela 4 - Tempo de disusão de Schultz.

Frequência (Hz)	DT(s)
125	0,510RT – 0,708
250	0,605RT – 0,867
500	0,668RT – 0,929
1000	0,696RT – 0,935
2000	0,694RT – 0,889
4000	0,652RT – 0,752

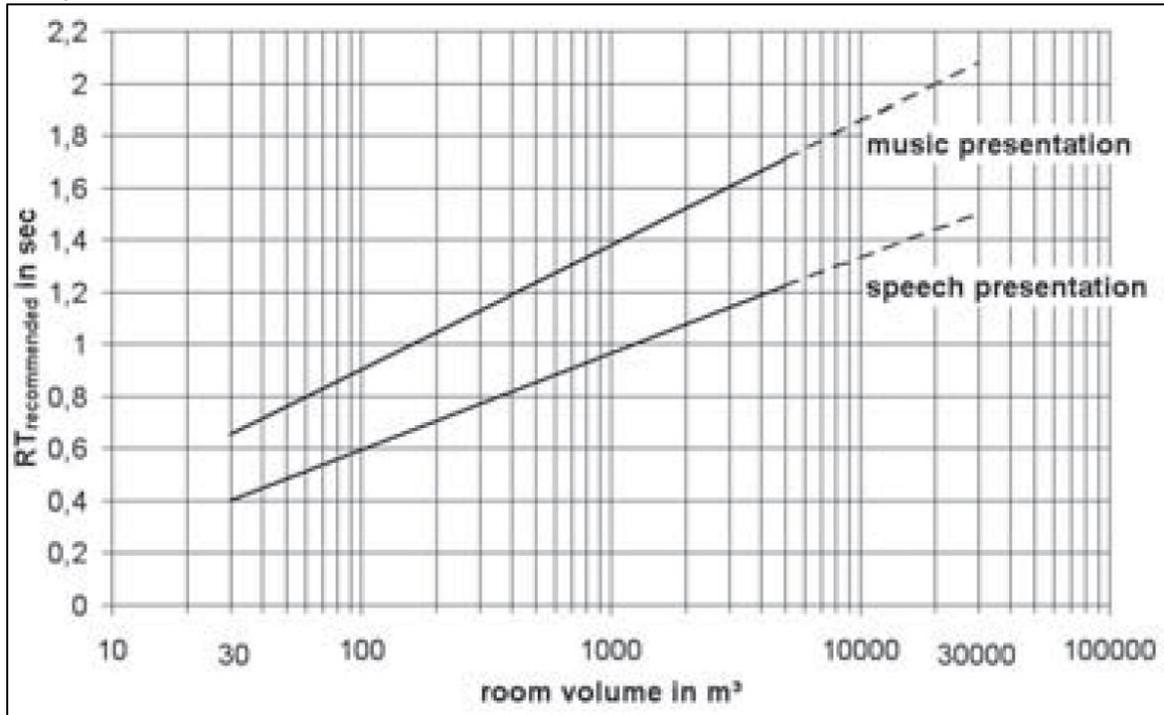
Fonte: Adaptado de (BARRON, 2005)

Para as salas destinadas à música de câmara com volumes compreendidos entre 2000 m³ e 20000 m³, Barron (2010) sugere a utilização da equação 3.11, baseada em um trabalho de Cremer e Muller (1984) que relaciona o tempo de reverberação RT(s) com o volume V(m³) da sala:

$$\log RT = 0,138 \log V - 0,306 \quad (3.11)$$

Para fins práticos, Ballou (2008) traz em seu livro um gráfico, Figura 37, muito útil para analisar os valores do tempo reverberação em função do volume da sala.

Figura 37 - Tempo de reverberação recomendado para atividades de música ou fala em função do volume da sala.



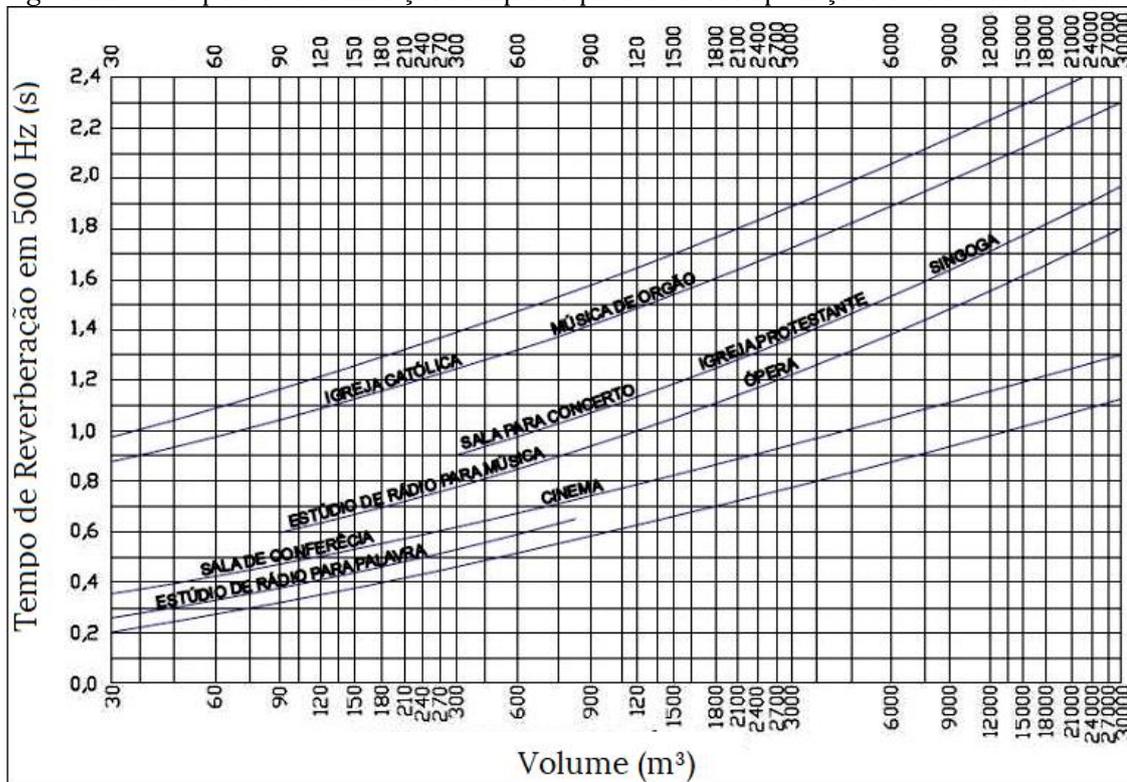
Fonte: (BALLOU, 2008)

Os valores de RT mostrados no gráfico da Figura 37, correspondem à média entre as bandas de 500 e 1000Hz para uma sala com lotação de 80% a 100%.

A norma NBR 12179:1992 (Tratamento Acústico em Recintos Fechados) também mostra em seu apêndice um gráfico (Figura 38) que traz uma orientação com relação ao tempo de reverberação para a frequência de 500Hz para diversas funções da sala levando em conta o seu volume.

No gráfico da Figura 38, o eixo das ordenadas indica que o tempo de reverberação é avaliado na frequência de 500 Hz. Essa observação é importante pois abre espaço para discutir um outro fato: como o tempo de reverberação não é igual para todo o espectro de frequências, qual será a distribuição ideal de decaimento no espectro de frequências? Alguns autores defendem que, quando se trata de música, uma reverberação maior nas frequências graves é desejável, ao passo que, para a fala, a reverberação nos graves pode atrapalhar a inteligibilidade (BARRON, 2010). Contudo, ainda não existe um consenso com relação a esta questão.

Figura 38 - Tempo de reverberação adequado para diversas aplicações e volumes de sala.



Fonte: Adaptado de NBR 12179:1992

3.3.2 Tempo de Decaimento Inicial - EDT

O valor do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) tende a acompanhar o valor do Tempo de Reverberação, contudo, temos que ser cautelosos, pois, embora estes parâmetros estejam fortemente correlacionados, existe uma diferença sensível no uso de ambos. Como o EDT é fortemente influenciado pelo som direto e pelas reflexões primárias, o valor medido varia com a posição (TOPA, 2012), essa variação é especialmente significativa para distâncias de até 10 metros entre a fonte e o receptor, depois disso este efeito já não é tão relevante (BARRON, 2005). O EDT pode ser usado para medir a percepção de reverberância em uma região específica da sala, diferentemente do Tempo de Reverberação que representa uma característica da sala de forma geral, embora também possa haver mudanças com

a posição de medição, estas mudanças não são tão significativas quanto para o EDT.

Sabemos que o EDT assim como o Tempo de Reverberação varia com o espectro de frequências. Ainda não existe um consenso com relação a como calcular uma média no espectro para obter um número único. A norma ISO 3382-1:2009 recomenda calcular uma média aritmética entre os valores obtidos para as bandas de 500 Hz e 1000 Hz. Beranek (2003), por outro lado, não calculou a média, mas selecionou uma banda relativa às frequências médias para representar o número único, pois percebeu que dessa forma havia uma correspondência com a ordem do seu ranking das melhores salas de concerto.

A norma ISO 3382-1:2009 mostra que, para o EDT, os valores típicos da média sobre as bandas de frequências de 500Hz e 1000Hz para uma posição específica de uma sala com mais de 25000 m³ ficam entre 1,0-3,0s. Barron (2005), afirma que desde que a média do EDT fique entre 1,8-2,2s (considerados como os valores médios de tempo de reverberação ideais para salas de concerto de grande/médio porte), é aceitável que o tempo de reverberação exceda estes valores.

Barron (2005) sugere dois critérios para avaliar o EDT. O primeiro seria calcular a razão entre o EDT médio e o tempo de reverberação médio (EDT/RT), para ele, se esta relação estiver entre 0,8 e 1.1 significa que a sala tem uma boa difusividade. Valores mais baixos significam que existem superfícies reflexivas próximas da audiência, o que acaba reforçando as reflexões primárias e consequentemente reduzindo o valor do EDT. Valores mais baixos para esta razão são aceitáveis caso o tempo de reverberação seja longo, mas o EDT estiver dentro do valor recomendado (entre 1,8 e 2,2s).

O segundo critério sugerido por Barron (2005) seria o desvio padrão relativo do EDT, que pode ser interpretado como uma medida de uniformidade e deve ter um valor entre 0,08 e 0,12.

De maneira geral, parece interessante manter o valor de EDT próximo daqueles valores recomendados para o Tempo de Reverberação e satisfazer os dois critérios propostos por Barron (2005).

3.3.3 Índice de Clareza – C80

O Índice de Clareza (C80) é um parâmetro muito útil para avaliar o desempenho de salas destinadas à prática musical. Este parâmetro varia consideravelmente com a posição na sala. Segundo Barron (2005) o C80 é mais sensível às mudanças de posição do que o EDT, dessa forma, procurar um valor médio para a sala inteira não é uma estratégia muito útil. O C80 é adequado para avaliar um ponto específico da sala. Por outro lado, a média sobre as bandas de frequência é útil, contudo, as frequências mais graves não entram no cálculo, uma vez que a literatura mostra que não há contribuição significativa por parte delas (BRADLEY, 2011). De fato, a norma ISO 3382-1:2009 ignora as bandas de 125Hz e de 250Hz, e sugere calcular uma média aritmética entre os resultados obtidos para as bandas de 500Hz e 1000Hz. A norma mostra ainda que, tomando a média sobre estas bandas mencionadas, os valores típicos de C80 para uma posição específica de uma sala com mais de 25000 m³ ficam entre -5dB e +5dB.

O fato é que ainda não existe um consenso sobre quais bandas de frequência utilizar na hora de calcular a média. Para Hidaka e Beranek (2000) e para Barron (2005), por exemplo, o índice de clareza é calculado como a média aritmética das bandas de 500, 1000 e 2000 Hz.

Com relação aos valores ideais, segundo Reichardt, Alim e Schmidt (1974), podemos adotar dois critérios baseados no tipo de música. Para música clássica devermos ter $-1,6\text{dB} < C80 < 1,6\text{dB}$, para música romântica o ideal seria manter o Índice de Clareza entre $-4,6\text{ dB} < C80 < -1,4\text{ dB}$. Segundo Beranek (2003), o valor ideal para música orquestrada deve estar entre $-3\text{dB} < C80 < 0\text{dB}$, e para o canto o valor ideal seria algo entre $1\text{dB} < C80 < 5\text{dB}$.

3.3.4 Nível Sonoro Relativo – G

Existem fortes evidências da importância do Nível Sonoro Relativo (G) como um parâmetro crucial na avaliação da qualidade acústica de salas de concerto (BRADLEY, 2011).

O Nível Sonoro Relativo (G), assim como a grande parte dos parâmetros presentes na norma ISO 3382-1:2009, varia consideravelmente com a posição. No entanto, se considerarmos o seu valor médio sobre a sala, do ponto de vista acústico este parâmetro será inversamente proporcional ao volume da sala e diretamente proporcional ao tempo de reverberação. O tempo de reverberação, por sua vez, é diretamente proporcional ao volume. Esse tipo de correlação faz com que um dos grandes desafios do projetista seja justamente equilibrar estes dois parâmetros.

Segundo Beranek (2011), do ponto de vista arquitetônico, o nível sonoro relativo em um determinado local da sala sofre influência de quatro fatores:

- a) A área total destinada a audiência e a orquestra;
- b) A distância entre a poltrona e o palco;
- c) A quantidade e a intensidade das reflexões laterais nas paredes;
- d) Os materiais absorventes presentes na sala, incluindo carpetes, tapetes, cortinas e estofamentos.

Para um ponto específico da sala, o valor do Nível Sonoro Relativo (G) utilizado é calculado como a média entre as bandas de 500 e 1000Hz, assim como sugere a norma ISO 3382-1:2009. As bandas mais graves não são consideradas, pois nesta região do espectro pode haver oscilações na intensidade do som. Por outro lado, bandas de frequências mais agudas passam a sofrer forte influência da absorção do ar, que varia de acordo com a umidade relativa e temperatura. Esses tipos de variações geram uma dificuldade para estabelecer critérios de comparação, por este motivo o cálculo é feito sobre a região média do espectro sonoro.

A definição de critérios ideais para o Nível Sonoro Relativo (G) não é simples. É importante lembrar que, para um mesmo ponto de uma sala, o valor

deste parâmetro pode variar. Isso acontece pois Nível Sonoro Relativo (G) depende da potência da fonte sonora e do tempo de reverberação. O primeiro fator pode variar de acordo com a quantidade de instrumentos, tipo de instrumentos, ou mesmo a força com que os instrumentos são tocados. O segundo fator pode variar de acordo com a quantidade público presente.

Como dito antes, a interpretação da Equação 3.9 é que o Nível Sonoro Relativo (G) é justamente a contribuição que a sala dá para o nível sonoro total em um determinado ponto. Partindo deste princípio, seria uma boa ideia supor que um critério mínimo a ser atendido seria manter $G > 0dB$, pois com isso está garantido que a sala não contribuirá negativamente para o nível sonoro total.

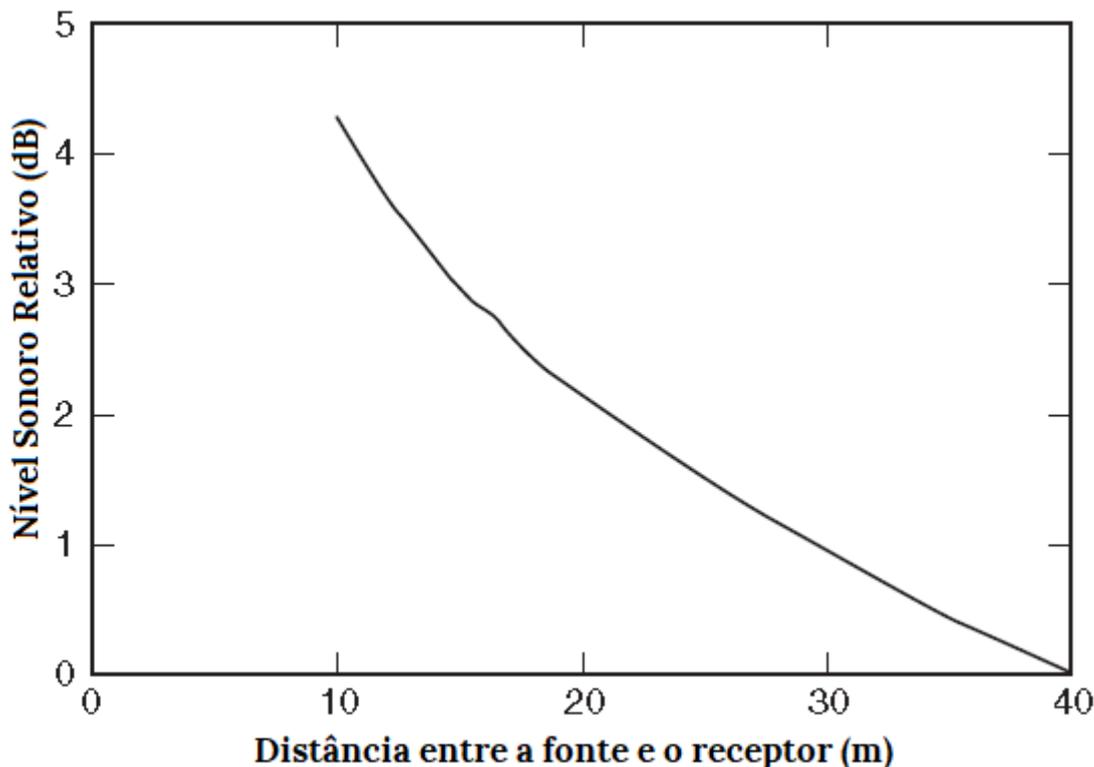
Para Barron (2005), no entanto, essa visão é um pouco simplista. Seus estudos mostraram que um critério no qual o valor varie com a distância entre a fonte e o receptor é mais satisfatório. Na elaboração deste critério, Barron (2005) levou em conta que o julgamento subjetivo que as pessoas fazem do nível sonoro está conectado com suas expectativas, o que por sua vez está ligado com as suas experiências. Dessa forma, Barron (2005) considerou a distância entre a fonte e o receptor para propor o critério de avaliação deste parâmetro.

A Figura 39 mostra a curva proposta que representa os valores mínimos aceitáveis em função da distância para um determinado ponto na plateia, em função da distância entre este ponto e a fonte sonora. Por este gráfico podemos notar que, para distâncias menores do que 10 metros, é recomendado um $G > 4dB$. Além disso, distâncias maiores do que 40 metros parecem impraticáveis. A curva do gráfico da Figura 39, pode ser obtida através da Equação 3.10.

$$G_{min} = 10 \log \left(\frac{100}{r^2} + 2,08e^{-0,02r} \right) \quad (3.10)$$

Na equação 3.10, r é a distância entre a fonte e o receptor.

Figura 39 – Sugestão de critério para avaliar o Nível Sonoro Relativo (G) em função da distância entre a fonte e o receptor (BARRON, 2005).



Fonte: Adaptado de (BARRON, 2005)

3.4 A NORMA NORUEGUESA NS 8178:2014

Na Seção 3.3, procurou-se entender quais os valores ideais para os parâmetros acústicos estudados, contudo, existe um questão importante que deve ser levantada. A maior parte dos estudos feitos até o presente momento se dedicaram a pesquisar critérios de desempenho acústico para salas de grande porte, destinadas à apresentação de grandes orquestras.. O livro de Beranek (2004), por exemplo, ignora completamente salas de ensaio e de apresentação de médio e pequeno porte. Barrom (2010) ainda chegou a estudar salas de médio porte voltadas para música de câmara, mas as salas de pequeno porte continuam sem ter muita atenção, e, quando se trata de salas destinadas ao uso de música amplificada, os estudos são mais escassos ainda.

Diante da quantidade de espaços voltados à música amplificada e também a concertos de menor porte, é justo olhar com certa estranheza a falta de estudos. Contudo, é esperado que estes espaços comecem a ter um pouco mais de atenção em virtude do seu número crescente.

No ano de 2014, foi editada uma norma nacional na Noruega (NS 8178:2014) que se preocupou em indicar critérios para avaliar salas destinadas a ensino de música, ensaio e pequenas apresentações. Em seu escopo, três tipos de músicas são considerados: música amplificada, música acústica de alta intensidade e música acústica de intensidade fraca. Três critérios básicos são considerados: volume, geometria (ângulo e proporção entre as superfícies) e tempo de reverberação. As curvas de Tempo de Reverberação em função do volume são construídas levando em conta a média do Nível Sonoro Relativo (G) na sala e a potência típica dos instrumentos nas diversas situações (RINDEL, 2014).

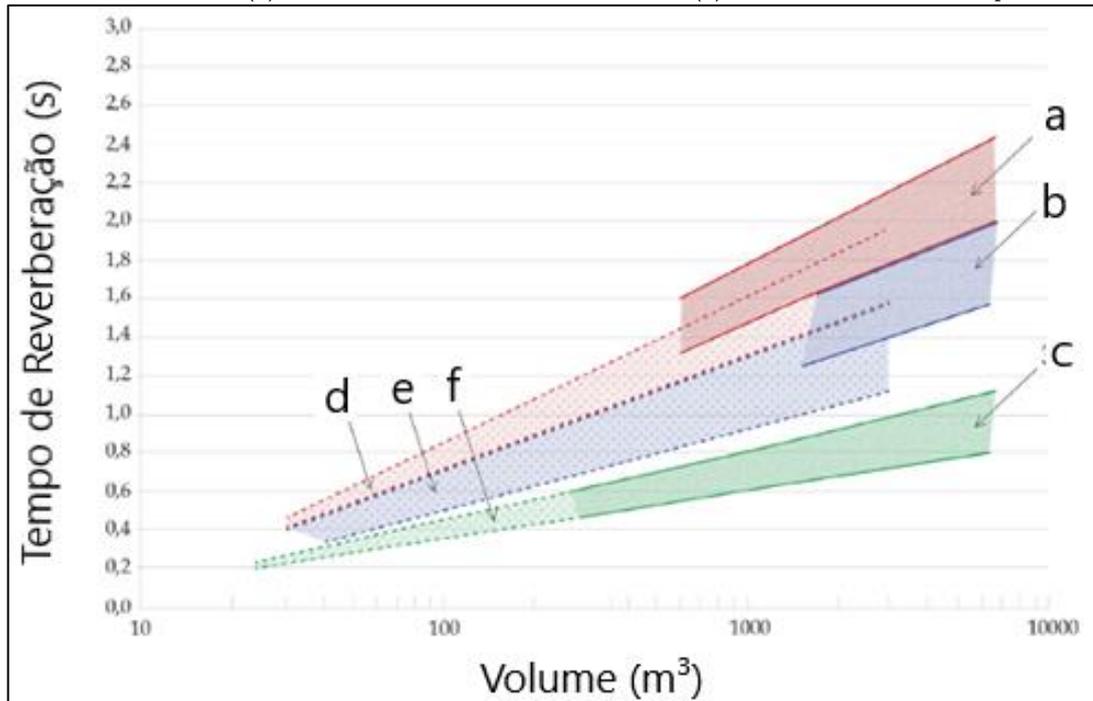
A Tabela 5 mostra alguns dos critérios adotados pela norma NS 8174:2014 relacionados com as características geométricas da sala, quantidade de músicos e quantidade de público. Na tabela, as cores amarela, verde e azul destacam as áreas relativas à Música Acústica Fraca, Música Acústica Forte e Música Amplificada respectivamente. Duas situações são analisadas separadamente: ensaio, que não envolve público, e apresentação, que envolve público. A primeira situação é dividida em quatro tipos que variam conforme a quantidade de músicos. São eles: Prática Individual, Pequeno Conjunto, Conjunto de Tamanho Médio e Conjunto Completo. Para cada uma das combinações entre as situações possíveis e os tipos de música, a norma estabelece critérios de volume, área, pé direito, quantidade de audiência e volume por pessoa.

Note na Tabela 5 que a norma divide o tipo “Música Amplificada” em dois subgrupos: Pista e Sala com Assentos. O termo “Pista” é utilizado para designar salas onde não há assentos, de forma que o público pode caminhar livremente pela região de audiência.

Além dos critérios da Tabela 5, a norma também estabelece critérios específicos de Tempo de Reverberação para cada uma das situações discutidas. O

gráfico da Figura 40 mostra os valores de Tempo de Reverberação recomendados em função do volume de acordo com as seguintes situações indicadas na figura:

Figura 40 – Curvas recomendadas para o Tempo de Reverberação em função do volume segundo a norma NS 8178 para: (a) Apresentação de Música Acústica Fraca (b) Apresentação de Música Acústica Forte (c) Apresentação de Música Amplificada (d) Ensaio de Música Acústica Fraca (e) Ensaio de Música Acústica Forte (e) Ensaio de Música Amplificada



- (a) Apresentação de Música Acústica Fraca
- (b) Apresentação de Música Acústica Forte
- (c) Apresentação de Música Amplificada
- (d) Ensaio de Música Acústica Fraca
- (e) Ensaio de Música Acústica Forte
- (f) Ensaio de Música Amplificada

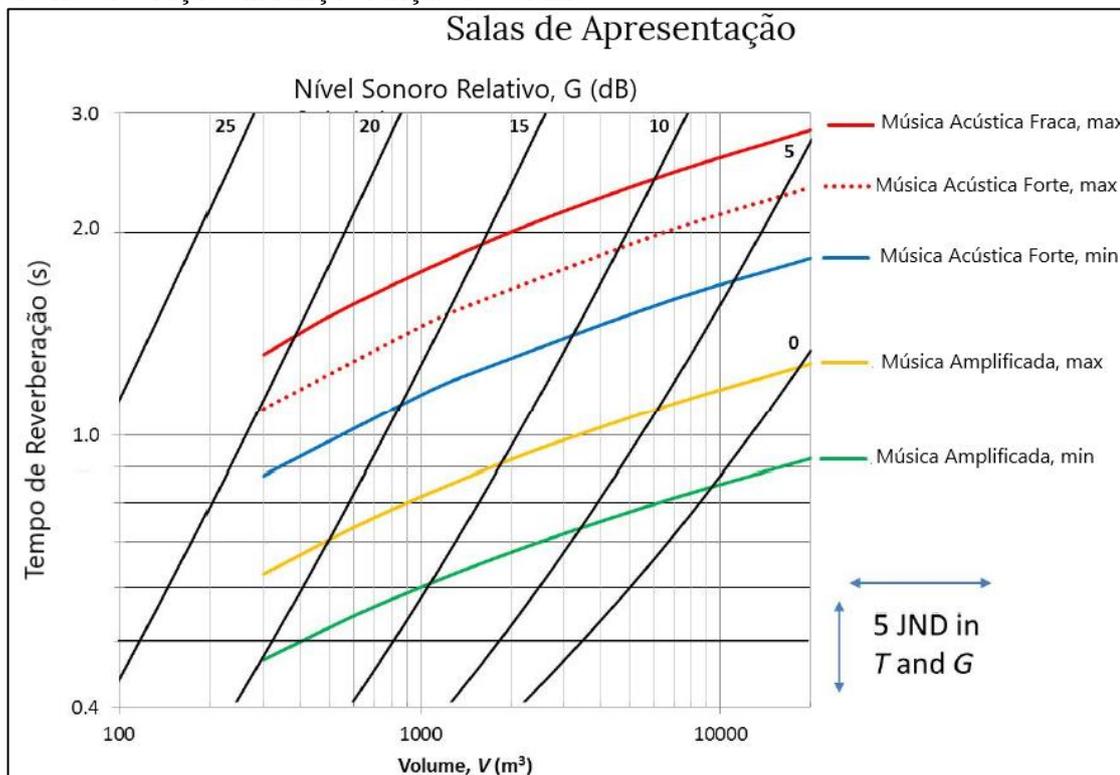
Tabela 5 – Critérios da norma NS 8178 para volume, área, pé direito, quantidade de audiência e volume por pessoa para cada tipo de música na situação de ensaio ou apresentação

	Ensaio				Apresentação	
	Prática Individual	Pequeno Conjunto ou Prática de Ensino	Conjunto de tamanho médio	Conjunto Completo		
Música Acústica Fraca	Nº de Músicos	1 a 2	3 a 12	12 a 20	20 a 25 (orquestra ou coral)	
	Volume	> 30m ³	de 45m ³ a 120m ³	> 200m ³	> 700m ³	de 1500m ³ a 6500m ³
	Área	15m ²			>120m ² + 2m ² por músico	Palco maior do que 75m ²
	Pé Direito	2,7m	>3,5m	>4,5m	>5m	de 6 a 12m
	Audiência					de 100 a 500 pessoas
	Volume por Pessoa					12m ³ por pessoa, incluindo os músicos
Música Acústica Forte	Nº de Músicos	1 a 2	3 a 12	12 a 24	mais do que 25	
	Volume	>40m ³	de 45m ³ a 360m ³	>360m ³ >500m ³ para Big Bands	>1000m ³ >1500m ³ para Banda de Metais >1800m ³ para orquestra sinfônica	de 2000m ³ a 6500m ³
	Área	15m ²			Para todos os casos, um mínimo de 30m ³ por músico >120m ² + 2m ² por músico	Palco maior do que 100m ²
	Pé Direito	2,7m	>3,5m	>4,5m	>5m	de 8 a 12m
	Audiência					de 100 a 500 pessoas
	Volume por Pessoa					10m ³ por pessoa, incluindo os músicos
Música Amplificada	Nº de Músicos	1 a 2	3 a 6	6 a 12	mais do que 12	
	Volume	>25m ³	>60m ³	>180m ³	>400m ³	- <u>Pista</u> : de 300m ³ a 800m ³ - <u>Sala com Assentos</u> : de 600 m ³ a 1000m ³
	Área		>20m ²	>60m ²	>100m ²	- <u>Pista</u> : de 100m ² a 200m ² para audiência e >30m ² para o palco. - <u>Sala com Assentos</u> : >150m ² para a audiência e >50m ² para o palco
	Pé Direito	2,7m	>2,7m	>3m	>4m	- <u>Pista</u> : de 4 a 6m - <u>Sala com Assentos</u> : de 4 a 10m
	Audiência					- <u>Pista</u> : de 200 a 1000 pessoas - <u>Sala com Assentos</u> : de 100 a 500 pessoas
	Volume por Pessoa					

Outro parâmetro utilizado na norma NS 8178:2014, com critérios bem definidos para cada situação, é o Nível Sonoro Relativo. O gráfico da Figura 41 mostra o Tempo de Reverberação e o Nível Sonoro Relativo em função do volume. As linhas em preto sólido indicam o Nível Sonoro Relativo em passos de 5 dB. Note que o eixo utilizado para o Tempo de Reverberação é logarítmico. Repare os intervalos correspondentes a 5 JND indicados no canto inferior esquerdo do gráfico.

As linhas coloridas indicam os limites recomendados para situação de apresentação de cada tipo de música.

Figura 41 – Curvas recomendadas pela norma NS 8178 para o Nível Sonoro Relativo e Tempo de Reverberação em função do volume.

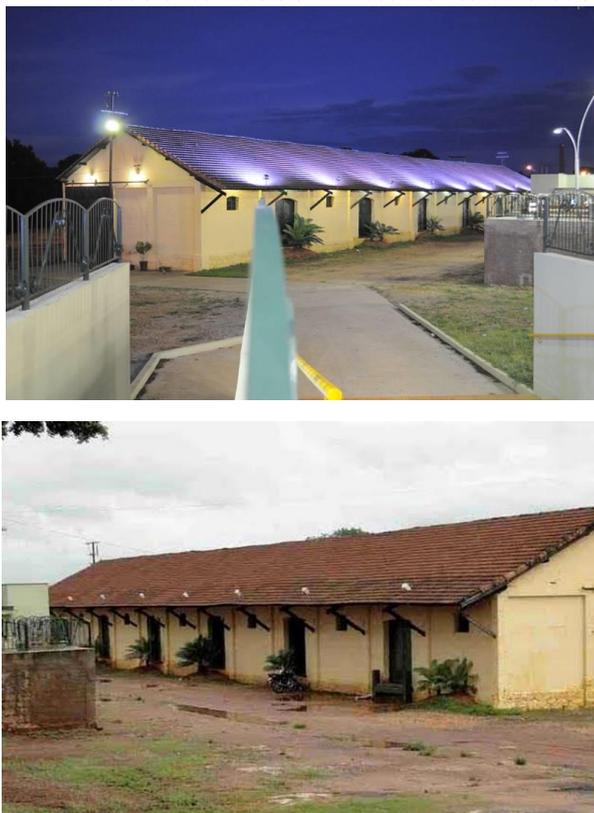


Capítulo 4

Materiais e Métodos

O anfiteatro Isaltino Casemiro (Figura 42), objeto deste estudo, hoje é um local cujo potencial acústico já é explorado, e, por motivações históricas, vem sendo escolhido pela prefeitura de Porto Ferreira não só como o principal palco dos atos artísticos da cidade, mas também como sala de reuniões, palestras e conferências.

Figura 42 - Vistas externas do Anfiteatro Isaltino Casemiro.



Fonte: Autor

A metodologia adotada neste trabalho buscou primeiramente compreender as motivações que levam o prédio a ser utilizado até os dias de hoje. Por

tratar-se de um espaço com valor histórico cujas informações estão pouco organizadas na literatura existente, a primeira etapa da metodologia foi justamente organizar as informações históricas dispersas em fontes das mais diversas, desde relatórios antigos da Companhia Paulista de Estrada de Ferro, recortes de jornais, informes da prefeitura e pesquisas no museu da cidade de Porto Ferreira.

Após o esclarecimento da origem histórica do local, partiu-se para a caracterização física do espaço, que é passo fundamental para a elaboração do modelo tridimensional.

A etapa seguinte foi então conhecer o aspecto acústico do local, o que foi feito por meio da medição de parâmetros acústicos. Para conhecimento, os parâmetros acústicos escolhidos foram Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Definição (D50), Clareza (C80), Nível Sonoro Relativo (G) todos em função de frequência em bandas de oitava entre 125Hz e 4000Hz.

Conhecendo os parâmetros acústicos é possível analisar os resultados, comparando com os valores de referência estudados, a fim de verificar o desempenho acústico do local.

Uma vez obtidos os resultados das medições dos parâmetros acústicos, a segunda parte do estudo é justamente criar um modelo virtual desta sala. Este modelo é feito em duas etapas. A primeira é desenhar uma representação tridimensional da sala, e a segunda etapa, é caracterizar o modelo do ponto de vista acústico levando em conta os coeficientes de absorção das superfícies. Esta segunda etapa foi feita empregando o software ODEON. Com um modelo tridimensional da sala criado, o programa ODEON permite fazer simulações do comportamento acústico do local. O ajuste do modelo foi feito comparando os dados dos parâmetros acústicos obtidos por meio das medições com os resultados das simulações.

Com o modelo ajustado, fornecendo resultados coerentes com os resultados esperados das medições, é possível considerá-lo validado. A principal vantagem de ter um modelo validado é justamente poder explorar as possibilidades de melhoria, levando em conta as diversas aplicações de fala e música.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESPAÇO FÍSICO

A arquitetura do Anfiteatro Isaltino Casemiro é reflexo do momento histórico de seu nascimento, o ano de 1880, e da sua função como parte do complexo ferroviário do interior paulista. O destino original da construção era servir como um armazém de mercadorias, portanto, a arquitetura não é rica em detalhes quando comparada com as estações de passageiros, contudo, o prédio foi nitidamente construído para suportar as intempéries do tempo, uma prova disso é justamente o fato do esqueleto de sua estrutura (paredes, madeiramento e telhado) ainda hoje existir. A Figura 50 mostra a visão dos arredores do anfiteatro, próximo da mata ciliar, por onde passa o rio Mogi Guaçu, e da avenida principal da cidade.

A configuração do espaço é retangular (caixa de sapatos), possuindo 61,5 metros de comprimento e 10 metros de largura, de forma que a área interna total é de cerca de 615 m². A princípio não havia forro no local, como mostra a Figura 43, o telhado era composto basicamente por uma estrutura de madeira coberta com telhas francesas de barro, estrutura esta que ainda existe nos dias de hoje. Contudo, durante as obras de revitalização realizadas em 2014, foi adicionado um forro de PVC (Figura 44), o que por um lado certamente afeta o tempo de reverberação da sala, uma vez que altera o volume interno drasticamente, contudo, por outro lado, pode ajudar no controle do ruído, principalmente em dias chuvosos. O forro foi instalado a 4 metros do chão como mostra a Figura 45, assim, o volume total perdido entre o forro e as telhas foi de 1160 m³, e o volume interno restante ficou em 2460 m³. As paredes externas são feitas de tijolo maciço e possuem cerca de 28 cm de espessura. Não foi aplicado reboco nas paredes, apenas uma camada de tinta protegendo os tijolos interna e externamente.

Figura 43 - Visão interna do Anfiteatro Isaltino Casemiro antes da revitalização de 2014.



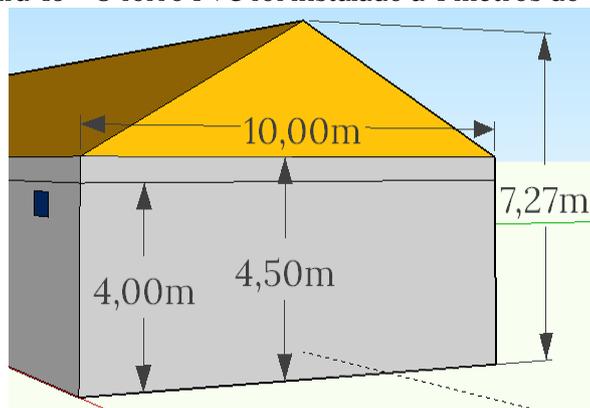
Fonte: Autor

Figura 44 - Visão interna do Anfiteatro Isaltino Casemiro após a revitalização de 2014.



Fonte: Blog Porto Ferreira Online¹

Figura 45 - O forro PVC foi instalado a 4 metros do chão.

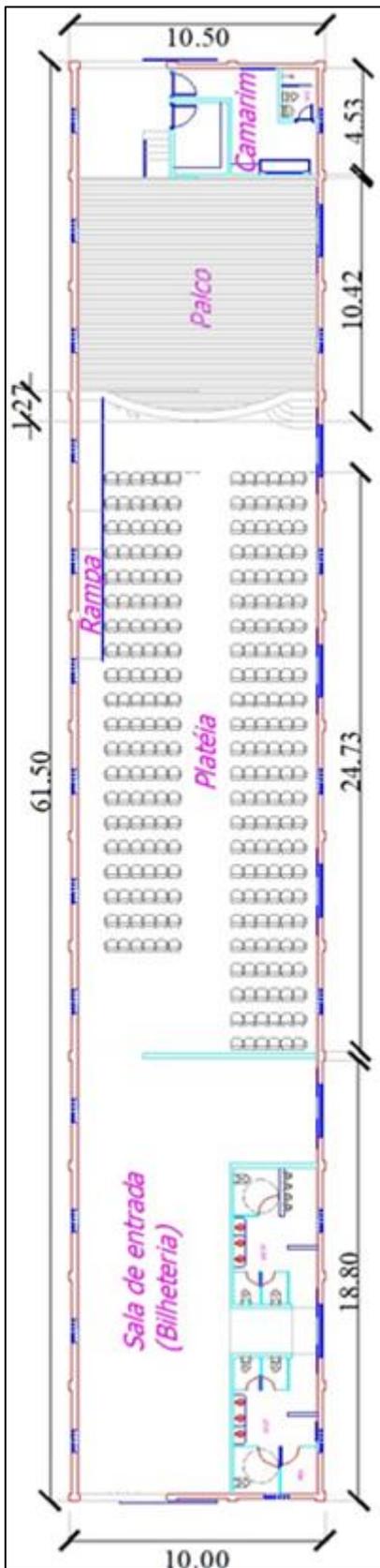


Fonte: Autor

Ao longo do tempo o prédio passou por algumas transformações para que fosse possível exercer a função de anfiteatro. A Figura 46 mostra a planta baixa com os principais elementos. Na parte de trás do prédio, podemos notar o camarim e o palco cujo acesso se dá pelos fundos da edificação, e, portanto, separado da entrada principal utilizada pelo público. A porta de ingresso ao camarim é feita de ferro e está pintada com uma camada de tinta, já a porta lateral de acesso ao palco é feita de madeira. O acesso para o cadeirante só é possível através da rampa que está posicionada na parte frontal do palco como mostram as Figuras 47 e 48.

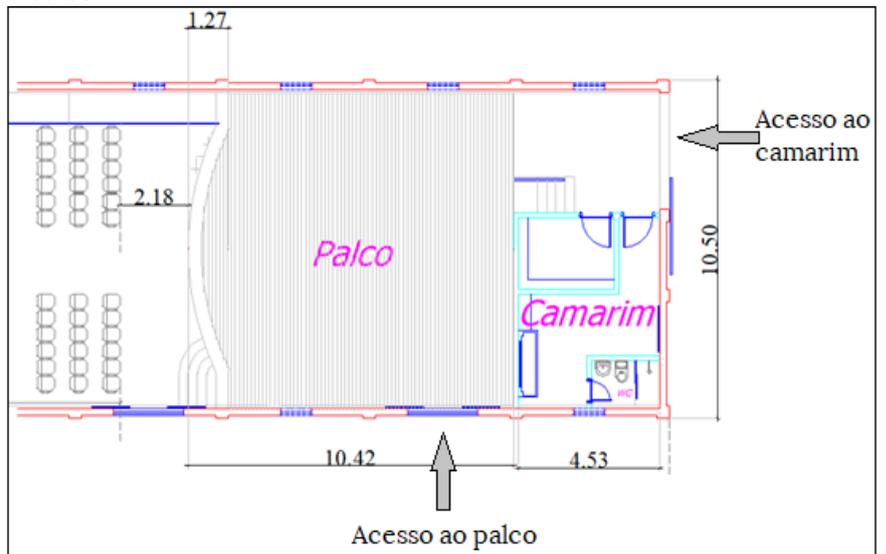
¹ Disponível em <https://www.portoferreiraonline.com.br/>

Figura 46 - Planta baixa do Anfiteatro Isaltino Casemiro. Todas as cotas medidas em metros.



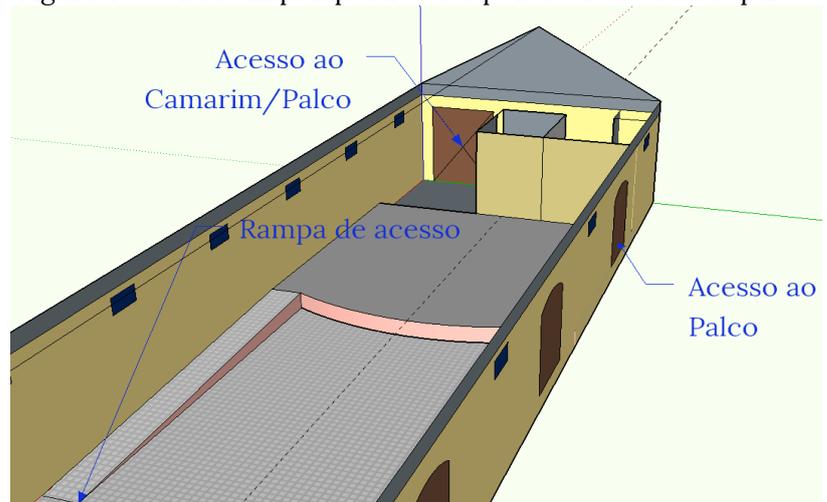
Fonte: Autor

Figura 47 - Planta baixa (palco e camarim). Todas as cotas medidas em metros.



Fonte: Autor

Figura 48 - Visão em perspectiva dos pontos de acesso ao palco.



Fonte: Autor

Figura 49 - Cortinas no palco.



Fonte: Autor

Figura 50 – Fotografia aérea do Anfiteatro Isaltino Casemiro. Note que as principais fontes de ruído são avenida e a mata ciliar.



Fonte: Fotografia aérea tirada por drone. Cortesia de Marcos Zaniboni

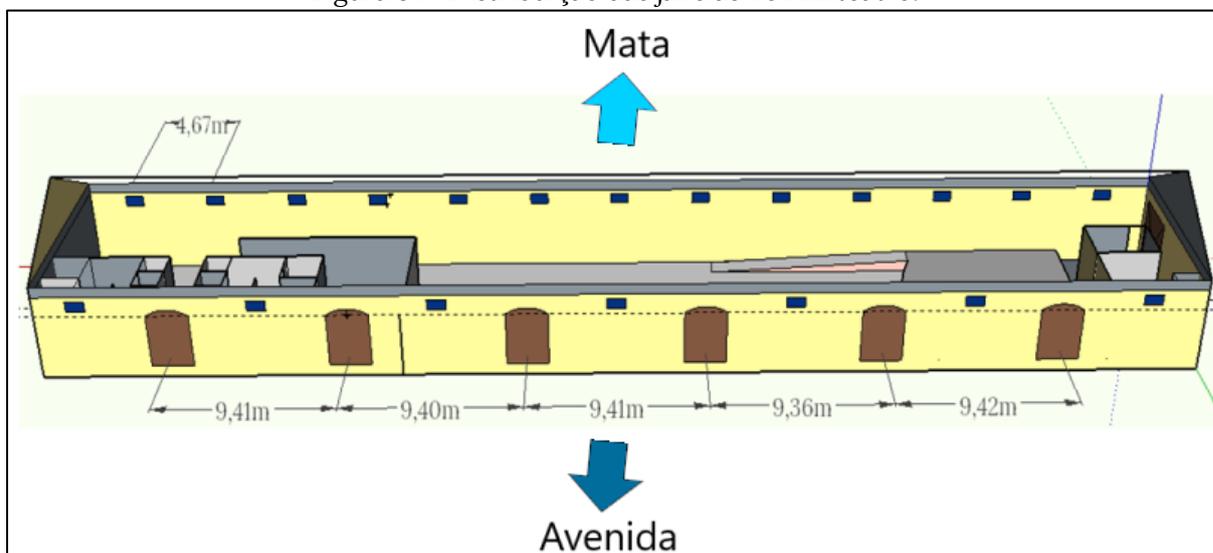
O palco, por sua vez, possui uma superfície de aproximadamente 110 m² e uma elevação de 56 cm com relação à área da audiência. Ainda com relação a estes dois elementos, palco e camarim, uma outra observação importante deve ser feita. Olhando para a Figura 48, podemos notar que o fundo da área elevada destinada ao palco não está completamente isolada, isso significa que ruídos externos podem entrar no anfiteatro com certa facilidade através da porta de acesso ao camarim (indicada na Figura 48). Além disso, durante as medições, notou-se que o fundo falso do palco se constitui de uma cortina que esconde exatamente este espaço entre a porta de acesso traseira e o início do palco. Outra observação importante a ser feita é a quantidade de cortinas disponíveis na região do palco. São

6 (seis) cortinas espaçadas por uma distância de cerca de 1,80 metros, como é possível notar na Figura 49. Esta informação pode ser relevante, pois é provável que o tempo de reverberação sofra alguma variação de acordo com a quantidade de cortinas abertas. As cortinas, mesmo quando fechadas, estão absorvendo as ondas sonoras, logo este certamente deve ser um fator a se considerar durante a elaboração do modelo computacional para a simulação.

Além das portas de acesso laterais e frontais, o prédio conta com um total de 26 (vinte e seis) janelas para ventilação. Destas, 21 janelas têm $0,5 \text{ m}^2$ (janelas pequenas) e as outras cinco têm 6 m^2 (janelas maiores), sendo que uma das janelas de 6 m^2 foi adaptada para ser usada como porta de acesso ao palco, como descrito (Figura 48).

A distância entre as janelas maiores é, em média, de 9,41 metros, com pequenas variações, já a distância entre as janelas menores fica em torno de 4,7 metros conforme mostra a Figura 51.

Figura 51 - Distribuição das janelas no Anfiteatro.



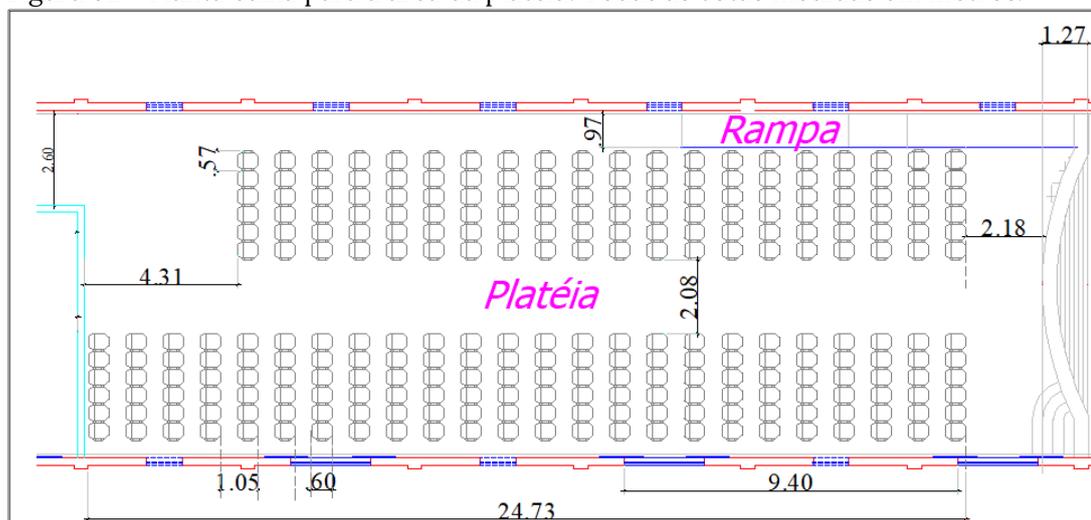
Fonte: Autor

Neste ponto, é necessário destacar que a parede que possui as maiores janelas é justamente aquela que está de frente para a avenida principal da cidade. Embora as janelas estejam quase sempre fechadas, estas são feitas de madeira e possuem muitas frestas por onde as ondas sonoras podem passar, isso significa

que em momentos de maior trânsito na cidade estes pontos podem facilitar a entrada de ruído no ambiente. Com relação às janelas menores, estas possuem grades de ferro na parte externa, e por dentro são feitas de uma camada não muito espessa (entre 2 e 5 mm) de vidro, verificou-se, no entanto, que muitos destes vidros estão quebrados e necessitam reparo.

A área dedicada ao público é de aproximadamente 250 m² e fica limitada por uma parede de alvenaria rebocada e pintada (em azul claro na Figura 52 e na Figura 53) que foi construída para separar a área da bilheteria e sanitários da área destinada à plateia.

Figura 52 - Planta baixa para a área da plateia. Todas as cotas medidas em metros.

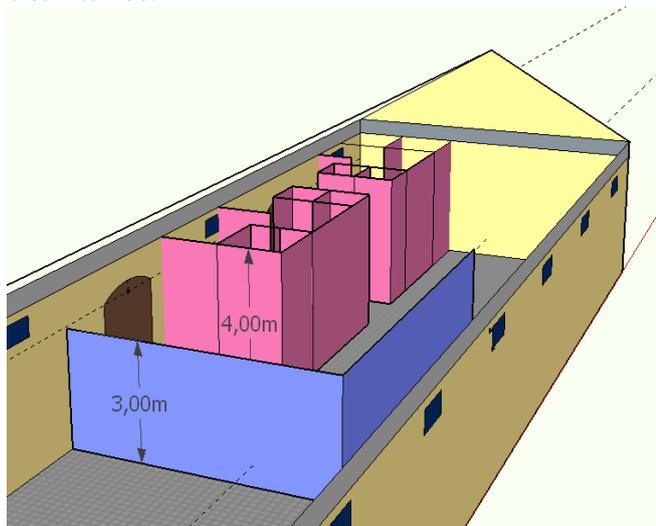


Fonte: Autor

Nesse ponto, é importante observar que a parede citada possui apenas 3 metros de altura e não toca o forro que está a 4 metros do piso. Além disso, não existe nenhuma porta entre a área destinada à plateia e a área destinada à bilheteria e sanitários, apenas um corredor de 2,8 metros de largura, como se pode notar nas Figuras 52 e 54. Este fato pode influenciar tanto no tempo de reverberação da área da audiência quanto no isolamento ao ruído externo. Temos aqui uma situação de acoplamento de salas, análoga àquela exemplificada no capítulo

3. Como foi visto, o tempo de reverberação desta sala de audiência pode ser afetado à medida que o tempo de reverberação da sala de audiência fica menor que o tempo de reverberação da bilheteria.

Figura 53 - Visão em perspectiva da área de bilheteria e sanitários.



Fonte: Autor

Figura 54 - Vista do ponto de vista da rampa. É possível ver que a parede que separa a audiência da área de bilheteria.



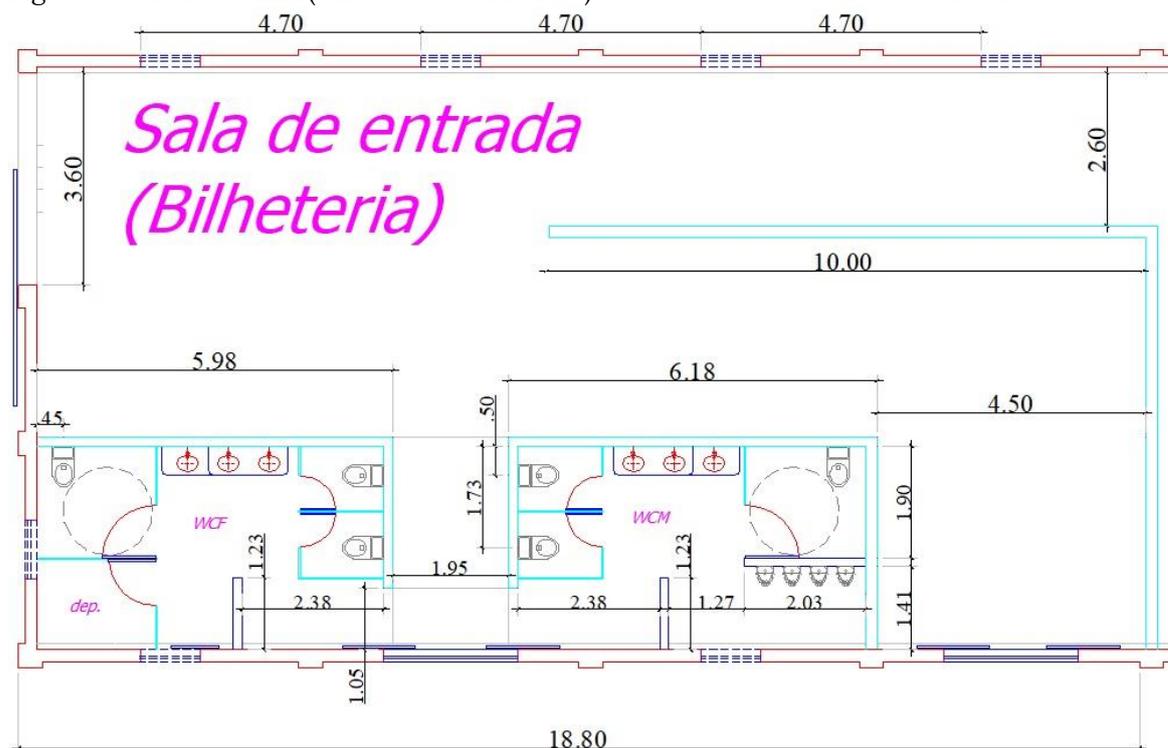
Fonte: Autor

O anfiteatro tem capacidade total para 255 pessoas sentadas. Os bancos possuem estrutura de ferro e o estofamento é poroso tanto para o encosto quanto para o assento (Figura 54). As cadeiras estão posicionadas a 2,18 metros do palco, e estão divididas em dois grandes blocos, um à esquerda e um à direita. Entre esses blocos de cadeiras existe um espaço de aproximadamente 2 metros, espaço este que funciona como um corredor. Existe também outro corredor na lateral da sala que dá acesso à rampa para o palco, ambos podem ser visualizados na Figura 52.

O piso do prédio é revestido com piso cerâmico na cor branca, com exceção do palco, que foi executado em cimento com uma camada de tinta (Figura 49).

Destinada à bilheteria e aos sanitários, tem-se a área de 180 m² onde se encontra uma porta de ferro que dá acesso ao público (Figura 55).

Figura 55 - Planta baixa (bilheteria e sanitários). Todas as cotas medidas em metros.



Fonte: Autor

4.2 MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS ACÚSTICOS

Após a caracterização do espaço físico e do levantamento histórico do Anfiteatro, foi feita a medição dos seguintes parâmetros acústicos: Tempo de Reverboração (T30), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Definição (D50), Índice de Clareza (C80) e Nível Sonoro Relativo (G), todos em função de frequência em bandas de oitava entre 125Hz e 4000Hz. Para complementar, também foi medido o parâmetro Índice de Transmissão da Fala (STI). Com exceção deste último, todos os outros parâmetros estão previstos na norma ISO 3382-1:2009, que foi utilizada como referência para o procedimento de medição.

4.2.1 Aparato utilizado na medição

Para executar o processo de medição foram utilizados dois microfones omnidirecionais de cápsula pequena da marca Behringer modelo ECM8000. Uma fonte omnidirecional da marca Bruel&Kjaer modelo 4292-L ligada a um amplificador Bruel&Kjaer modelo 2734. Utilizou-se também uma interface de áudio USB com dois canais de entrada da marca Presonus modelo Audiobox 44USL conectada a um notebook com o sistema operacional Windows 10. O software de medição acústica empregado foi o *Dirac* da *Bruel&Kjaer*, responsável por processar os dados do áudio capturados pelos microfones.

4.2.2 Procedimento de Medição

A medição dos parâmetros acústicos foi efetuada no dia 21 de novembro de 2018 durante o período da manhã e seguiu as recomendações da norma ISO 3382-1 (2009). As áreas do edifício correspondentes ao camarim, bilheteria e sanitários, não foram avaliadas. Durante o procedimento, levou-se em conta apenas a região do palco e a área destinada à plateia. A fim de representar o uso esperado do espaço, a fonte sonora foi posicionada no palco, e os microfones (receptores) foram posicionados na plateia. O propósito da medição foi avaliar a qualidade com que o público na plateia percebe o som que é produzido no palco. Não houve preocupação em analisar como o som é percebido por quem está no palco, à vista disso, nenhum microfone foi posicionado nesta área, e também, em nenhum momento, a fonte foi posicionada na região da plateia.

Todo o processo de medição foi feito com a sala vazia (assentos desocupados) e com todas as cortinas abertas, com exceção da última como mostra a Figura 56. Esta configuração de cortinas foi utilizada pois é desta forma que normalmente o anfiteatro é utilizado.

Uma dificuldade encontrada em alguns momentos da medição foi conseguir uma boa relação entre o sinal emitido para medir e o ruído residual. Como

a sala é muito próxima da avenida principal da cidade, o ruído proveniente do trânsito obrigou a repetição da medição de alguns pontos. Aumentar a intensidade sonora da fonte no amplificador não era uma saída, pois a fonte já estava trabalhando próxima da sua região de saturação, o que poderia gerar uma quantidade de distorção harmônica não aceitável.

Figura 56 - Posição das cortinas durante a medição.



Fonte: Autor

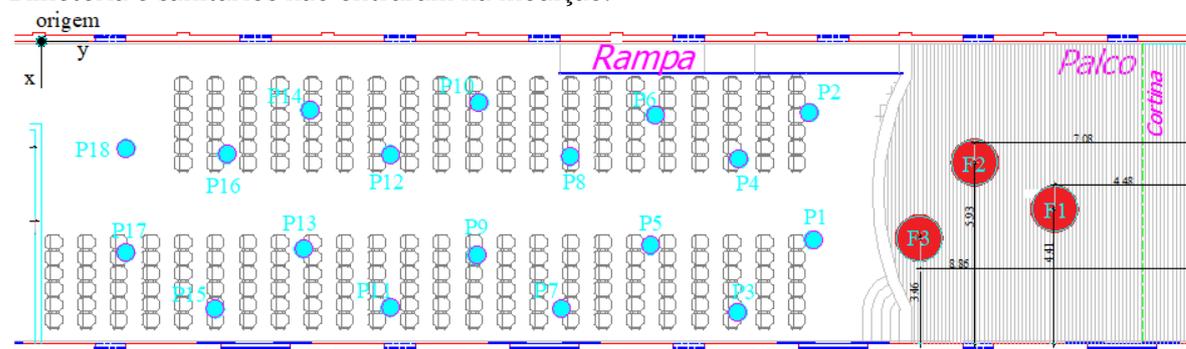
As medições acústicas foram feitas empregando o método da resposta impulsiva (IR). Assim, para a obtenção da resposta (IR), utilizou-se como sinal excitatório a varredura exponencial de senos¹, especialmente útil quando é necessário otimizar os resultados em situações onde a relação sinal-ruído não é boa, principalmente na região de baixa frequência do espectro sonoro (ACOUSTICS ENGINEERING, 2008).

No interior da sala foram selecionadas dezoito posições para o receptor e três posições para a fonte sonora. O sinal sonoro emitido pela fonte foi gerado

¹ A forma como o sinal emitido pela fonte sonora varre (*sweep*) as frequências de tom puro (ondas senoidais) pode ser exponencial ou linear.

três vezes para cada um dos dezoito pontos de medição, uma vez para cada posição de fonte. Dessa forma foram obtidos 54 gráficos de resposta impulsiva. Vale mencionar que, pelo fato de se ter dois microfones, foi possível medir as respostas impulsivas aos pares, ou seja, dois pontos simultaneamente. Na distribuição dos pontos de fonte e receptor, buscou-se certa uniformidade, de forma a retratar de maneira bem abrangente o comportamento sonoro da sala nos diversos setores da plateia. A escolha dos pontos respeitou as regras de posicionamento dos microfones e da fonte exigidas pela norma ISO 3382-1(2009), são elas: altura da fonte, altura dos microfones, distância entre os microfones e superfície refletora mais próxima, distância entre dois pontos de medição e a distância entre a fonte e os microfones. A Figura 57, mostra o arranjo geral dos pontos na sala para a fonte (em vermelho) e para os receptores (em azul).

Figura 57 - Panorama geral da distribuição dos pontos de fonte (vermelho), e receptor (azul). Bilheteria e sanitários não entraram na medição.



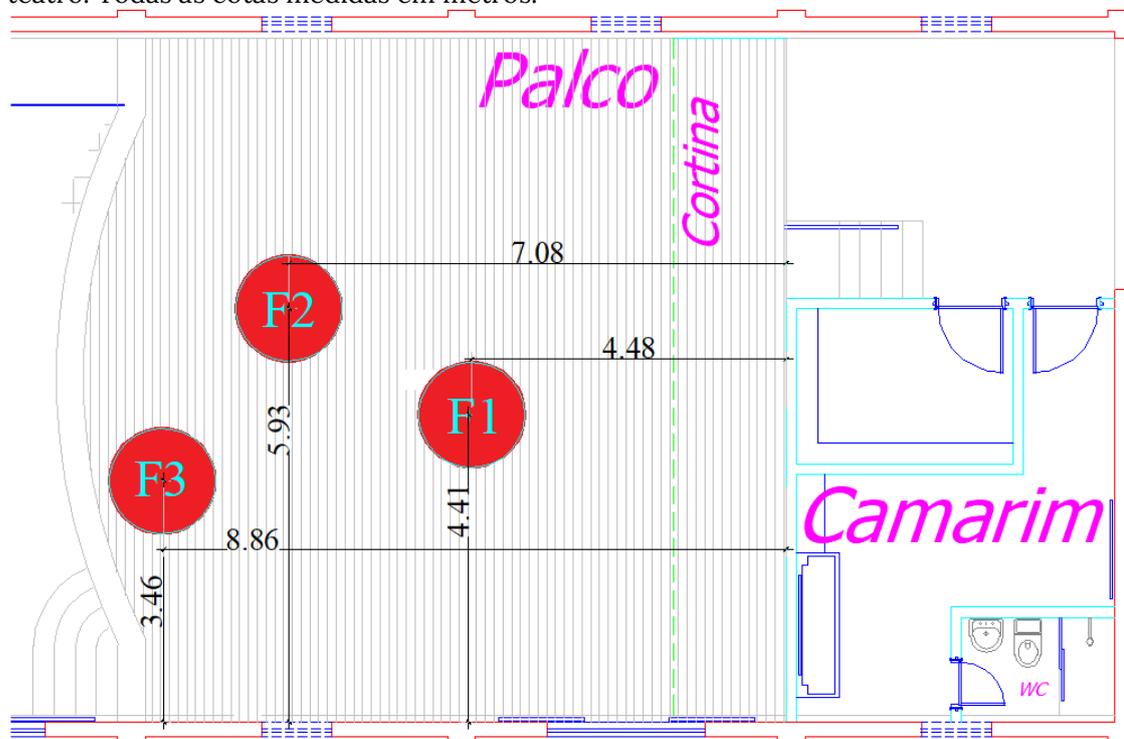
Fonte: Autor

Maiores detalhes com relação ao posicionamento dos três pontos escolhidos para a fonte podem ser vistos na Figura 58. A Figura 59, juntamente com a Tabela 6, mostram o posicionamento de cada um dos pontos de receptor avaliados.

A partir das respostas ao impulso (IR) obtidas, foi possível, empregando o software Dirac, calcular para cada um dos 54 pontos, os seguintes parâmetros: Tempo de Reverberação (RT), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Definição (D50) e Índice de Clareza (C80), todos em função de frequência em bandas de oitava

entre 125Hz e 4000Hz. Estes parâmetros, como apresentado no Capítulo 3, podem ser derivados diretamente da resposta ao impulso.

Figura 58 – Posicionamento dos pontos escolhidos para a fonte durante a medição do Anfiteatro. Todas as cotas medidas em metros.



Fonte: Autor

Para que o software Dirac fosse capaz de calcular o Nível Sonoro Relativo (G), foi antes necessário fazer uma calibração específica para este parâmetro. A calibração tem por função encontrar o valor do nível sonoro que seria medido a 10 metros da fonte, caso ela estivesse situada em um campo livre. Para fazer a calibração da forma como sugere a norma ISO 3382-1(2009), seria preciso dispor de alguns tipos especiais de salas para testes, como uma câmara anecoica (no caso de se utilizar o método do campo livre), ou uma câmara reverberante (no caso de se utilizar o método do campo difuso) com no mínimo 200 m³ de volume (ACOUSTICS ENGINEERING, 2008). Como não foi possível ter acesso a nenhum destes tipos de sala, a saída encontrada foi utilizar um método alternativo.

Figura 59 - Pontos onde foram posicionados os microfones de medição.

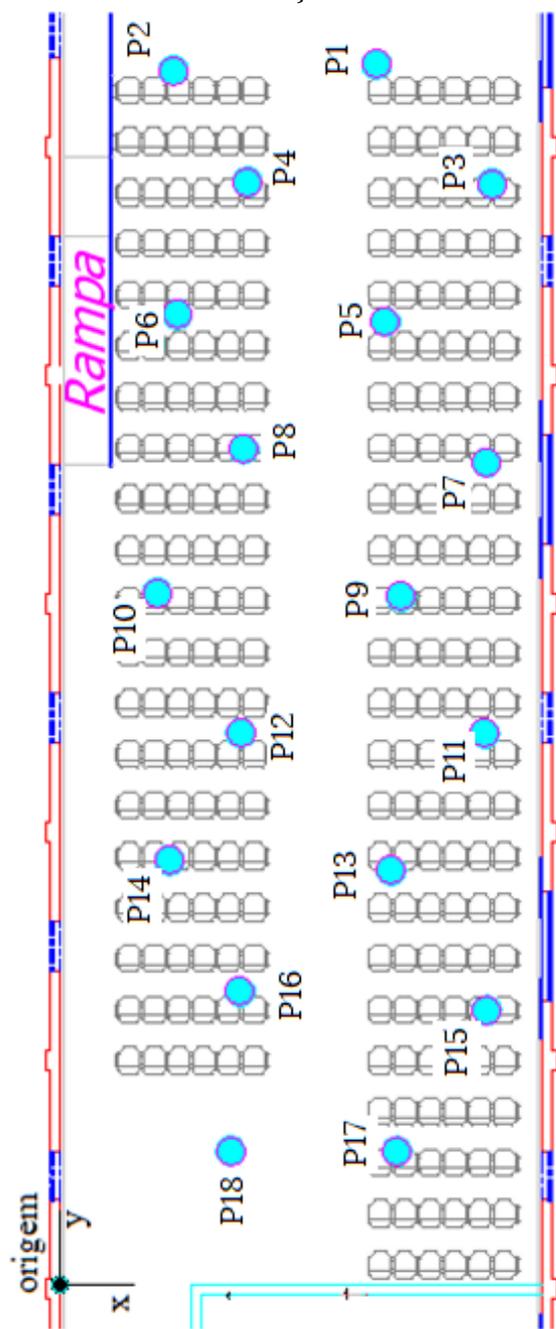


Tabela 6 - Coordenadas cartesianas para cada posição de microfone. A origem do sistema de coordenadas está indicada na Figura 59 ao lado.

Ponto	Coordenadas (metros)	
	x	y
P1	6,50	25,09
P2	2,33	24,96
P3	8,86	22,63
P4	3,85	22,67
P5	6,68	19,80
P6	2,41	19,95
P7	8,75	16,90
P8	3,77	17,18
P9	7,00	14,15
P10	2,00	14,22
P11	8,72	11,33
P12	3,71	11,34
P13	6,80	8,51
P14	2,25	8,72
P15	8,76	5,64
P16	3,70	6,02
P17	6,92	2,74
P18	3,50	2,75

Fonte: Autor

Seguindo o método escolhido, com a fonte no palco, foram escolhidos 5 pontos de receptor (microfone), de maneira a formar um pentágono ao redor da fonte. Foi feita uma marca no chão para garantir que cada ponto ficasse a 1 metro da fonte. Em seguida foram efetuadas as medições das respostas ao impulso para

cada um dos pontos. É importante salientar que o nível do sinal utilizado para fazer esta calibração foi o mesmo utilizado para medir a sala em cada um dos dezoito pontos na área da plateia. Esse cuidado é indispensável para que o valor do Nível Sonoro Relativo (G) seja calculado corretamente, uma vez que os níveis sonoros absolutos não foram medidos. A Figura 60 mostra a disposição dos microfones durante a calibração.

Figura 60 - Momento da calibração da fonte sonora para o cálculo do Nível Sonoro Relativo.



Fonte: Autor

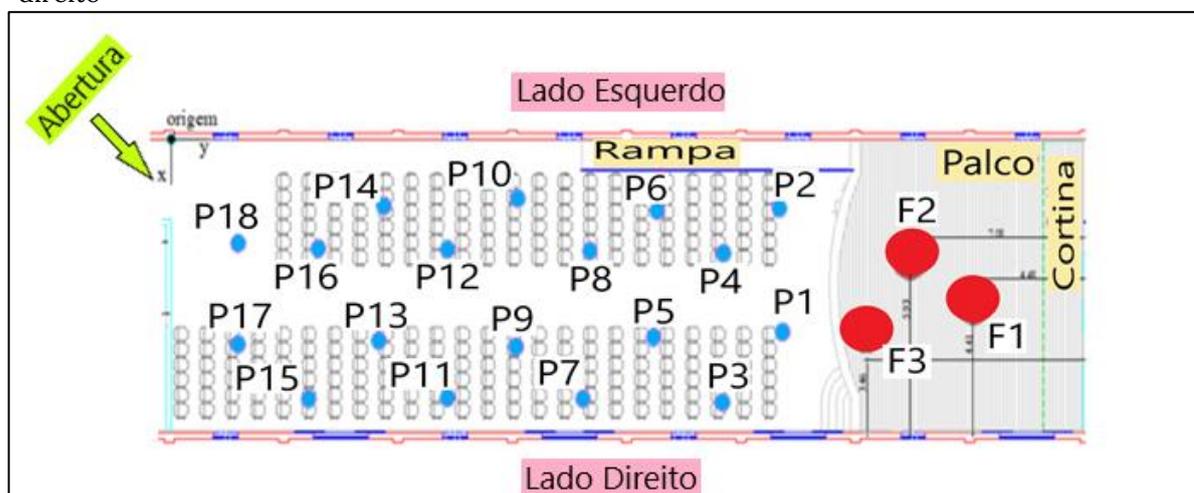
Como parte do método, antes de utilizar as respostas de impulsos medidas para calibrar, fez-se um tratamento no arquivo de áudio dentro do próprio Dirac. O tratamento serviu para corrigir pequenos erros na distância, eliminando parte do áudio com a finalidade de garantir exatamente 1 metro entre distância da fonte e cada um dos pontos. Um janelamento de 7 ms no áudio também se fez necessário para evitar as primeiras reflexões no arquivo de áudio utilizado na calibração.

Capítulo 5

Resultados e Análise

Para estudar o potencial acústico do Anfiteatro Isaltino Casemiro, foram medidos os seguintes parâmetros acústicos: T30, EDT, D50, C80, G e STI. A fim de efetuar a medição, adotaram-se 3 (três) posições de fonte e 18 (dezoito) posições de receptor, como mostra a Figura 61. Os parâmetros acústicos foram medidos para cada uma das combinações fonte-receptor e para cada uma das seguintes bandas de oitava de frequência: 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz e 4000Hz. A escolha das bandas foi baseada na norma ISO 3382-1:2009. Dessa forma, considerando todos os pares fonte-receptor, obteve-se um total de 54 combinações. Na Seção 5.1 deste capítulo, pretende-se analisar os dados obtidos por meio do procedimento descrito na metodologia. Na Seção 5.2 os dados sobre os parâmetros acústicos serão avaliados com base em critérios de desempenho. Neste capítulo os lados direito e esquerdo estarão convencionados como mostra Figura 61.

Figura 61- Pontos adotados para fonte e receptor e convenção adotada para os lados esquerdo e direito



5.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS ACÚSTICOS

Nesta seção serão analisados os dados sobre os parâmetros acústicos obtidos na fase de medição.

5.1.1 Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

Os gráficos 1a, 2a e 3a mostram o comportamento do parâmetro EDT em cada um dos 18 (dezoito) pontos medidos, em função de bandas de oitava de frequência para as fontes nas posições F1, F2 e F3 respectivamente. Nestes gráficos, a curva pontilhada representa o valor da média espacial calculada.

Os gráficos 1b, 2b e 3b, também respectivos às posições de fonte F1, F2 e F3, mostram os valores de EDT(s) em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência consideradas. Nestes gráficos a distância entre a fonte emissora e o ponto receptor está exibida no eixo horizontal superior.

De forma geral, é possível notar que os valores de EDT variam consideravelmente levando em conta o seu JND¹. Para as três posições de fonte emissora adotadas, as variações foram maiores nas baixas frequências, como mostram os gráficos 1a, 2a e 3a. Observa-se também que nos três casos, o comportamento da média espectral foi semelhante. No entanto, os gráficos 1b, 2b e 3b mostram que embora a média para uma determinada banda de frequência seja semelhante, os pontos onde os máximos e mínimos dos valores de EDT ocorreram foram diferentes entre as três situações. Por exemplo, no Gráfico 1b, nota-se uma queda no valor de EDT para a banda de 125Hz no ponto P10 (0,76s) enquanto no Gráfico 3b este mesmo ponto apresenta o maior valor de EDT medido (1,53s) para a banda de 125Hz. A diferença entre estes dois valores medidos é de aproximadamente 20 JNDs, e pode ser explicada levando em conta o comprimento de onda das baixas frequências, que produziria máximos ou mínimos em algumas posições específicas

¹ A menor diferença perceptível (*Just Noticeable Difference*) para o parâmetro EDT é 5% segundo a norma ISO 3382-1.

da sala devido aos modos ² de vibração característicos da sala. Contudo, também é preciso levar em conta a forma como o parâmetro EDT é definido e calculado, uma vez que, como veremos, estas variações não são tão pronunciadas para o parâmetro T30. O fato é que, esta diferença entre os valores de EDT também ocorre para outras bandas de frequência. Como exemplo temos o ponto P8 na banda de 500Hz, que varia de 0,7s (Gráfico 1) para 1,2s (Gráfico 3). Contudo as variações do parâmetro EDT com a posição são mais pronunciadas nas frequências mais baixas como mostram os gráficos de 1 a 3.

Observando as bandas de 2kHz e 4kHz nos gráficos 1 e 2, pode-se perceber que quando o sinal é emitido pela fonte nas posições F1 ou F2, não existe uma correlação significativa entre a distância fonte-receptor (indicada no eixo horizontal superior dos gráficos 2 e 3) e o valor de EDT medido. Por outro lado, o gráfico 4 mostra que quando o sinal é emitido pela fonte na posição F1, esta correlação passa a existir, mas é observada apenas entre os pontos P1 (3,9m do receptor) e P8 (12,1m do receptor), onde nota-se que o valor de EDT aumenta conforme o ponto receptor se afasta da fonte emissora. A partir do ponto receptor P8 (Gráfico 3) esta correlação passa a não ser mais observada.

Este fenômeno pode ser explicado pela diferença entre as distâncias fonte-receptor. Segundo Barron (2005), o impacto causado no EDT pela distância entre a fonte e o receptor é muito maior nos primeiros 10 metros, e este é exatamente o caso como bem pode-se observar no eixo superior dos gráficos 1b, 2b e 3b. Note que no gráfico 3, a distância F3P1 é 3,9m e F3P8 é 12,1m, já no gráfico 1 a distância F1P1 vale 8,3m, portanto neste último caso o primeiro ponto já está muito próximo dos 10 metros descritos por Barron (2005). Isso significa que o fato de o palco estar muito próximo da plateia é um dos responsáveis pela não uniformidade na percepção de reverberância nesta sala.

² Os modos de vibração de uma sala são definidos pela geometria do ambiente, ocorrendo quando o comprimento onda de um som é igual ou proporcional a uma ou mais dimensões da sala.

Gráfico 1 - Parâmetro EDT em função (a) de frequência para cada receptor (linha tracejada representa o valor médio) (b) dos receptores para cada banda de frequência (eixo horizontal superior indica a distância entre os pontos receptores e a fonte em F1)

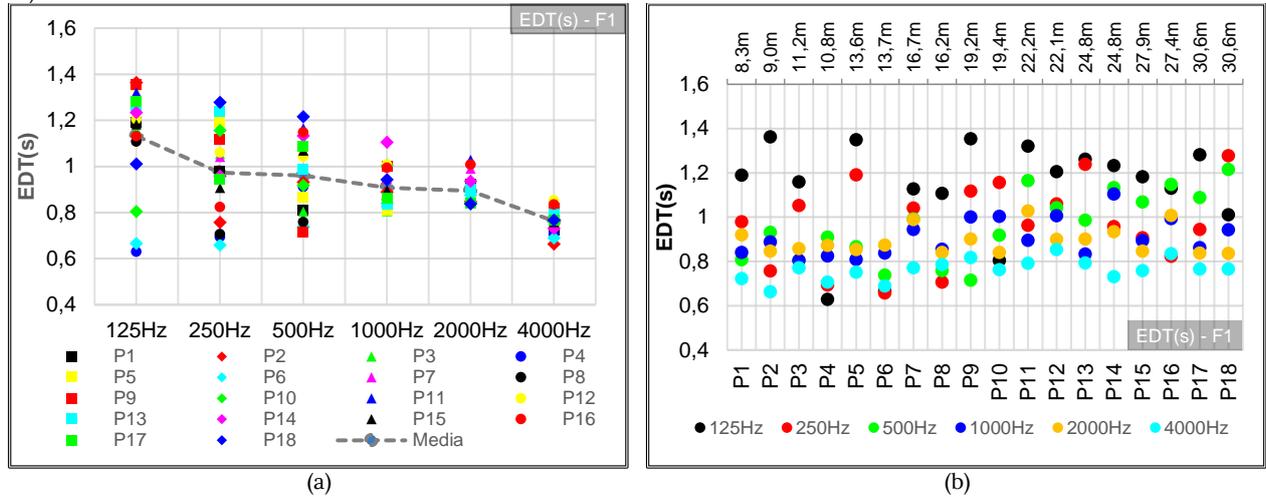


Gráfico 2 - Parâmetro EDT em função (a) de frequência para cada receptor (linha tracejada representa o valor médio) (b) dos receptores para cada banda de frequência (eixo horizontal superior indica a distância entre os pontos receptores e a fonte em F2)

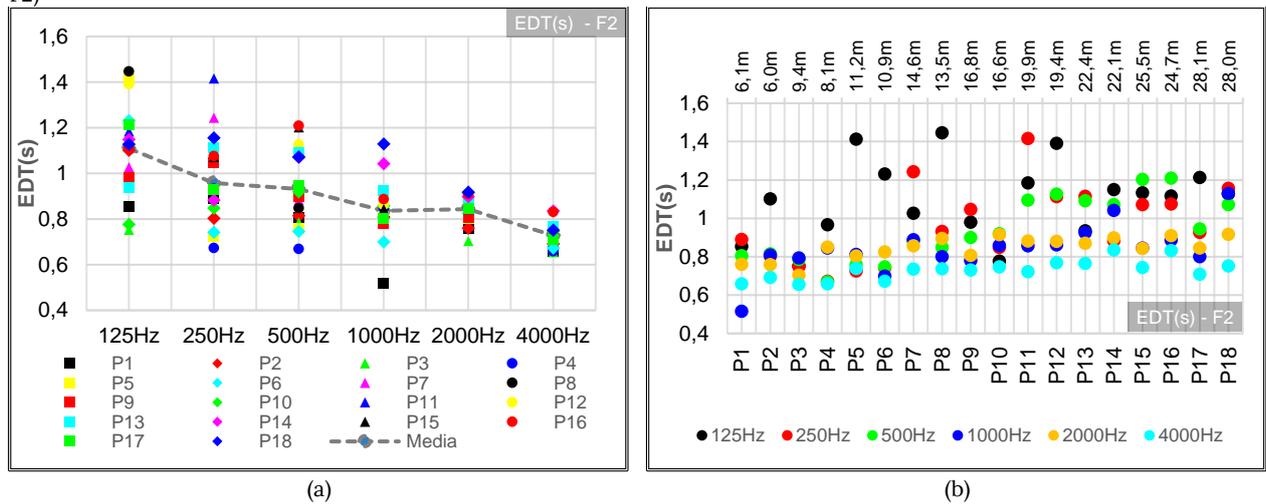
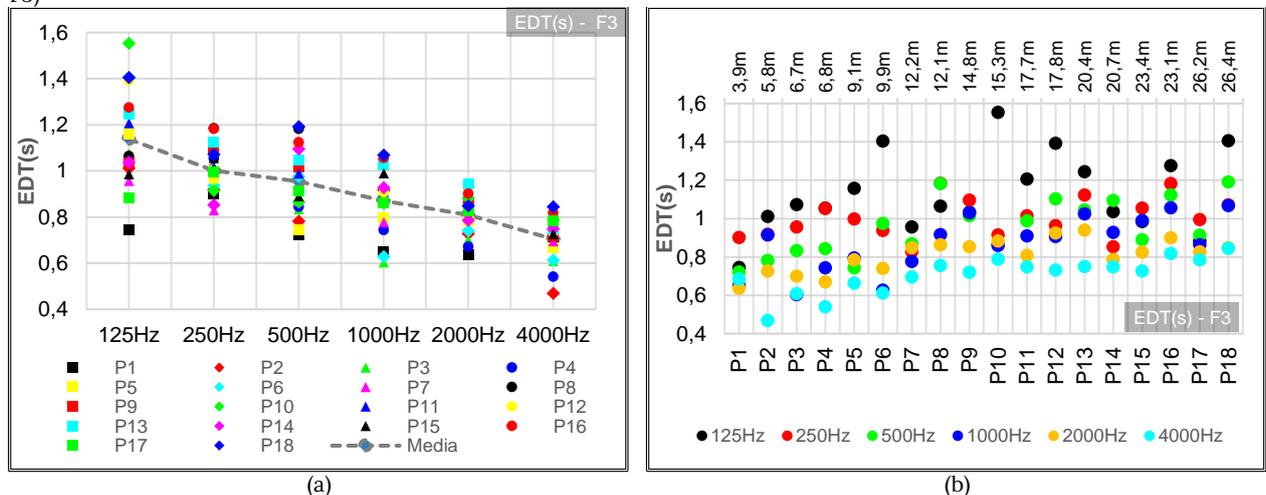


Gráfico 3 - Parâmetro EDT em função (a) de frequência para cada receptor (linha tracejada representa o valor médio) (b) dos receptores para cada banda de frequência (eixo horizontal superior indica a distância entre os pontos receptores e a fonte em F3)



Para completar a análise dos gráficos, percebe-se que no Gráfico 3a as variações no valor de EDT para a banda de 250Hz são menores quando comparadas àquelas mostradas nos gráficos 1a e 2a, inclusive sendo menores do que as variações na banda de 500Hz.

Sabendo que o valor do EDT sofre influência das intensidades do som direto e das primeiras reflexões, buscou-se elucidar qual destes dois fatores provocou maior impacto nos valores medidos. Para isto foi construído o Gráfico 4, que mostra os valores de $EDT_{mid} = (EDT_{1kHz} + EDT_{500Hz})/2$ em função da distância entre a fonte e o receptor. No gráfico 4, foram considerados separadamente os pontos mais afastados das paredes laterais, localizados na faixa central do auditório: P1, P4, P5, P8, P9, P12, P13, P16, P17 e P18 (em preto), e os pontos mais próximos das paredes laterais: P2, P3, P6, P7, P10, P11, P14 e P15 (em vermelho), onde as reflexões primárias chegam com maior intensidade.

Observando o Gráfico 4, pode-se notar uma forte correlação entre o valor do EDT_{mid} e a distância fonte-receptor, de forma que, conforme a distância aumenta, valores mais altos são observados. Não houve uma correlação significativa entre o EDT_{mid} e a proximidade com as paredes laterais.

Outro ponto importante é verificar se a assimetria da sala e as reflexões que ocorrem devido a parede do fundo podem influenciar o valor de EDT_{mid} . A assimetria da sala faz com que a onda sonora que se propaga pelo lado esquerdo³ tenha que percorrer 18,8m a mais do que a onda que se propaga pelo lado direito antes de sofrer a reflexão na parede do fundo (observar a Figura 46 no capítulo 4).

Para checar a influência desta diferença de distância entre o fundo do lado direito e esquerdo, foi construído o Gráfico 5, que mostra exatamente os mesmos pontos que o Gráfico 4, no entanto os pontos estão separados em dois grupos diferentes, ou seja, o grupo dos pontos à direita: P1, P3, P5, P7, P9, P11, P13, P15 e

³ Os lados esquerdo e direito foram convencionados na Figura 61.

P17 (indicados com a cor roxa) e dos pontos à esquerda: P2, P4, P6, P8, P10, P12, P14, P16 e P18 (indicados com a cor azul).

Gráfico 4 – EDT_{mid} em função da distância entre a fonte e o receptor. Pontos pretos representam valores medidos nos pontos mais ao centro do auditório, já os pontos em vermelho representam os valores medidos nos pontos mais próximos das paredes laterais do auditório.

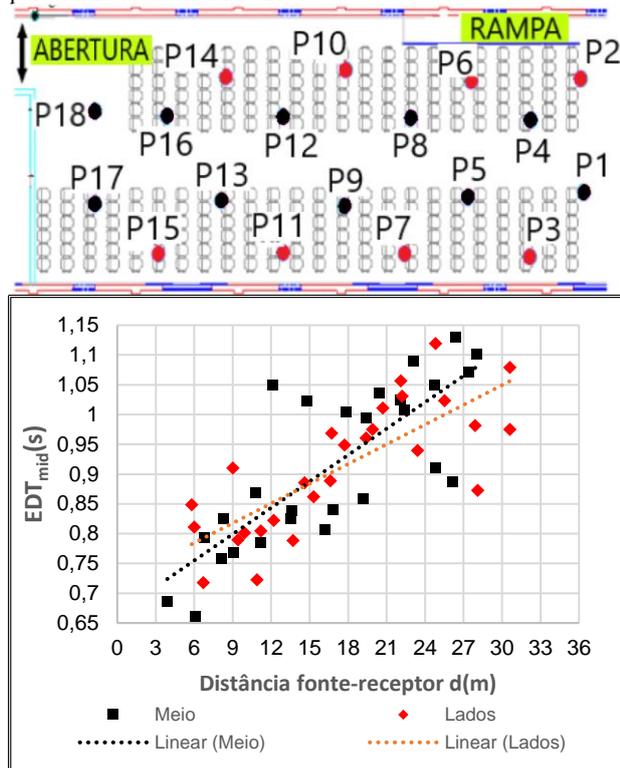
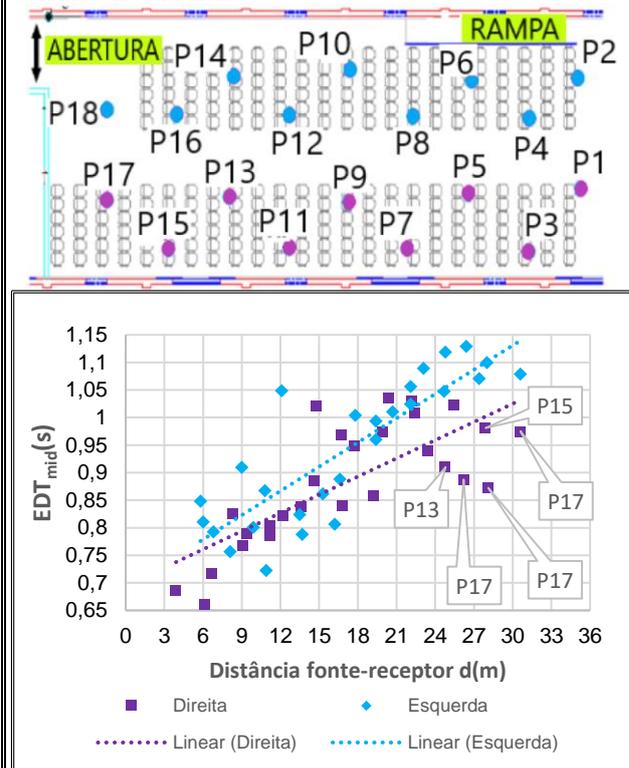


Gráfico 5 – EDT_{mid} em função da distância entre a fonte e o receptor. Os pontos em azul indicam valores medidos a direita, os pontos em roxo indicam os valores medidos à esquerda (do ponto de vista da audiência). As linhas tracejadas representam as linhas de tendência.



Percebe-se que para os pontos mais distantes da fonte, o valor de EDT_{mid} é maior que no lado esquerdo do que no lado direito. Isso pode ser explicado pelo fato de haver uma abertura no lado esquerdo, abertura esta que faz com que o som emitido pela fonte tenha que percorrer uma distância maior, o que aumenta o tempo de atraso e reduz a intensidade das reflexões, provocando consequentemente um aumento no valor do EDT. Nos pontos mais à direita, por outro lado, os valores de EDT_{mid} são menores pois a distância percorrida pelo som refletido é menor. No ponto P17, em especial, este efeito é bem visível. O valor de EDT_{mid} medido em P17, um dos pontos mais distantes da fonte emissora, possui

valores similares aos valores medidos na região central, e esse efeito pode ser associado às reflexões que ocorrem na parede do fundo no lado direito. Portanto, uma maneira de tornar o parâmetro EDT mais uniforme na sala é justamente fechar a abertura no lado esquerdo, garantindo as reflexões nos fundos para ambos os lados (proposta de melhora).

5.1.2 Tempo de Reverberação T30

Para esta sala, observou-se que os valores de T30 foram superiores aos valores de EDT. Este fato era esperado dada a geometria e dimensões da sala. Os gráficos de 6 a 8 mostram os valores de T30 para as fontes 1, 2 e 3 respectivamente. Observa-se que os valores de T30 possuem um comportamento muito mais uniforme quando comparados aos valores de EDT. As variações de T30 com a frequência são menores e praticamente não existe uma correlação significativa entre os valores de T30 medidos e a distância fonte-receptor, de forma que este parâmetro permanece praticamente constante (levando em conta o seu JND⁴) para todos os pontos, com exceção das bandas de frequências de 125Hz e 250Hz, onde existe uma maior variação, contudo, ainda assim menor do que as variações observadas para o EDT. Para os pontos mais distantes, a partir do ponto P12, existe uma tendência de aumento do T30, contudo esta tendência é muito discreta.

De forma geral observa-se que a curva de decaimento com a frequência possui o aspecto semelhante àquela obtida para o EDT. Isto é, o tempo de reverberação aumenta para as frequências mais baixas e diminui para as frequências mais altas. De fato, como veremos em breve, a relação do Tempo de Reverberação com a frequência é importante de ser considerada quando se pretende avaliar uma sala deste porte.

⁴ A menor diferença perceptível (*Just Noticeable Difference*) para o parâmetro T30 é 5% segundo a norma ISO 3382-1.

Gráfico 6 - Parâmetro T30 em função (a) de frequência para cada receptor (linha tracejada representa o valor médio) (b) dos receptores para cada banda de frequência (eixo horizontal superior indica a distância entre os pontos receptores e a fonte na posição F1).

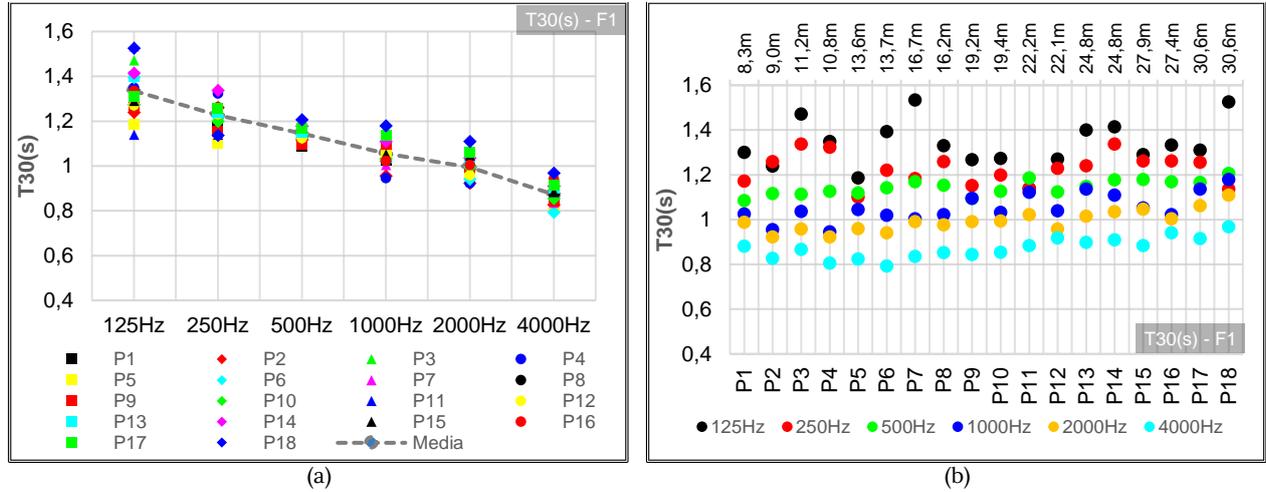


Gráfico 7 - Parâmetro T30 em função (a) de frequência para cada receptor (linha tracejada representa o valor médio) (b) dos receptores para cada banda de frequência (eixo horizontal superior indica a distância entre os pontos receptores e a fonte na posição F2).

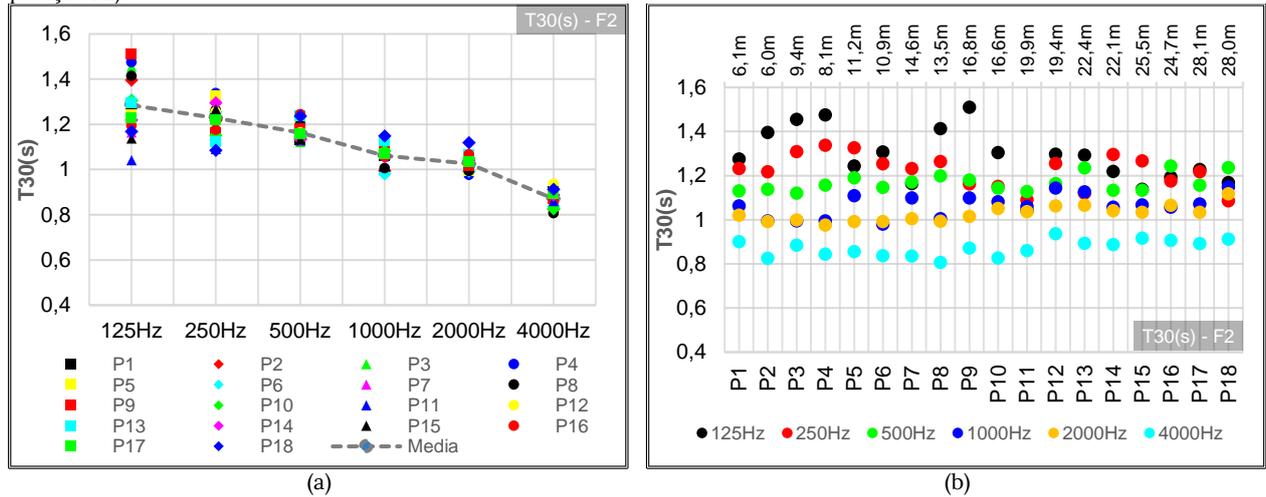
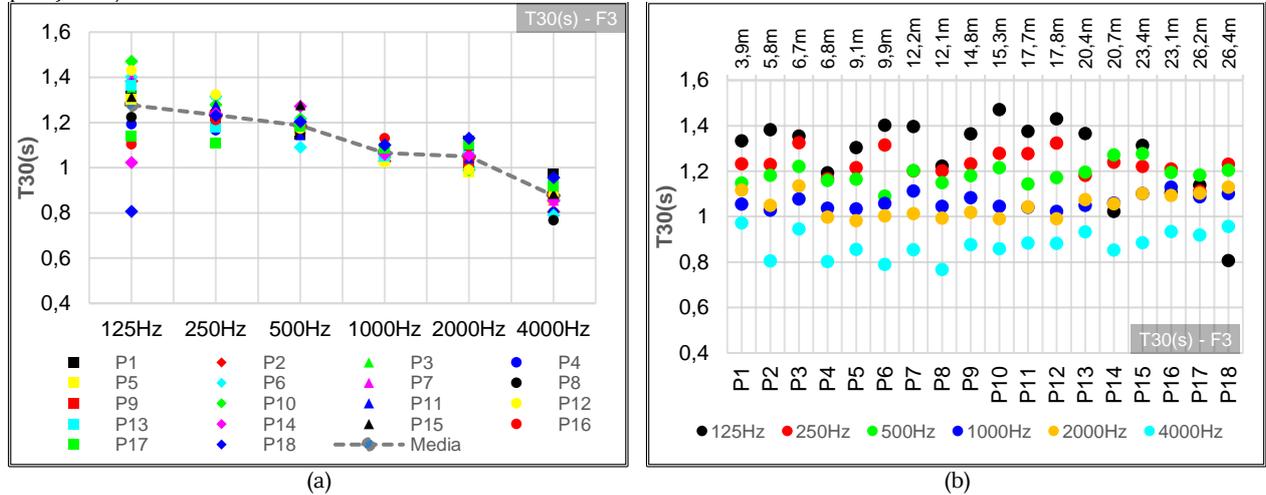


Gráfico 8 - Parâmetro T30 em função (a) de frequência para cada receptor (linha tracejada representa o valor médio) (b) dos receptores para cada banda de frequência (eixo horizontal superior indica a distância entre os pontos receptores e a fonte na posição F3).



Assim como no caso do EDT, as variações nos valores de T30 para a banda de 125Hz foram as maiores. Entretanto, analisando os gráficos 6b,7b e 8b, pode-se notar que os maiores valores de T30 para a banda de 125Hz acontecem quando a distância entre a fonte e o receptor está por volta de 16,8m.

Para esclarecer como as reflexões sonoras pelas paredes laterais influenciam os valores de T30 foi criado o Gráfico 9, que mostra os valores de $T30_{mid} = (T30_{1kHz} + T30_{500Hz})/2$ em função da distância entre a fonte e o receptor para os pontos próximos das paredes laterais (indicados em vermelho) e para os pontos na região central do auditório (indicados em preto). As linhas tracejadas mostram a tendência para cada um dos dois grupos de dados analisados.

A influência da assimetria da sala também foi investigada no Gráfico 10, que mostra os valores de $T30_{mid}$ em função da distância entre a fonte e o receptor para os pontos à direita⁵ (indicados em roxo) e à esquerda (indicados em azul). As linhas tracejadas mostram a tendência para cada um dos dois grupos de dados analisados.

Para facilitar as comparações, a escala dos gráficos 9 e 10 foi mantida igual àquela utilizada na análise do parâmetro EDT (gráficos 4 e 5). No caso do parâmetro $T30_{mid}$, não se observa uma correlação entre os valores medidos e a proximidade com as paredes laterais (vide gráfico 9), tampouco se observa uma influência da assimetria da sala (vide gráfico 10). De forma geral os valores de $T30_{mid}$ tendem a aumentar de forma discreta conforme a distância fonte-receptor aumenta.

⁵ Os lados esquerdo e direito foram convencionados na Figura 61.

Gráfico 9 – T_{30mid} em função da distância entre a fonte e o receptor. Pontos pretos representam valores medidos nos pontos mais ao centro do auditório, já os pontos em vermelho representam os valores medidos nos pontos mais próximos da parede. As duas linhas tracejadas representam as linhas de tendência.

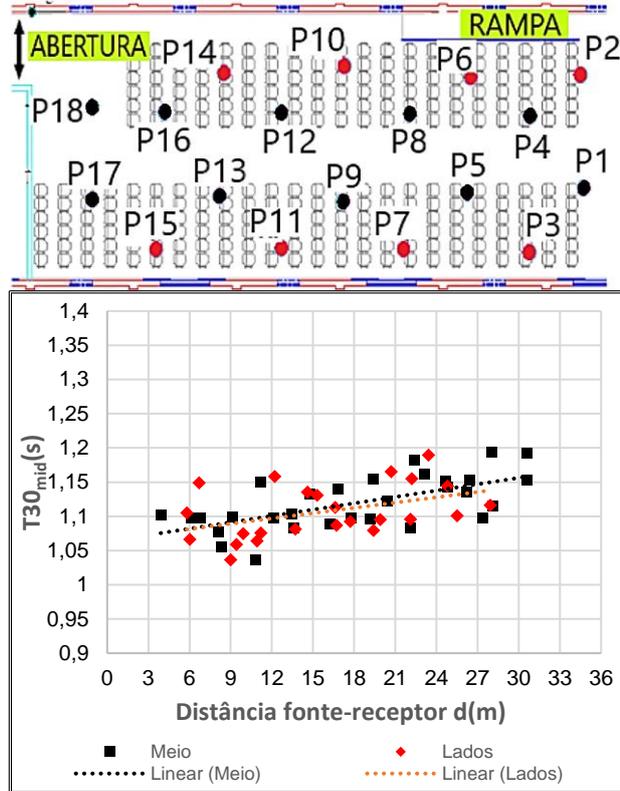
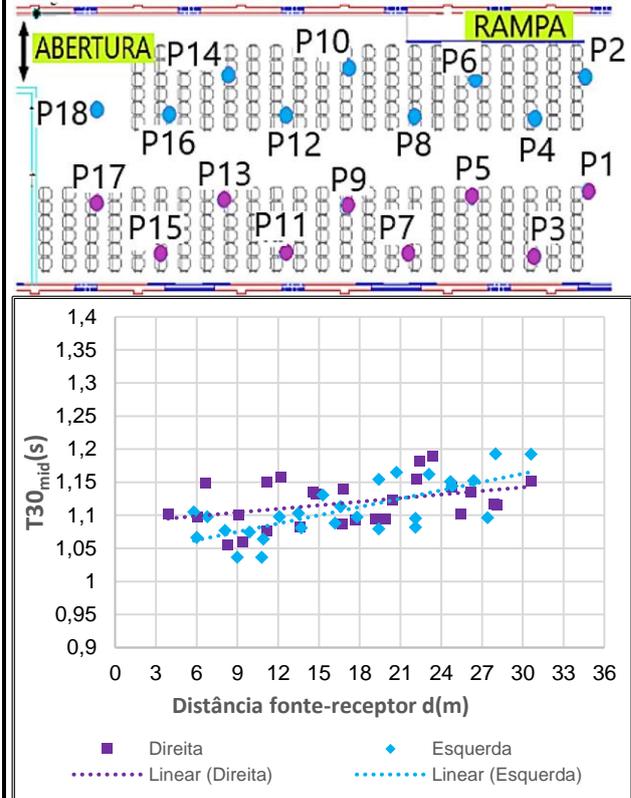


Gráfico 10 – T_{30mid} em função da distância entre a fonte e o receptor. Os pontos em azul indicam valores medidos a direita, os pontos em roxo indicam os valores medidos à esquerda (do ponto de vista da audiência). As duas linhas tracejadas representam as linhas de tendência.



O gráfico 11 faz uma comparação entre o comportamento da média espacial dos parâmetros EDT e T_{30} em função da frequência para as diferentes posições de fonte. Os valores médios de T_{30} foram superiores para as três posições de fonte, ficando aproximadamente 0,2s acima dos valores médios de EDT. O gráfico 12 confirma por meio do desvio padrão dos valores utilizados no cálculo das médias que os valores de EDT variam muito mais quando comparados aos valores de T_{30} .

Gráfico 11 – Média dos parâmetros EDT e T30 sobre os pontos receptores para cada fonte emissora.

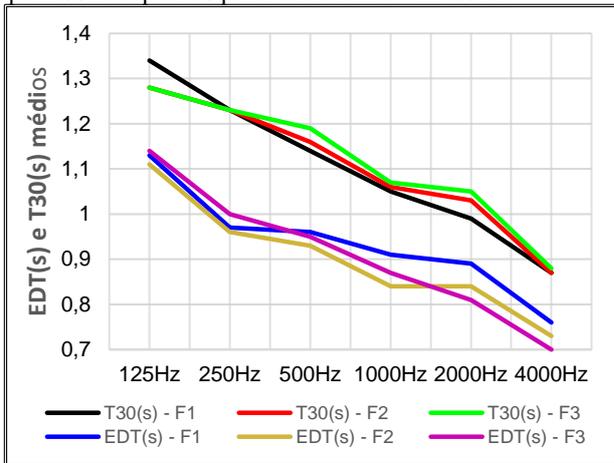


Tabela 7 – Dados referentes ao Gráfico 11.

		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
T30(s)	F1	1,34	1,23	1,14	1,05	0,99	0,87
	F2	1,28	1,23	1,16	1,06	1,03	0,87
	F3	1,28	1,23	1,19	1,07	1,05	0,88
EDT(s)	F1	1,13	0,97	0,96	0,91	0,89	0,76
	F2	1,11	0,96	0,93	0,84	0,84	0,73
	F3	1,14	1,00	0,95	0,87	0,81	0,70

Gráfico 12 – Desvio padrão referente a média calculada no Gráfico 11.

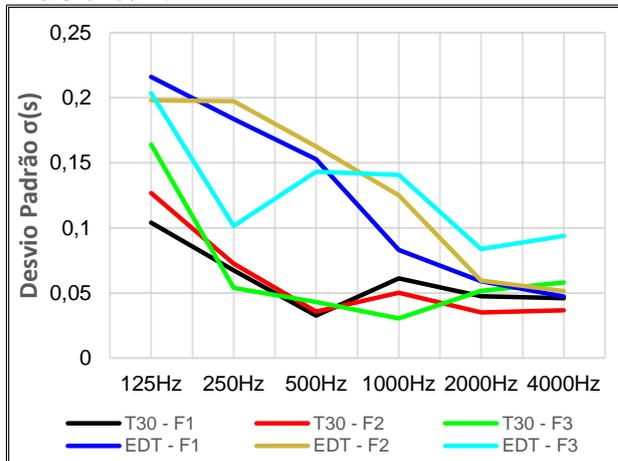


Tabela 8 – Dados referentes ao Gráfico 12.

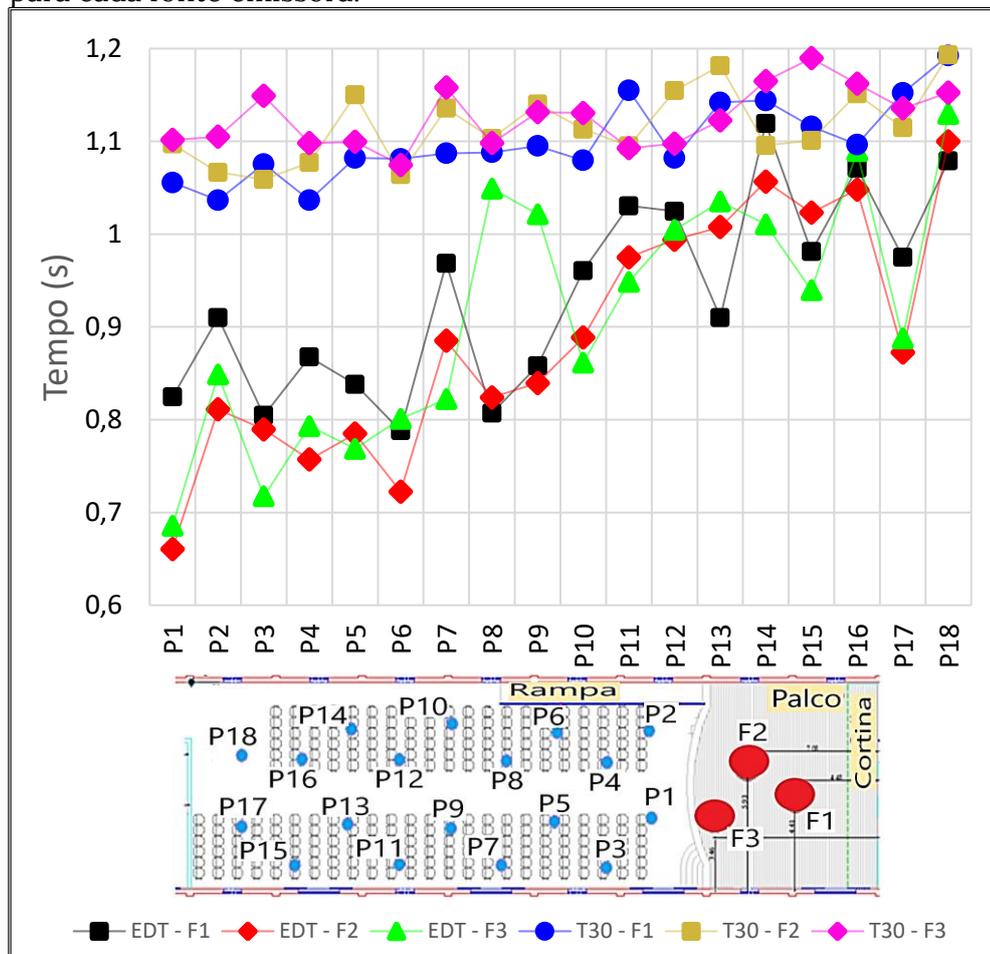
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
$\sigma_{T30}(s)$	F1	0,10	0,07	0,03	0,06	0,05	0,05
	F2	0,13	0,07	0,04	0,05	0,04	0,04
	F3	0,16	0,05	0,04	0,03	0,05	0,06
$\sigma_{EDT}(s)$	F1	0,22	0,18	0,15	0,08	0,06	0,05
	F2	0,20	0,20	0,16	0,12	0,06	0,05
	F3	0,20	0,10	0,14	0,14	0,08	0,09

De forma geral, o que se pode deduzir destes dados é que o tempo de reverberação percebido (EDT) nesta sala é menor do que o seu tempo de reverberação real (T30). O Gráfico 13, que apresenta a média espacial de EDT_{mid} e $T30_{mid}$ em função da posição do receptor para cada fonte emissora, mostra claramente como o tempo de reverberação percebido (EDT) varia ao longo da sala. Para os pontos mais próximos do palco, a percepção de reverberância é muito menor; por exemplo, para um sinal emitido pela fonte F3 e medido no ponto P1, o Tempo de Reverberação $T30_{mid}$ vale 1,10s; ao passo que o EDT_{mid} vale 0,68s, uma diferença de aproximadamente 12 JND's⁶. Já no fundo da sala, a sensação de reverberância

⁶ A menor diferença perceptível (Just Noticeable Difference) para os parâmetros T30 e EDT é 5% segundo a norma ISO 3382-1.

tende a aumentar para os pontos localizados no lado esquerdo (conforme convenção na Figura 61), o lado da abertura. Para a fonte F3 e o ponto P16, por exemplo, a diferença entre EDT_{mid} e $T30_{mid}$ é de apenas 1,5 JND. Para os pontos localizados no lado direito, a percepção de reverberância tende a aumentar novamente, conforme já foi analisado anteriormente.

Gráfico 13 - EDT_{mid} e $T30_{mid}$ médios, em função da posição de receptor para cada fonte emissora.



5.1.3 Definição D50

Os Gráficos 14a, 15a e 16a mostram o comportamento do parâmetro D50 em cada um dos 18 (dezoito) pontos medidos no Anfiteatro Isaltino Casemiro em função de bandas de oitava de frequência para as posições de fonte F1, F2 e F3

respectivamente. A linha tracejada representa a média espacial. Já os gráficos 14b, 15b e 16b, também referentes as posições de fonte F1, F2 e F3, nesta ordem, mostram os valores medidos de D50 em função do ponto receptor para cada uma das bandas de oitava de frequência. O eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte considerada e o receptor respectivo indicado no eixo horizontal inferior.

Diferentemente dos parâmetros EDT e T30, o D50 tende a aumentar com a frequência, ou seja, a Definição é maior para as frequências mais altas, ao passo que o Tempo de Reverberação e o Índice de Decaimento Inicial é menor para estas mesmas frequências. Levando em conta a definição matemática do parâmetro D50, esta correlação inversa é esperada. O fato do decaimento do som ser mais longo implica em uma maior contribuição da energia sonora tardia, aquela que chega após 50ms, contribuição esta que fará o valor de D50 diminuir. Nas regiões do espectro onde o tempo de decaimento é menor, o processo é exatamente o inverso, e teremos um maior valor para D50, ou seja, maior definição.

Outro ponto importante com relação à forma como o parâmetro D50 varia com a frequência é que, de maneira geral, através dos gráficos 14a, 15a e 16a, pode-se perceber que os valores de D50 variam mais para as baixas frequências, com exceção apenas da banda de 4000Hz no gráfico 16a, onde parece haver um ligeiro aumento com relação às bandas de frequência anteriores.

Observando os gráficos 14b, 15b e 16b, referentes às fontes F1, F2 e F3 respectivamente, é possível notar que o parâmetro D50 possui valores maiores para os pontos receptores mais próximos das fontes; e, conforme os pontos receptores se distanciam, estes valores diminuem. Este efeito fica mais evidente no gráfico 16b, gráfico referente a fonte F3, a fonte mais próxima. Este tipo de comportamento também é esperado, visto que os pontos mais próximos da fonte recebem maior influência do som direto, o que acaba por aumentar os valores de D50 medidos. Esta proximidade também explica o fato de haver uma maior variação nos valores de D50 em alta frequência quando o sinal é emitido pela fonte F3.

Gráfico 14 - Para a fonte emissora na posição F1 apresenta-se: (a) D50 em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) D50 em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores).

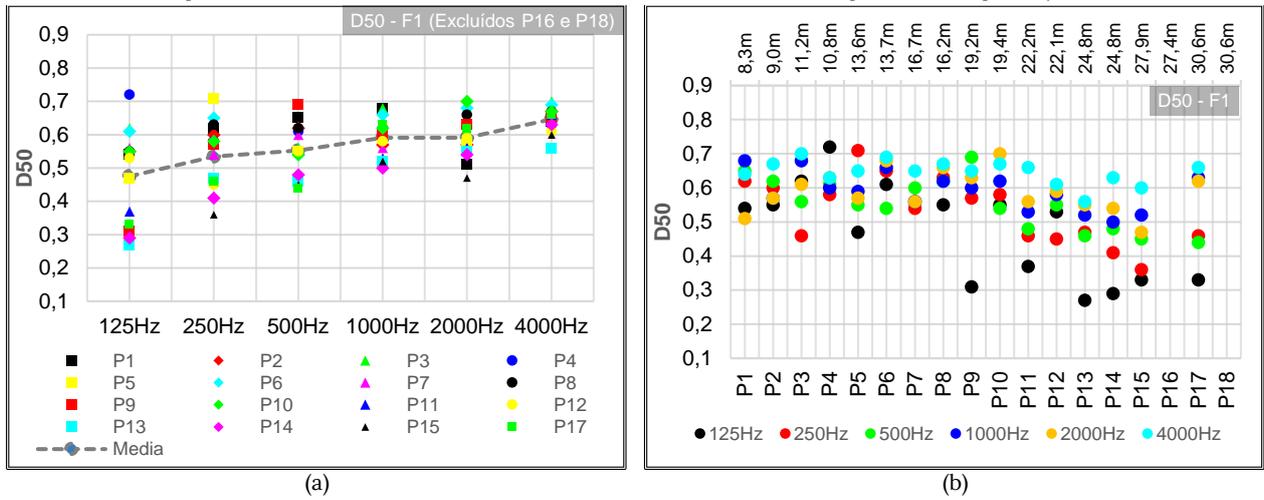


Gráfico 15 - Para a fonte emissora na posição F2 apresenta-se: (a) D50 em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) D50 em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores).

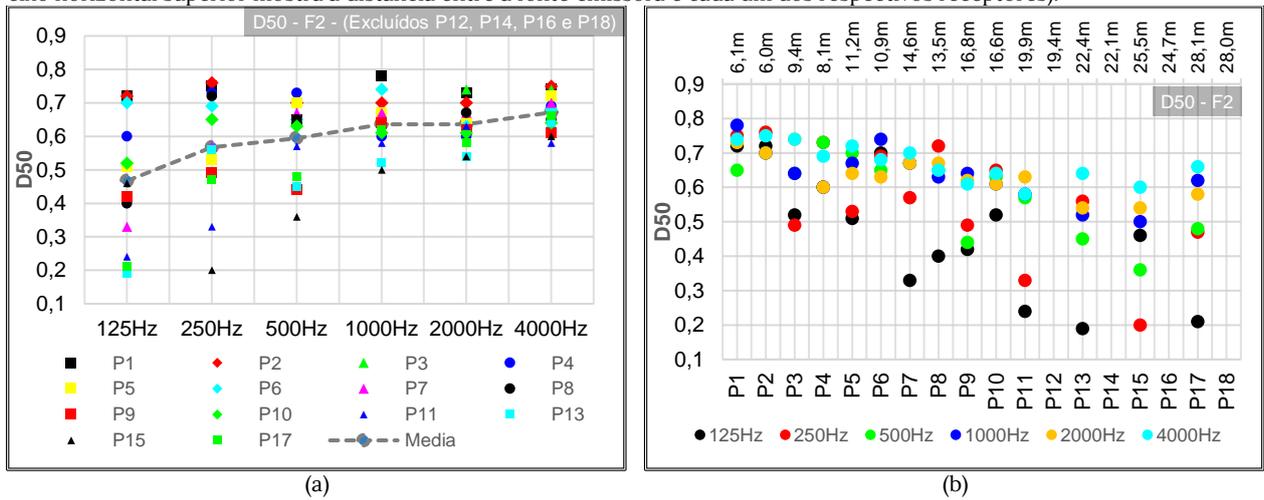
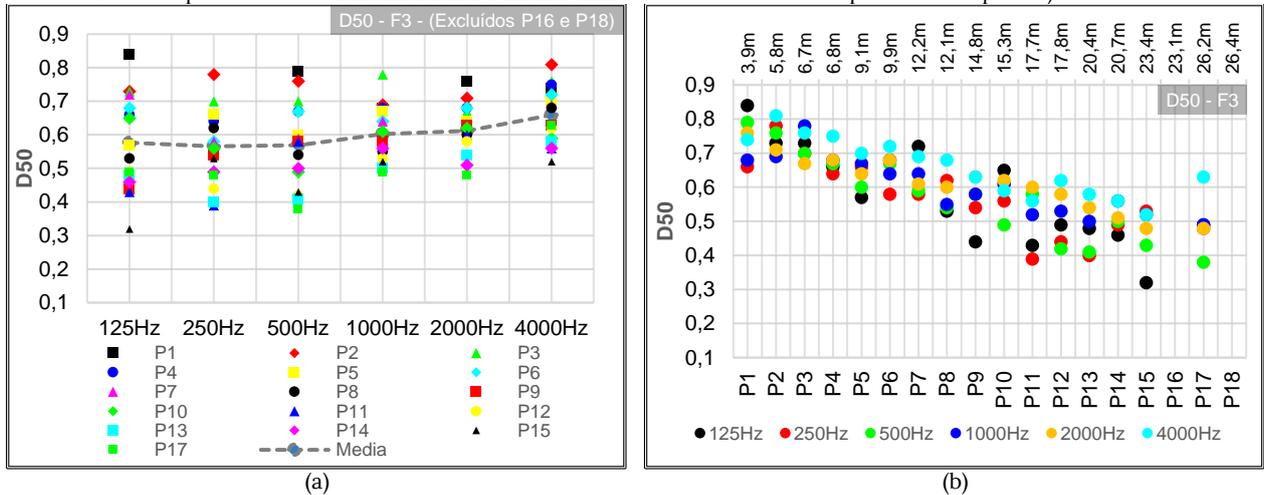


Gráfico 16 - Para a fonte emissora na posição F3 apresenta-se: (a) D50 em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) D50 em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores).



Ao analisar os gráficos 14b a 16b, nota-se que nos pontos P16 e P18 o valor de D50 não aparece, isso acontece pois nestes pontos os valores de D50 medidos foram nulos. O mesmo acontece nos pontos P12 e P14 quando o sinal é gerado pela fonte F2 (vide o gráfico 15b). Em todos estes pontos citados, o valor de D50 medido é nulo denunciando um comportamento anormal.

A princípio imaginou-se que esta anomalia fosse decorrente de um erro de medição, contudo, o software de medição (Dirac), através de parâmetros internos que medem a confiabilidade da medição, não confirmou esta hipótese. Outro fato importante de ser mencionado é que, como veremos à frente, estas anomalias se repetiram para o parâmetro C80. Considerando que ambos parâmetros, C80 e D50, são definidos de forma semelhante, ou seja, comparam as quantidades de energia sonora que chegam a um determinado ponto em janelas de tempo diferentes, uma hipótese plausível para explicar este fenômeno (a anomalia) seria buscar quais elementos na sala poderiam alterar a distribuição da energia sonora ao longo do tempo.

Como todos os pontos problemáticos (P18, P16, P14 e P12) situam-se no lado esquerdo do anfiteatro, é inevitável supor que a assimetria gerada pela abertura no lado esquerdo da sala tem um papel importante na causa do comportamento anômalo nestes pontos. Para investigar como a assimetria pode influenciar os valores de D50, criou-se um modelo simplificado (Figuras 62 e 63). Com este modelo, será possível entender como a reflexão que ocorre no fundo da sala pode afetar este parâmetro nos pontos localizados à direita e nos pontos localizados à esquerda.

Nas Figuras 62 e 63, D_{FA} é a distância entre a fonte e a parede onde ocorrerá a reflexão; D_{FP} é a distância entre a fonte e o ponto receptor. Em ambas as figuras, o sinal emitido pela fonte F viaja até atingir o ponto receptor P pela primeira vez, momento que marca a chegada do som direto. Em seguida, o som continua a se propagar até atingir a parede do fundo onde sofre uma reflexão e depois atinge o ponto receptor pela segunda vez. Considerando que o intervalo de

tempo entre a chegada do som direto e do som refletido seja igual a Δt , se este intervalo for superior a 50ms, a reflexão provocará uma redução no valor de D50.

Figura 62 - Modelo simplificado para o lado esquerdo.

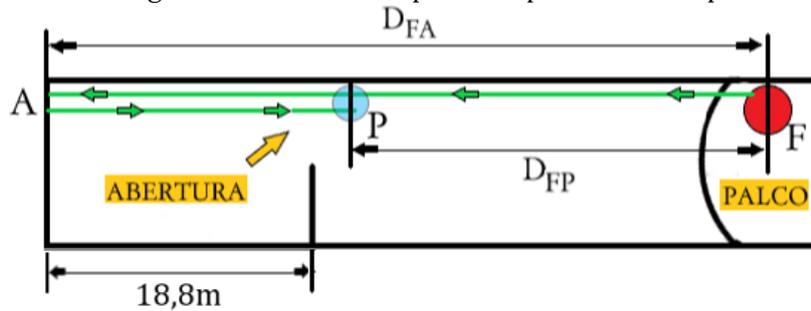
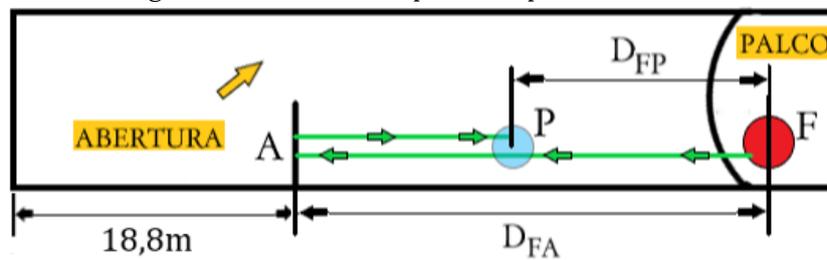


Figura 63 - Modelo simplificado para o lado direito.



O tempo de atraso Δt é importante, mas não é o único fator a ser considerado. A influência que o som refletido pode provocar no valor de D50 depende também da razão entre a energia do som direto e a energia do som refletido. Por exemplo, se um determinado som refletido atingir o ponto receptor 200ms após o som direto, porém com um nível de pressão sonora muito menor do que o nível do som direto, então a influência desta reflexão não será relevante.

A energia sonora está diretamente proporcional ao quadrado da pressão sonora ($Energia \propto Pressão^2$), e, segundo Bistafa (2008), a pressão sonora eficaz P_{eficaz} , após a onda sonora emitida por uma fonte esférica percorrer uma distância R , pode ser dada pela expressão (5.1):

$$P_{eficaz}(R) = \frac{P_0}{R\sqrt{2}} \quad (5.1)$$

onde P_0 é a amplitude de pressão sonora emitida pela fonte sonora esférica.

Considerando $R_1 = D_{FP}$ como a distância percorrida pelo som direto e $R_2 = D_{FP} + 2(D_{FA} - D_{FP})$ como a distância percorrida pelo som refletido, temos que a razão entre as pressões eficazes pode ser expressa por:

$$\frac{P_{eficaz(2)}}{P_{eficaz(1)}} = \frac{P_0}{R_2\sqrt{2}} \times \frac{R_1\sqrt{2}}{P_0} \quad (5.2)$$

logo,

$$\frac{P_{eficaz(2)}}{P_{eficaz(1)}} = \frac{R_1}{R_2} \quad (5.3)$$

e substituindo as expressões para R_1 e R_2 temos:

$$\frac{P_{eficaz(2)}}{P_{eficaz(1)}} = \frac{D_{FP}}{D_{FP} + 2(D_{FA} - D_{FP})} \quad (5.4)$$

A diferença ΔL em (dB) entre o nível de pressão sonora do som direto e do som refletido pode ser calculada através a equação 5.5,

$$\Delta L = \log_{10} \left(\frac{P_{eficaz(2)}}{P_{eficaz(1)}} \right) \quad (5.5)$$

ou, substituído a equação 5.4 na equação 5.5, teremos como resultado a equação 5.6, que expressa a diferença ΔL em função das distâncias indicadas nos modelos das Figuras 62 e 63.

$$\Delta L = \log_{10} \left(\frac{D_{FP}}{D_{FP} + 2(D_{FA} - D_{FP})} \right) \quad (5.6)$$

O valor do atraso Δt entre o som direto e o som refletido pode ser calculado através da equação 5.7.

$$\Delta t = \frac{R_2 - R_1}{c} \quad (5.7)$$

onde c é a velocidade do som.

Considerando $c = \frac{343m}{s}$ e substituindo as expressões para R_1 e R_2 na equação 5.5 teremos:

$$\Delta t = \frac{2(D_{FA} - D_{FP})}{343} \quad (5.8)$$

A Tabela 9 apresenta o resultado obtido ao aplicar o modelo das Figuras 62 e 63 no auditório. O modelo foi aplicado por meio das equações 5.6 e 5.8. Na tabela temos o tempo de atraso Δt do sinal refletido bem como a diferença de intensidade sonora ΔL entre o som refletido e o som direto para cada um dos 54 pares fonte-receptor. A tabela separa os pontos em dois grandes grupos, os pontos à esquerda da audiência e os pontos à direita (ambos os lados convencionados de acordo com Figura 61, no início deste capítulo). A região marcada em verde na, marca os valores onde o atraso é menor do que 50ms, contribuindo para aumentar o valor do parâmetro D50. A região marcada em laranja, por outro lado, indica os pontos de comportamento anômalo.

O Gráfico 17 é a representação dos dados presentes na Tabela 9. O gráfico mostra a diferença entre o nível de pressão sonora do som direto e do som refletido em função do atraso do som refletido com relação ao som direto. A região em amarelo no gráfico, marca os pontos onde a diferença de intensidade é menor do que -10dB. O círculo em azul indica os pontos que estão localizados no lado esquerdo do anfiteatro.

Tabela 9 - Nesta tabela R1 é a distância percorrida pelo som direto e R2 é a distância percorrida pelo som refletido. A tabela mostra a relação entre a pressão sonora do som refletido e do som direto bem como o atraso entre os mesmos para cada uma das combinações Fonte-Receptor.

	Ponto	Par Fonte-Receptor	$D_{FP}(m)$	$D_{FA}(m)$	$R_1(m)$	$R_2(m)$	$\Delta L (dB)$	Atraso (ms)	
Pontos à Direita "Fundo perto"	P1	F3P1	3,9	27,6	3,9	51,3	-22,38	138	Valores que aumentam D50 ou C80
	P1	F2P1	6,1	29,4	6,1	52,7	-18,73	136	
	P1	F1P1	8,3	32,0	8,3	55,7	-16,54	138	
	P3	F3P3	6,7	27,6	6,7	48,5	-17,19	122	
	P3	F2P3	9,4	29,4	9,4	49,4	-14,41	117	
	P3	F1P3	11,2	32,0	11,2	52,8	-13,47	121	
	P5	F3P5	9,1	27,6	9,1	46,1	-14,09	108	
	P5	F2P5	11,2	29,4	11,2	47,6	-12,56	106	
	P5	F1P5	13,6	32,0	13,6	50,4	-11,38	107	
	P7	F3P7	12,2	27,6	12,2	43,0	-10,94	90	
	P7	F2P7	14,6	29,4	14,6	44,2	-9,62	86	
	P7	F1P7	16,7	32,0	16,7	47,3	-9,04	89	
	P9	F3P9	14,8	27,6	14,8	40,4	-8,72	75	
	P9	F2P9	16,8	29,4	16,8	42,0	-7,95	73	
	P9	F1P9	19,2	32,0	19,2	44,8	-7,36	75	
	P11	F3P11	17,7	27,6	17,7	37,5	-6,52	58	
	P11	F2P11	19,9	29,4	19,9	38,9	-5,82	55	
	P11	F1P11	22,2	32,0	22,2	41,8	-5,50	57	
	P13	F3P13	20,4	27,6	20,4	34,8	-4,63	42	
	P13	F2P13	22,4	29,4	22,4	36,4	-4,21	41	
P13	F1P13	24,8	32,0	24,8	39,2	-3,98	42		
P15	F3P15	23,4	27,6	23,4	31,8	-2,66	24		
P15	F2P15	25,5	29,4	25,5	33,3	-2,31	23		
P15	F1P15	27,9	32,0	27,9	36,1	-2,24	24		
P17	F3P17	26,2	27,6	26,2	29,0	-0,88	8		
P17	F2P17	30,6	32,0	30,6	33,4	-0,76	8		
P17	F1P17	28,1	29,4	28,1	30,7	-0,76	8		
Pontos à Esquerda "Fundo Longe"	P2	F2P2	6,0	48,2	6,0	90,4	-23,56	246	Pontos medidos com menor Clareza (C80) e/ou Definição (D50)
	P2	F3P2	5,8	46,2	5,8	86,6	-23,48	236	
	P4	F3P4	6,8	46,2	6,8	85,6	-22,00	230	
	P2	F1P2	9,0	50,8	9,0	92,6	-20,25	244	
	P4	F2P4	8,1	48,2	8,1	88,3	-20,75	234	
	P4	F1P4	10,8	50,8	10,8	90,8	-18,49	233	
	P6	F2P6	10,9	48,2	10,9	85,5	-17,89	217	
	P6	F3P6	9,9	46,2	9,9	82,5	-18,41	212	
	P8	F3P8	12,1	46,2	12,1	80,3	-16,44	199	
	P6	F1P6	13,7	50,8	13,7	87,9	-16,15	216	
	P8	F2P8	13,5	48,2	13,5	82,9	-15,76	202	
	P8	F1P8	16,2	50,8	16,2	85,4	-14,44	202	
	P10	F2P10	16,6	48,2	16,6	79,8	-13,64	184	
	P10	F3P10	15,3	46,2	15,3	77,1	-14,05	180	
	P10	F1P10	19,4	50,8	19,4	82,2	-12,54	183	
	P12	F3P12	17,8	46,2	17,8	74,6	-12,44	166	
	P12	F2P12	19,4	48,2	19,4	77,0	-11,97	168	
	P12	F1P12	22,1	50,8	22,1	79,5	-11,12	167	
	P14	F2P14	22,1	48,2	22,1	74,3	-10,53	152	
	P14	F3P14	20,7	46,2	20,7	71,7	-10,79	149	
P14	F1P14	24,8	50,8	24,8	76,8	-9,82	152		
P16	F3P16	23,1	46,2	23,1	69,3	-9,54	135		
P16	F2P16	24,7	48,2	24,7	71,7	-9,25	137		
P16	F1P16	27,4	50,8	27,4	74,2	-8,65	136		
P18	F2P18	28,0	48,2	28,0	68,4	-7,76	118		
P18	F3P18	26,4	46,2	26,4	66,0	-7,96	115		
P18	F1P18	30,6	50,8	30,6	71,0	-7,31	118		

Se o gráfico 17 mostra a contribuição teórica das reflexões que ocorrem nas paredes do fundo, o Gráfico 18 mostra os valores de $D50_{mid} = (D50_{500Hz} + D50_{1kHz})/2$ que de fato foram medidos em função da distância fonte-receptor.

Gráfico 17 - Relação entre a pressão sonora do som direto e do som refletido para cada uma das combinações Fonte-Receptor em função do atraso.

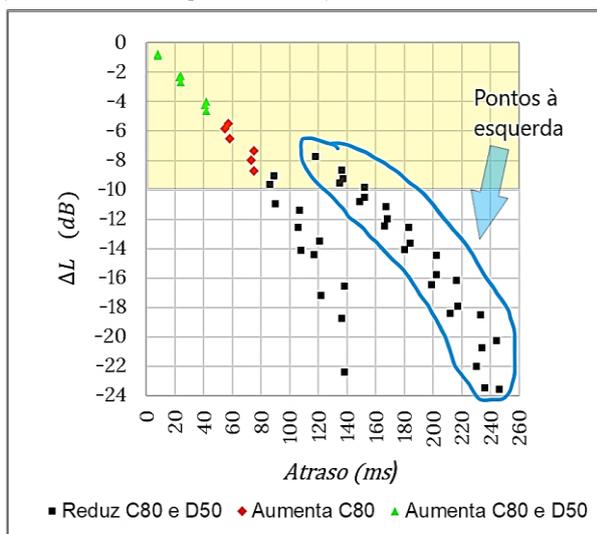
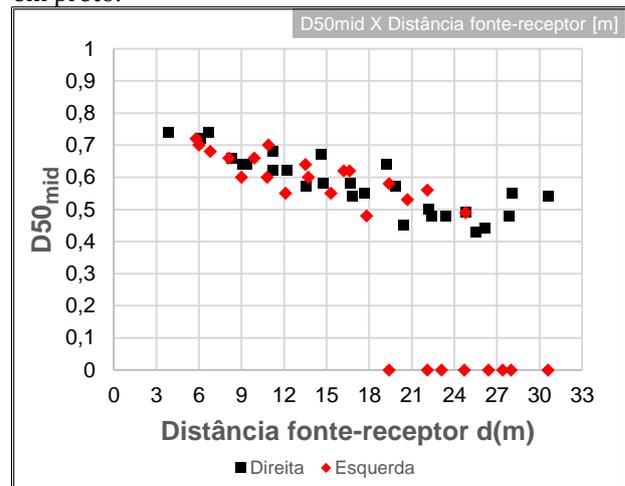


Gráfico 18 - $D50_{mid}$ em função da distância Fonte-Receptor. Note que de forma geral os menores valores estão associados aos pontos localizados na parte esquerda sala. Pontos à esquerda em vermelho e à direita em preto.



A princípio é possível notar no Gráfico 17 que, para os pontos à esquerda do auditório, o atraso Δt entre o som direto e o som refletido no fundo é sempre maior do que 50ms, isso significa que esta reflexão contribui para reduzir o valor de $D50$ em todos os pontos localizados no lado esquerdo do anfiteatro. Esta contribuição é significativa especialmente nos pontos localizados mais ao fundo, onde a diferença de pressão sonora entre o som refletido e o som direto chega a $-7,31\text{dB}$ (Tabela 9) para a combinação F1P18.

Por outro lado, os pontos do fundo localizados no lado direito contribuem fortemente para aumentar o valor de $D50$. Para a combinação F1P17, por exemplo, a diferença da pressão sonora ΔL é $-0,76\text{dB}$ e o atraso do som refletido é de apenas 8ms. Os pontos P15 e P13 também contribuem significativamente no sentido de aumentar o valor de $D50$. Os dados da Tabela 9 justificam o aumento no valor de EDT para os pontos P17, P15 e P13 (Gráfico 5), pois mostram que, para

estes pontos, as paredes dos fundos do auditório produzem uma reflexão rápida e forte⁷.

De forma geral o que se observa no Gráfico 18, é que os valores de D50 para os pontos localizados no lado esquerdo do anfiteatro tendem a ser menores quando comparados aos valores do lado direito. Além disso, nota-se que existe um aumento nos valores de D50 para os pontos à direita localizados mais ao fundo. Esses comportamentos observados parecem coerentes com as contribuições previstas pelo modelo teórico expresso no Gráfico 17.

Este modelo simplificado, que considera apenas duas ondas sonoras (som direto e reflexão na parede dos fundos), não explica integralmente o comportamento dos valores de D50. A realidade é que o número de reflexões é muito maior, e que as reflexões que ocorrem nos lados esquerdo e direito vão se misturar em certa medida. A natureza destas reflexões é muito mais complexa; contudo é possível entender que a assimetria da sala é uma das causas para o comportamento anômalo dos valores de D50 em alguns pontos do anfiteatro.

Em resumo, três fatores contribuem para as variações nos valores de D50. O primeiro deles é o Tempo de Reverberação, que faz com que os valores de D50 aumentem com a frequência pois aumenta a quantidade de energia sonora tardia. O segundo fator é a proximidade entre a fonte e o ponto receptor, pois altera a quantidade de energia proveniente do som direto. Quanto mais próxima a fonte está do ponto receptor, maior é a influência do som direto, e, portanto, maior a variação nos valores de D50 para todo o espectro de frequências. Além disso o Tempo de Reverberação pode também colaborar para que D50 diminua conforme o receptor se afasta da fonte, uma vez que o Tempo de Reverberação é sutilmente maior nos pontos localizados mais ao fundo do anfiteatro. O terceiro fator é justamente a assimetria da sala, que faz com que exista uma diferença notável na força e no atraso das reflexões nas paredes dos fundos, entre os lados esquerdo

⁷ Entende-se por rápida as reflexões com um tempo de atraso menor do que 50ms, e, entende-se por forte quando a diferença entre o nível de pressão sonora do som refletido e do som direto for menor do que -10dB.

e direito da audiência. Esta diferença se torna mais perceptível ainda para os pontos localizados nos últimos assentos, especialmente os pontos P16 e P18.

Para finalizar a análise do parâmetro D50, é útil observar o gráfico 19 que mostra os valores das médias espaciais de D50 para cada posição de fonte emissora em função de bandas de oitava de frequência. Também é útil observar o gráfico 20 que mostra os valores de $D50_{mid}$ para cada fonte emissora em função dos pontos receptores.

Gráfico 19 - D50 (média espacial) em função da banda de frequência para cada fonte.

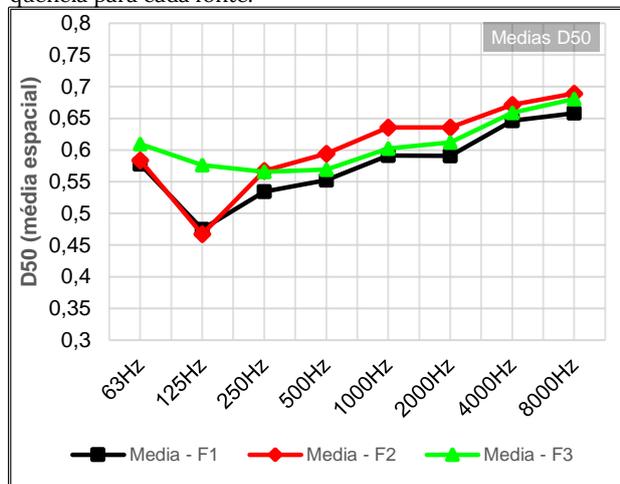
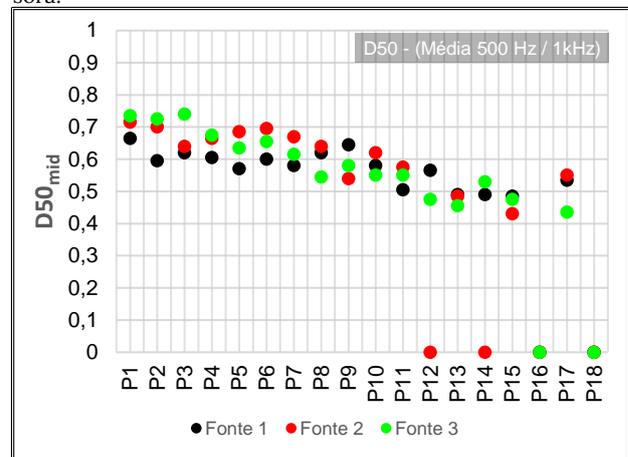


Gráfico 20 - Média entre as bandas de 500Hz e 1kHz para o D50 em função dos pontos receptores para cada fonte emissora.



5.1.4 Índice de Clareza C80

O parâmetro C80 apresentou um comportamento semelhante àquele observado para o parâmetro D50, os valores de C80 também foram influenciados pela assimetria da sala, pela distância entre a fonte e o receptor e pela frequência de forma análoga ao parâmetro D50. Este fato era esperado, tendo em vista que ambos são definidos de forma similar, ou seja, são parâmetros que comparam energia sonora; D50 compara a energia sonora das primeiras reflexões (até 50ms) com a energia sonora total e C80 compara a energia sonora das primeiras reflexões (até 80ms) com a energia sonora tardia (após 80ms).

Para o parâmetro C80, também houve pontos receptores em que os valores medidos mostraram comportamento anômalo. Estes pontos foram justamente os mesmos identificados para o parâmetro D50, ou seja, P18, P16, P14 e P12. Os dois últimos citados só se mostram problemáticos quando o sinal sonoro é emitido especificamente pela fonte F2, exatamente como ocorreu para o parâmetro D50. Para estes pontos, os valores medidos de C80 foram extremamente baixos chegando a atingir -47dB.

Os Gráficos 21a, 22a e 23a mostram o comportamento do parâmetro C80 em cada um dos 18 (dezoito) pontos medidos no Anfiteatro Isaltino Casemiro em função de bandas de oitava de frequência para as posições de fonte F1, F2 e F3 respectivamente. A linha tracejada representa a média espacial. Já os gráficos 21b, 22b e 23b, também referentes as posições de fonte F1, F2 e F3 respectivamente, mostram os valores medidos de C80 em função do ponto receptor para cada uma das bandas de oitava de frequência. O eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte considerada e o receptor respectivo indicado no eixo horizontal inferior.

De forma geral, os gráficos 21, 22 e 23 mostram que os valores de C80 tendem a aumentar com a frequência. Isso acontece pois, quanto maior a frequência, observou-se que menor é o Tempo de Reverberação nesta sala, o que implica uma menor contribuição da energia sonora que chega após a janela de tempo de 80ms utilizada no cálculo de C80. Para as frequências mais baixas, houve maior variação nos valores medidos, assim como ocorreu para todos os outros parâmetros analisados. A explicação para isto também é a mesma, o nível de pressão sonora para esta região do espectro possui um comportamento muito mais heterogêneo ao longo da sala.

Gráfico 21 - Para a fonte emissora na posição F1 apresenta-se: (a) C80 em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) C80 em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores).

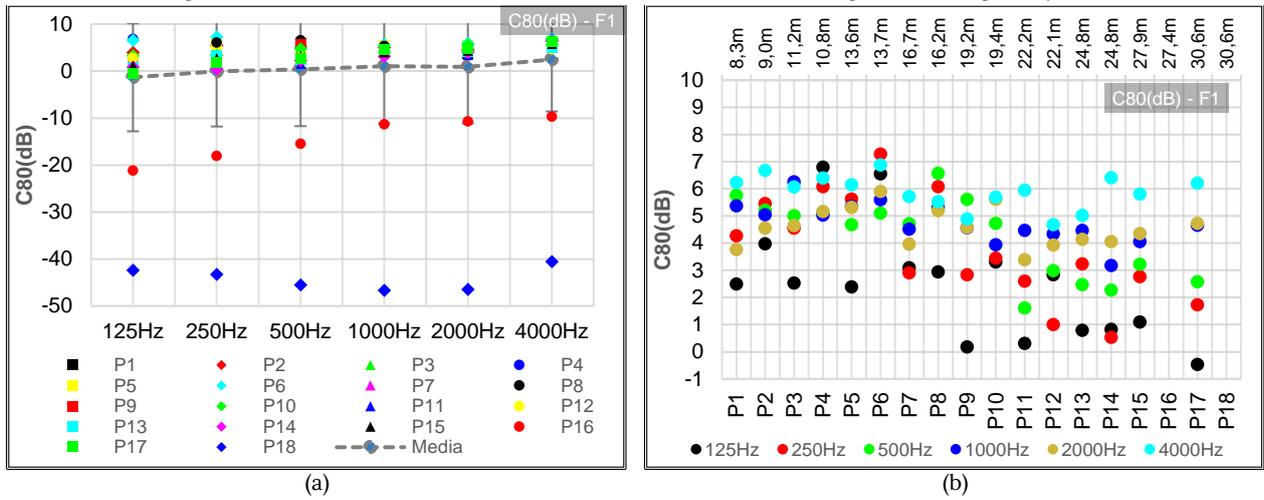


Gráfico 22 - Para a fonte emissora na posição F2 apresenta-se: (a) C80 em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) C80 em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores).

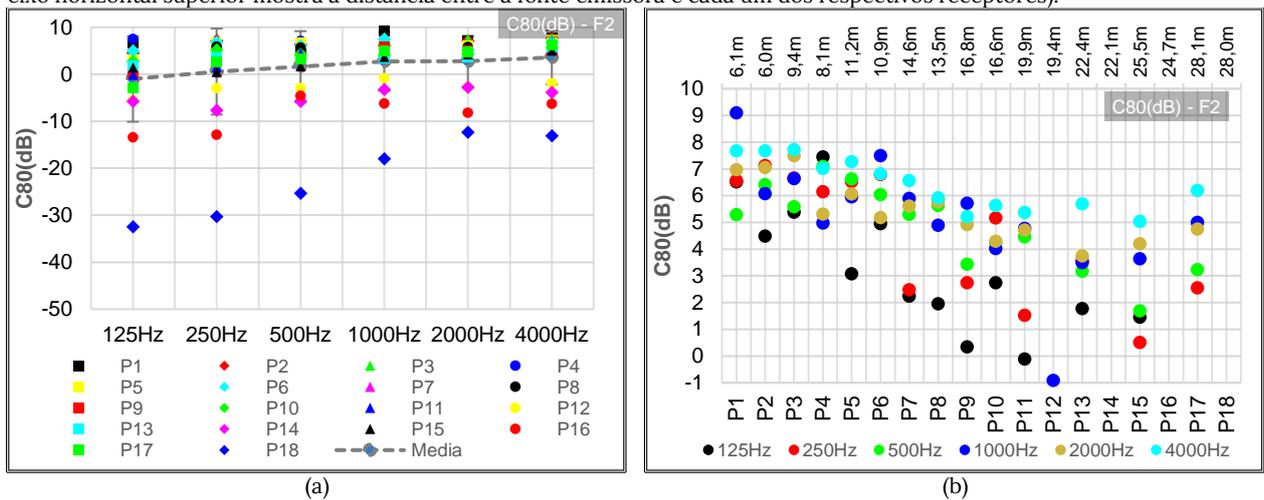
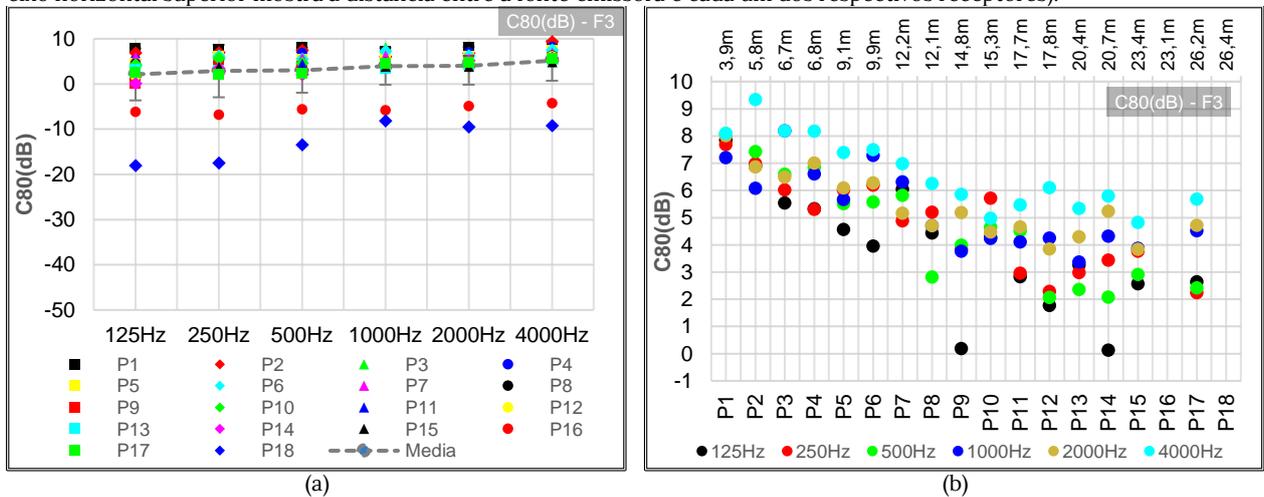


Gráfico 23 - Para a fonte emissora na posição F3 apresenta-se: (a) C80 em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) C80 em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores).



Os gráficos 21b, 22b e 23b mostram que, quanto mais próximo o ponto receptor está da fonte, maior é o Índice de Clareza (C80) medido. Isto é esperado, visto que, para os pontos mais próximos, existe maior contribuição do som direto. No gráfico 23b, em especial, fica mais nítida a relação entre C80 e a distância fonte-receptor, pois este gráfico mostra os valores de C80 em cada ponto da audiência quando o sinal é emitido pela fonte na posição F3, que das três posições de fonte consideradas é a que está mais próxima dos pontos medidos na audiência. Observe que o ponto P1 está a 3,9m da fonte F3 (Gráfico 23b), ao passo que o mesmo ponto P1 está a 8,3m da fonte F1, a fonte mais distante (Gráfico 21b). A proximidade entre o ponto receptor e a fonte, especialmente nos primeiros 10 metros, produziu uma grande variabilidade nos valores medidos. Por outro lado, à medida que essa distância aumenta, a sua influencia nos valores de C80 passa a ser menor. As reflexões na parede dos fundos são responsáveis por este fenômeno, pois aumentam os valores de C80 nos pontos mais distantes, onde a princípio estes valores deveriam ser menores.

Desconsiderando os pontos de comportamento anômalo, cujas causas já foram discutidas na seção anterior (Seção 5.1.3), observa-se que, quando o sinal é emitido pela fonte F1, o valor de C80, para a banda de 2000Hz, vale 3,8dB no ponto P1 e 4,3dB no ponto P15, ou seja, uma diferença menor do que 1 JND⁸ o que é muito pouco considerando que estes são pontos localizados nos extremos, frente e fundo. Para as bandas de 1000Hz e 4000Hz, também se observa pouca diferença no valor medido de C80. O mesmo não acontece quando o sinal é emitido pelas fontes F2 ou F3; para estes dois casos é possível constatar uma diferença significativa entre os pontos mais à frente e mais ao fundo. Contudo, para a banda de frequência de 500Hz, mais especificamente, nota-se que, independentemente da fonte emissora, existe uma queda mais acentuada nos valores de C80 a partir do ponto P11.

⁸ A menor diferença perceptível (*Just Noticeable Difference*) para o parâmetros D50 é 0,05 segundo a norma ISO 3382-1.

A análise do parâmetro C80 fornece mais informação acerca dos pontos de comportamento anômalo (P12, P14, P16 e P18) investigados durante a análise do parâmetro D50. Estas informações permitem aprofundar e complementar o estudo destes pontos. É possível observar que os menores valores de C80 são medidos quando o sinal é gerado pela fonte F1 (vide gráfico 21), e os maiores valores ocorrem quando o sinal é emitido pela fonte F3 (vide gráfico 23). Isso mostra que, mesmo para os pontos de comportamento anômalo, conforme a fonte se afasta do ponto receptor, o índice de Clareza (C80) também diminui.

É fato que o simples cálculo da média espacial dos valores de C80 pode não representar a percepção de clareza, visto que este parâmetro varia consideravelmente com a posição. Além disso se considerarmos os pontos de comportamento anômalo no cálculo da média, é possível que o resultado seja ainda menos representativo. O gráfico 24 mostra a média espacial entre os valores medidos nos dezoito pontos para cada banda de frequência considerando e desconsiderando a contribuição dos pontos problemáticos. Este gráfico confirma que os valores de C80 aumentam com a frequência e com a proximidade entre a fonte e o receptor, uma vez que as maiores médias foram observadas para a fonte F3, a fonte mais próxima da audiência.

Gráfico 24 – Média espacial de C80 em função de bandas de oitava de frequência para cada fonte considerando e desconsiderando os pontos receptores P16 e P18.

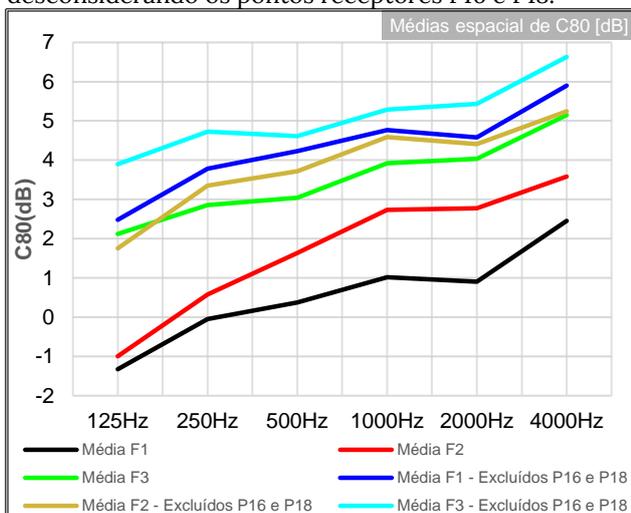


Tabela 10 - Dados referentes ao Gráfico 24.

		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Média	F1	-1,33	-0,05	0,37	1,01	0,90	2,45
	F2	-1,00	0,58	1,64	2,74	2,78	3,58
	F3	2,12	2,85	3,04	3,92	4,03	5,15
Média Excluindo P16 e P18	F1	2,48	3,78	4,23	4,76	4,58	5,90
	F2	1,75	3,35	3,72	4,59	4,41	5,24
	F3	3,90	4,73	4,61	5,29	5,44	6,63

Outro ponto importante é que, embora F1 seja a fonte mais distante da audiência, a média dos valores (excluídos os valores em P16 e P18) para a fonte F1 foi superior à média dos valores para a fonte F2. Isto ocorreu, pois no cálculo da média não foram desconsiderados os pontos P12 e P14, onde houve comportamento anômalo apenas para o sinal emitido por F2. Os gráficos 25a e 25b, que mostram os valores de $C80_{mid} = (C80_{500Hz} + C80_{1kHz} + C80_{2kHz})/3$ em função dos pontos receptores para cada fonte emissora, mostram que quanto mais próxima a fonte está dos pontos receptores, maiores são os valores de $C80_{mid}$.

Outro aspecto importante de se observar é que, com exceção dos pontos problemáticos (P12, P14, P16 e P18) discutidos na Seção 5.1.3, os valores de C80 medidos, parecem não sofrer influência do lado da sala onde estão situados. Tal afirmação pode ser conferida nos gráficos 26a e 26b, que mostram os valores de $C80_{mid}$ em função da distância fonte-receptor d . Nestes gráficos os pontos localizados na parte direita da audiência estão em indicados em cor preta e os pontos na parte esquerda da audiência estão em cor vermelha.

O gráfico 26b, em especial, omite os pontos de comportamento anômalo a fim de permitir uma melhor visualização dos demais pontos. A equação 5.9 descreve o comportamento observado no gráfico 26b (linha pontilhada em azul) para o parâmetro $C80_{mid}$.

$$C80_{mid}(d) = -0,985 \log(d) + 10,991 \quad (5.9)$$

Uma explicação plausível para o fato de os pontos P12 e P14 apresentarem baixos valores de C80 apenas para o caso de um sinal emitido pela fonte na posição F2 é que dentre as três fontes, esta é a que está situada mais à esquerda da audiência, portanto as combinações F2P12 e F2P14 se aproximam mais do modelo proposto na Figura 62 da na Seção 5.1.3, embora quanto mais perto o ponto estiver do palco mais os modelos das Figuras 62 e 63 se misturarão.

Gráfico 25 – C80, média sobre as bandas de 500Hz, 1kHz e 2kHz para cada fonte emissora em função dos: (a) pontos receptores P1 à P8, (b) pontos receptores P9 à P18.

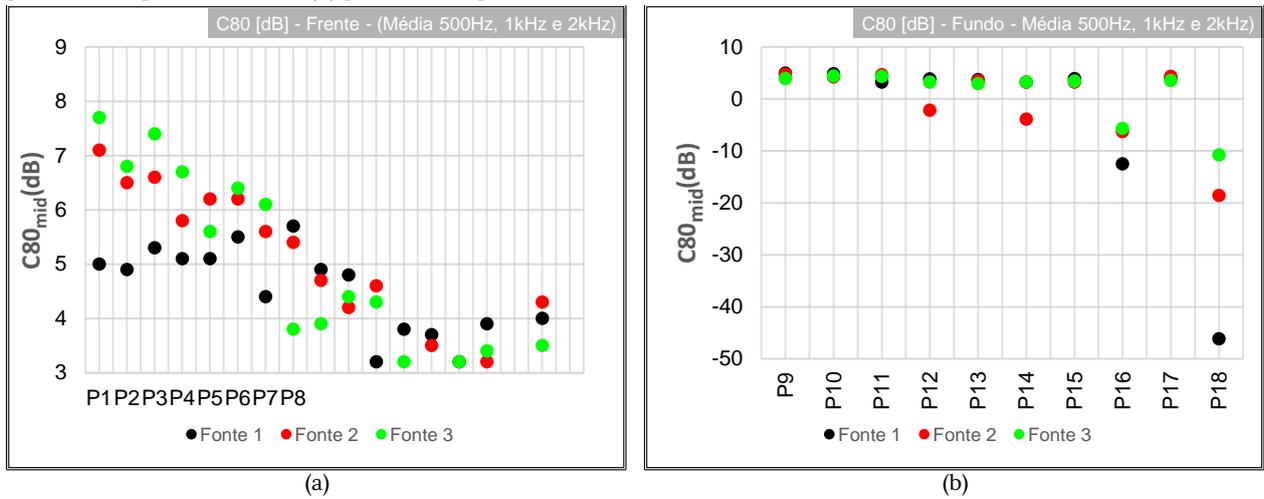
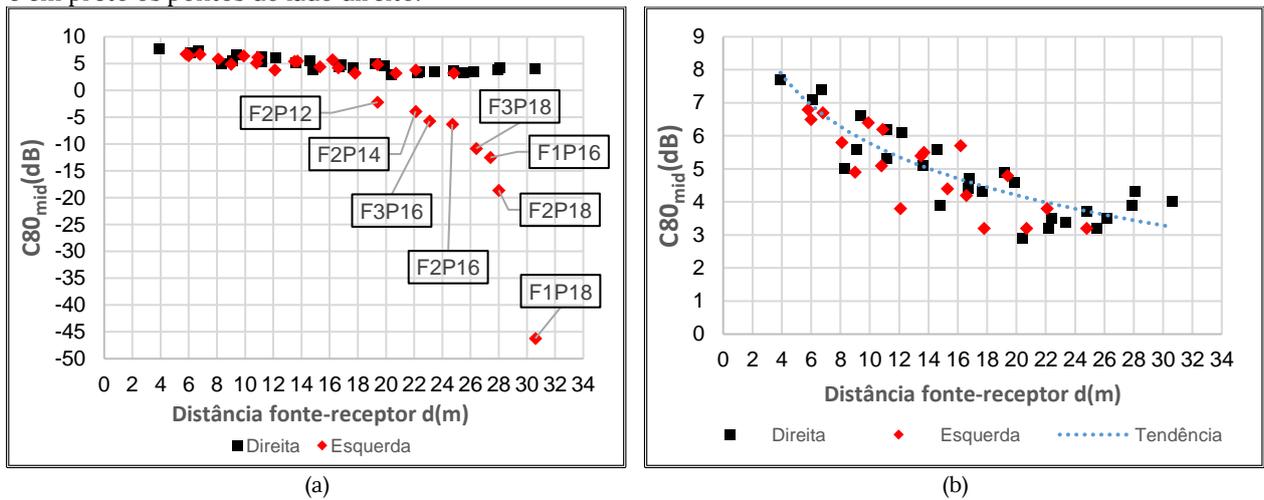
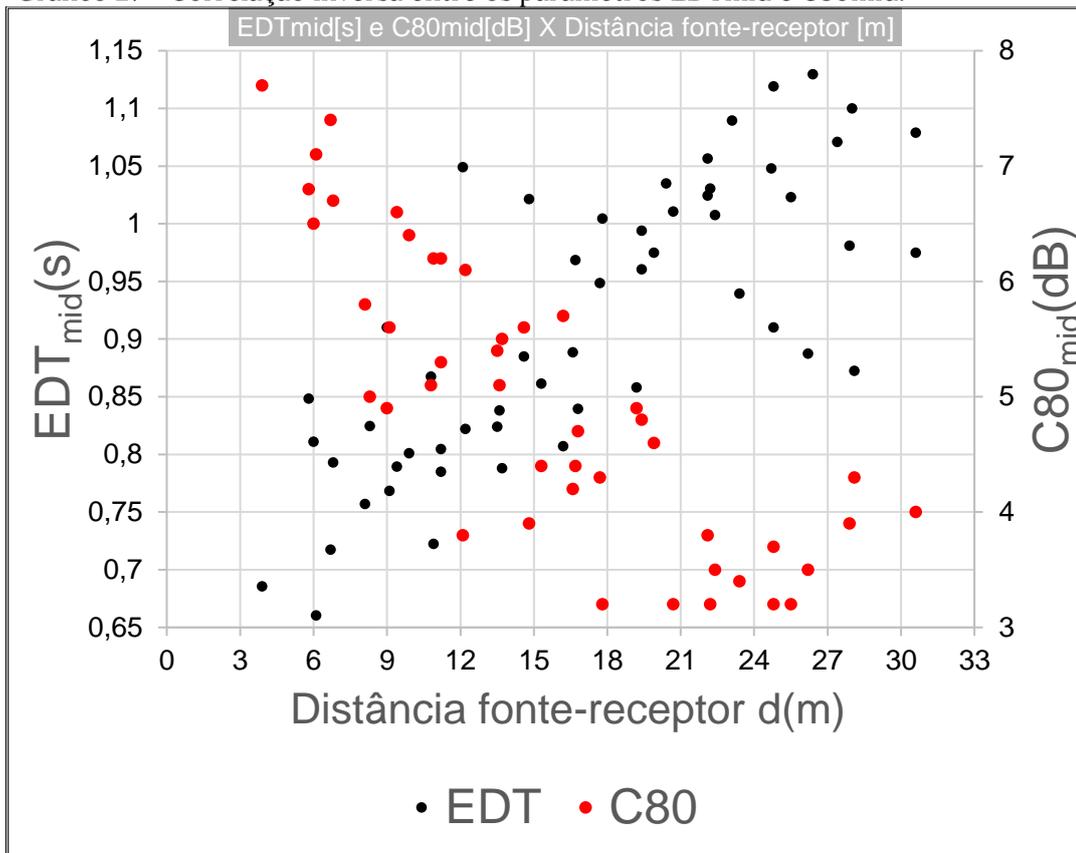


Gráfico 26 – C80, média sobre as bandas 500Hz, 1kHz e 2kHz em função da distância fonte-receptor (a) incluindo os pontos problemáticos (b) excluindo os pontos problemáticos. Em vermelho estão os pontos do lado esquerdo e em preto os pontos do lado direito.



O gráfico 27 finaliza a análise do parâmetro C80. Este gráfico mostra os valores de EDT (eixo das ordenadas esquerdo) e de C80 (eixo das ordenadas direito) em função da distância fonte-receptor d . Por meio do gráfico 27 é possível notar que existe uma forte correlação entre C80 e EDT. De fato, observa-se uma correlação inversa em diversos pontos. Por exemplo, no ponto P17 onde houve uma redução em EDT, houve um aumento em C80, no ponto P18 onde houve um aumento em EDT houve uma redução em C80.

Gráfico 27 - Correlação inversa entre os parâmetros EDTmid e C80mid.



5.1.5 Nível Sonoro Relativo

Os gráficos 28, 29 e 30 mostram os valores medidos para o Nível Sonoro Relativo (G) em função de bandas de oitava de frequência (a) e em função dos pontos receptores (b), considerando cada uma das fontes emissoras, F1, F2 e F3 respectivamente. O que chama a atenção primeiramente é a forma como o parâmetro G varia com a frequência nesta sala. Considerando a média espacial (curva tracejada), os valores de G sofrem um decréscimo nas bandas de 500Hz e 1kHz, porém, tornam a aumentar na banda de 2kHz para depois sofrerem um novo decréscimo, desta vez maior, na banda de 4kHz.

Gráfico 28 - Para a fonte emissora na posição F1 apresenta-se: (a) G(dB) em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) G(dB) em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores).

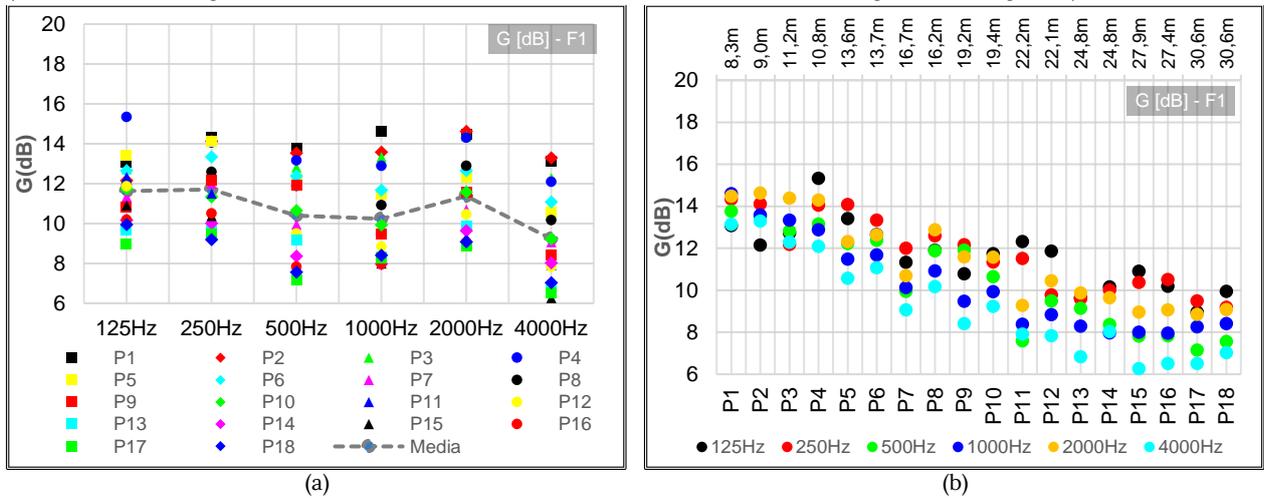


Gráfico 29 - Para a fonte emissora na posição F2 apresenta-se: (a) G(dB) em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) G(dB) em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores).

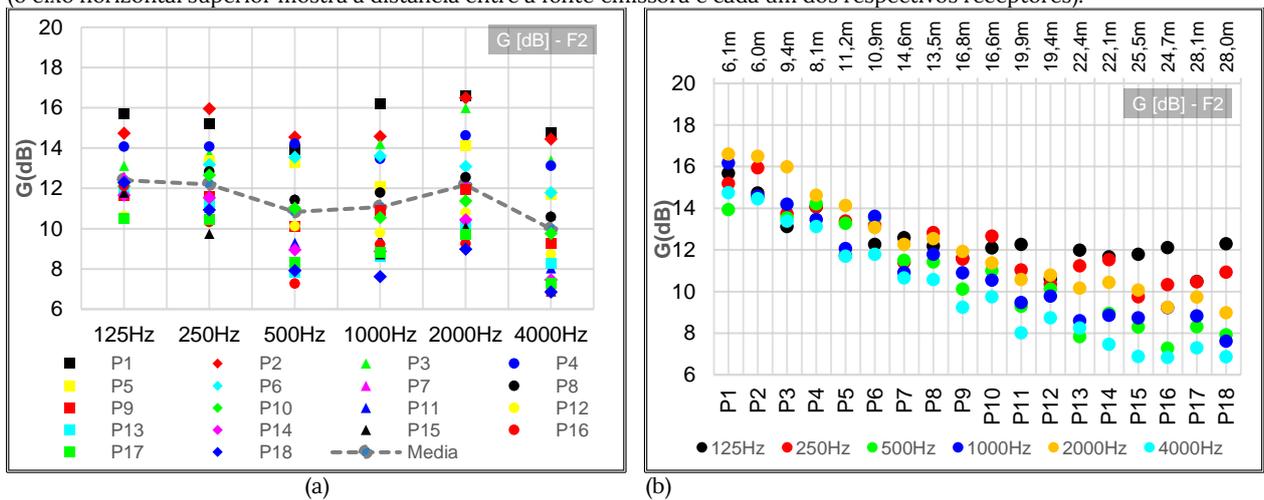
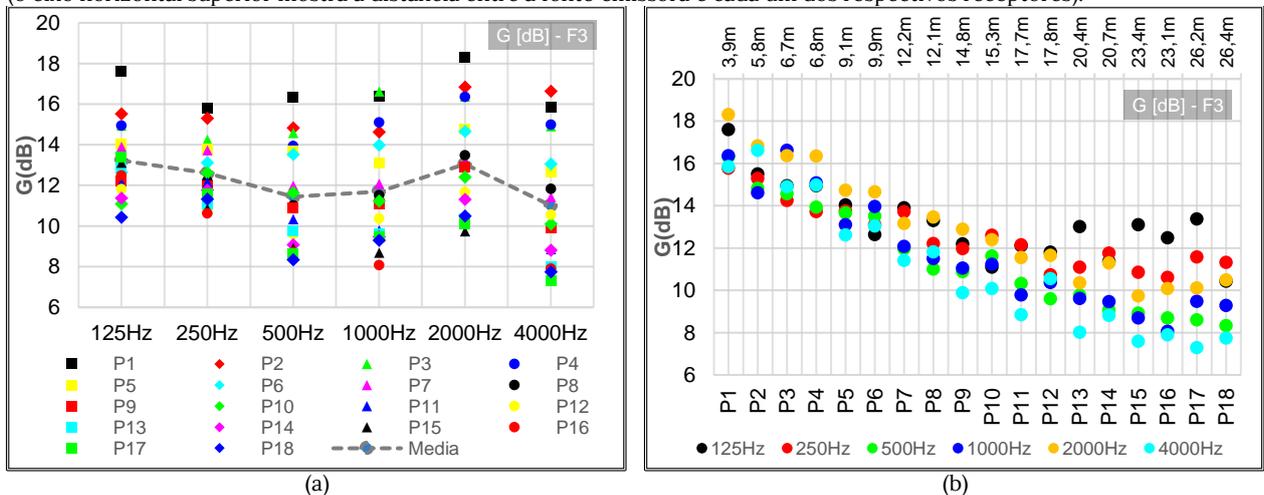


Gráfico 30 - Para a fonte emissora na posição F3 apresenta-se: (a) G(dB) em função da frequência para cada ponto receptor (a linha tracejada representa o valor médio). (b) G(dB) em função dos pontos receptores para cada uma das bandas de frequência (o eixo horizontal superior mostra a distância entre a fonte emissora e cada um dos respectivos receptores).



O Nível Sonoro Relativo está fortemente associado à distância entre a fonte e o receptor. Por meio dos gráficos 28b, 29b e 30b, é possível visualizar que os valores medidos são maiores para a fonte mais próxima da audiência, a fonte F3, especialmente nos primeiros pontos receptores. Uma característica que também pode ser observada nestes gráficos é que nos pontos mais próximos do palco, a diferença entre os valores medidos para as diversas bandas de frequência é menor do que a diferença observada nos pontos mais afastados do palco.

É oportuno notar que em todos os gráficos (28b, 29b e 30b) o valor do parâmetro G nos primeiros pontos é maior para a banda de 2kHz. Por outro lado, os valores de G para as bandas de frequência de 125Hz e 250Hz são os que menos variam com a distância, ao passo que a banda de 4kHz é a que o parâmetro G sofre a maior variação ao longo da sala.

No gráfico 30b, por exemplo, é possível visualizar que para banda de 250Hz o valor de G no ponto P1 é de 17 dB e no ponto P17 é de 11,6dB, em contrapartida para a banda de 4kHz o valor de G no ponto P1 vale 16dB e no ponto P17 vale 7,3dB. Ou seja, houve maior variação do parâmetro G para a banda de 4kHz, o que significa que esta região do espectro perdeu mais energia ao longo do percurso. Ainda analisado gráfico 30b, observa-se que para a banda de 2kHz, cuja média teve valores semelhantes às bandas de 125Hz e 250Hz, o valor medido no ponto P1 é 16,6dB e no ponto P17 é 9,7dB, o que mostra que esta banda também perdeu energia significativamente.

As características de absorção do ar podem justificar uma maior perda na energia para as altas frequências nos pontos mais distantes do palco (e portanto mais distantes das fontes), mas não conseguem justificar o aumento no valor médio na banda de 2kHz, para isto seria preciso compreender quais as razões que levam esta região do espectro a apresentar um maior Nível Sonoro Relativo logo nos primeiros pontos (P1, P2, P3...P7).

O gráfico 31 mostra o valor da média espacial do parâmetro G em função de bandas de oitava de frequência para um sinal emitido pela fonte na posição F1, F2 e F3. O gráfico 32, por sua vez, mostra os valores de $G_{mid} = (G_{500Hz} + G_{1kHz})/2$

em função dos pontos receptores para um sinal emitido pela fonte na posição F1, F2 e F3.

Ambos os gráficos, 31 e 32, resumem o comportamento do parâmetro G nesta sala. A variação deste parâmetro com a frequência mostrou seguir um padrão de comportamento que independe da fonte emissora.

Gráfico 31 – Nível Sonoro Relativo médio em função da frequência, considerando o sinal emitido por cada uma das três posições de fontes.

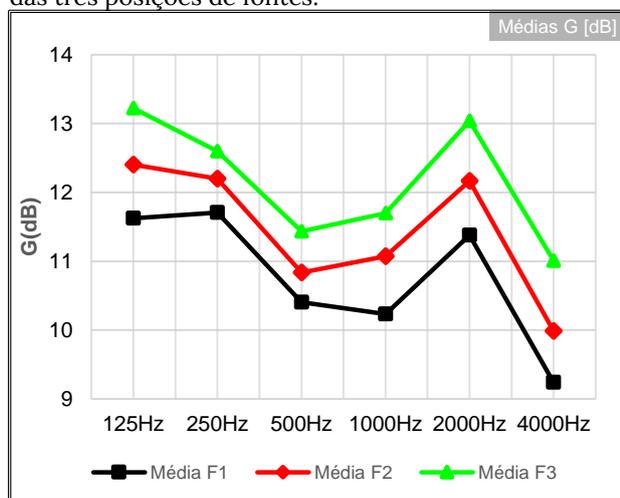
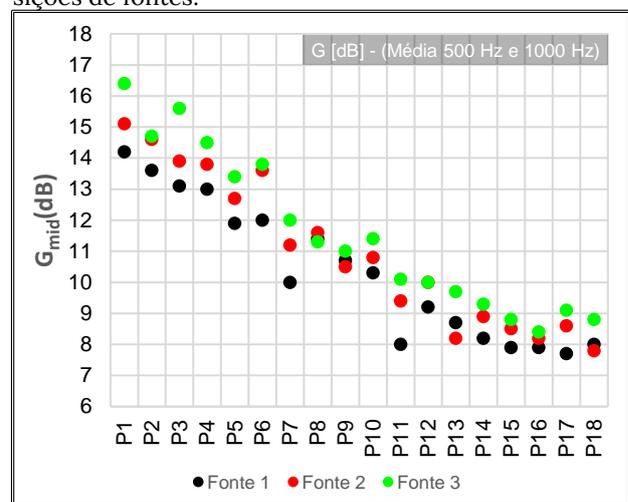
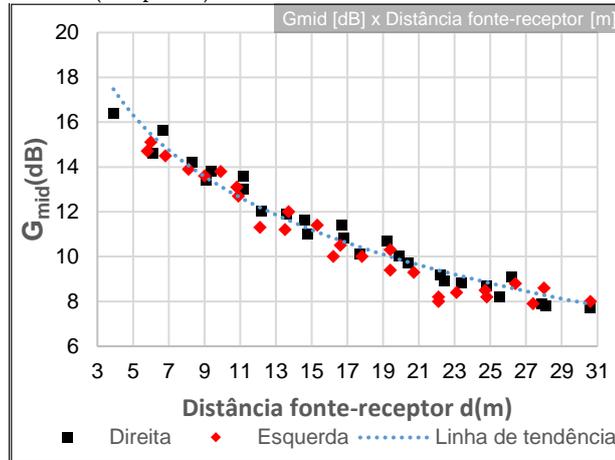


Gráfico 32 – G_{mid} (dB) em função do ponto receptor, considerando o sinal emitido por cada uma das três posições de fontes.



O gráfico 33 apresenta os valores de G_{mid} em função da distância fonte-receptor, para os pontos à direita (em preto) e à esquerda (em vermelho) da audição (convencionados na Figura 61 no início deste capítulo). Este gráfico revela que a assimetria da sala exerce uma pequena influência nos valores de G, de maneira que os valores medidos são ligeiramente menores para os pontos à esquerda, contudo esta diferença não se mostra significativa quando comparada à diferença que a assimetria produziu em outros parâmetros (EDT, D50 e C80) analisados anteriormente.

Gráfico 33 – G_{mid} (dB) em função da distância fonte-receptor, para os pontos à esquerda (em vermelho) e à direita (em preto)



Para o cálculo da linha de tendência presente no gráfico 33, foi levado em conta todos os pontos (direita e esquerda). A equação 5.7 descreve o comportamento do parâmetro G_{mid} em função da distância entre a fonte e o receptor nesta sala é:

$$G_{mid}(d) = -10,829 \log d + 23,79 \quad (5.7)$$

onde d é a distância, em metros, entre a fonte e o receptor.

5.1.6 Índice de Transmissão da Fala STI

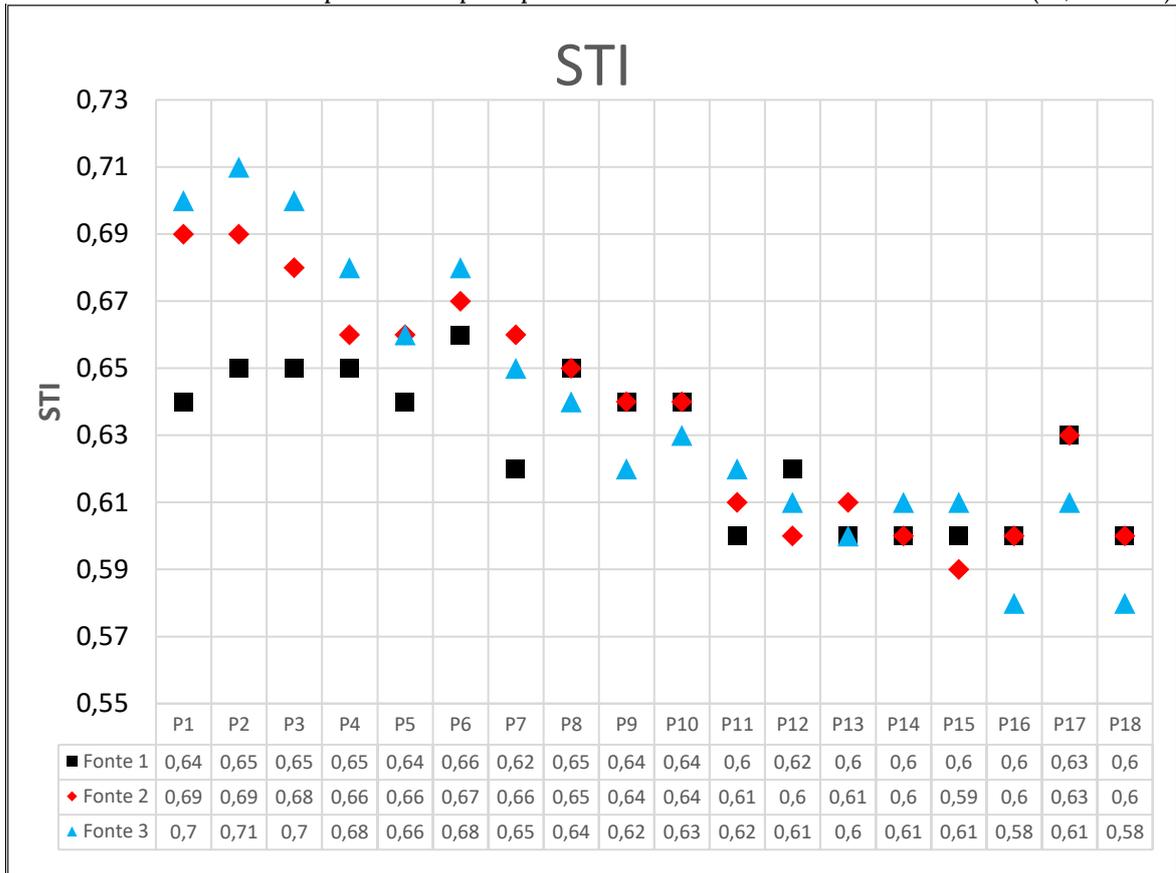
Os valores medidos para o parâmetro STI para cada uma das três posições de fonte emissora em função dos pontos receptores e em função da distância fonte-receptor d , podem ser visualizados nos gráficos 34 e 35 respectivamente.

Os gráficos 34 e 35 indicam que existe uma relação inversa entre o parâmetro STI e a distância entre a fonte e o receptor. Este tipo relação era esperado, uma vez que quanto mais próxima a fonte estiver do receptor maior será a influência do som direto, o que acarreta uma melhor transmissão da fala. O parâmetro STI tende a apresentar um comportamento semelhante aos parâmetros D50 e

C80, ou seja, apresenta s maiores valores nos pontos mais próximos da fonte emissora, contudo, com exceção dos pontos P16, P17 e P18, não houve diferença entre os lados direito e esquerdo da sala como aconteceu para os parâmetros D50 e C80.

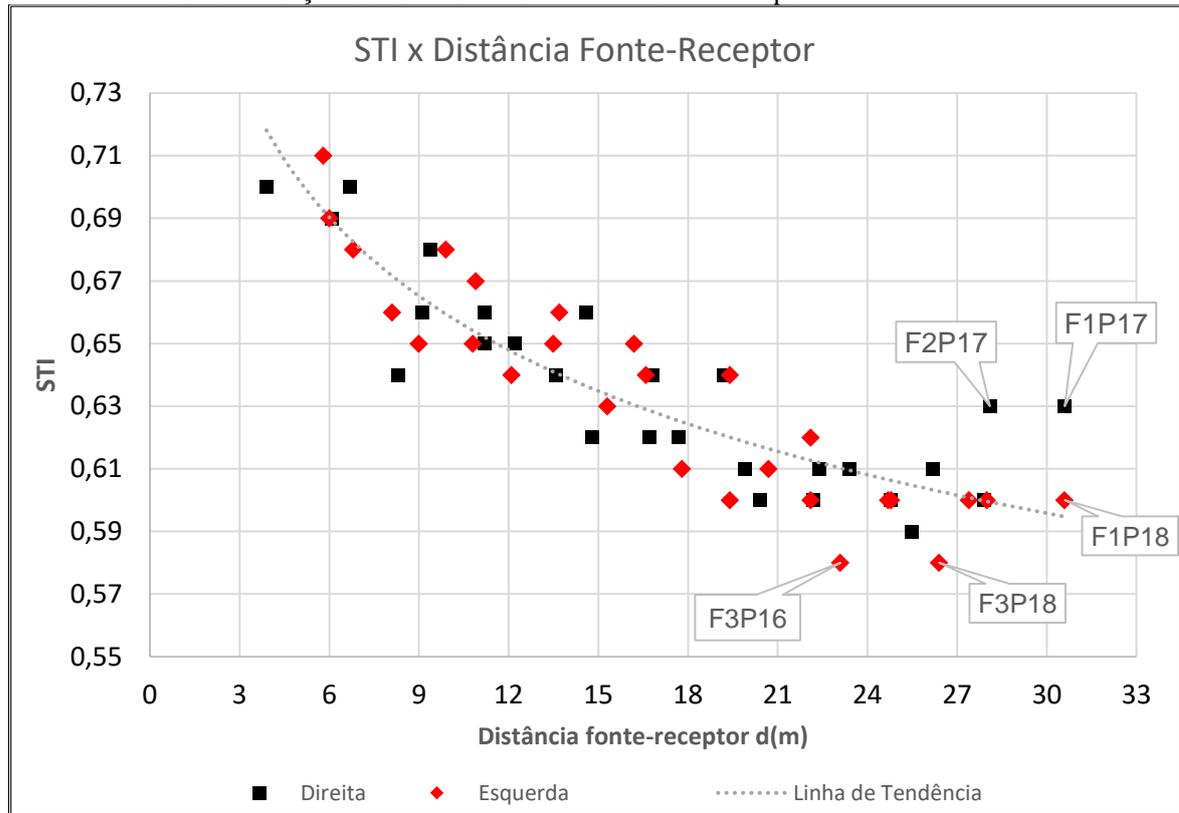
O gráfico 35 mostra que no ponto P17 houve um aumento nos valores de STI, acompanhando o aumento nos valores de D50 e C80, que pode ser justificado pelo reforço proveniente da reflexão da parede do fundo. Por outro lado, nos pontos P18 e P16 houve uma redução nos valores de STI, redução esta que pode ser justificada pela falta de uma reflexão rápida e forte⁹, consequência da assimetria da sala.

Gráfico 34 - STI em cada ponto receptor para cada uma das três fontes emissoras (F1, F2 e F3).



⁹ Entende-se por rápida as reflexões com um tempo de atraso menor do que 50ms, e, entende-se por forte quando a diferença entre o nível de pressão sonora do som refletido e do som direto for menor do que -10dB.

Gráfico 35 - STI em função da distância entre a fonte e o receptor.



Os valores medidos para o parâmetro STI ficaram compreendidos entre 0,71 e 0,58, ou seja, uma variação de 0,13 entre o maior e o menor valor medido. A equação 5.8 descreve o comportamento da linha de tendência para o parâmetro STI em função da distância fonte-receptor d .

$$STI(d) = 0,8133d - 0,091 \quad (5.8)$$

Um fato importante de ser discutido é que a diferença entre os valores de STI medidos considerando cada fonte emissora é maior para os primeiros quatro pontos receptores. Para estes pontos fica clara a influência da proximidade da fonte, no entanto, a partir do ponto P5 a posição da fonte já não mostra ter a mesma influência.

5.1.7 Som Residual

O Gráfico 36 mostra os valores dos níveis de som residual medidos para as três regiões do auditório, frente (região do palco), centro, e fundos, além da média entre elas em função de bandas de oitava de frequência.

O som residual para esta sala apresentou os menores valores na região central (gráfico 36), os maiores valores na região frontal (palco) e os menores valores no fundo (últimos acentos).

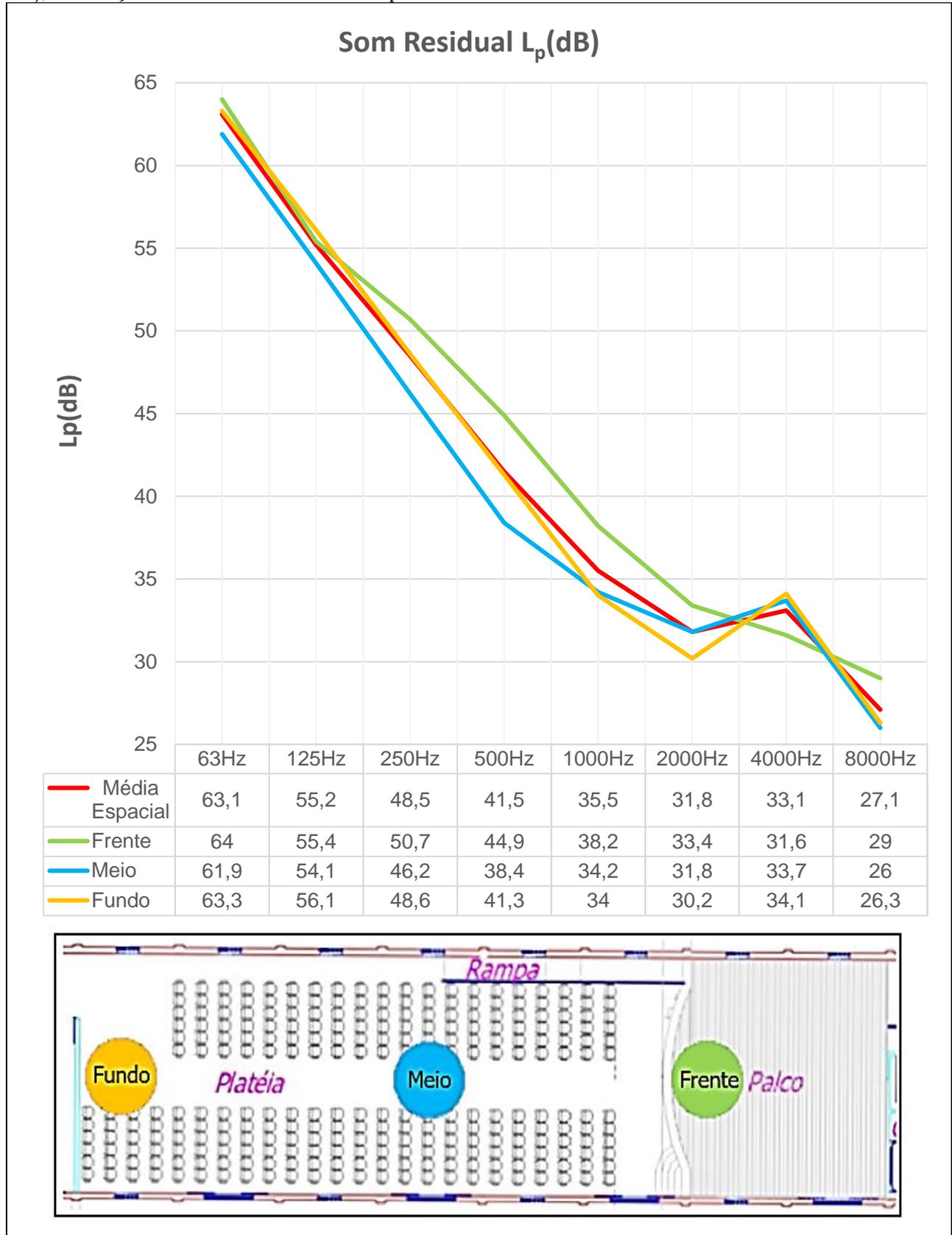
O nível pressão sonora é maior para as baixas frequências, decaindo conforme a frequência aumenta, no entanto existe uma elevação do nível pressão sonora na banda de 4kHz. Uma possível explicação para esta elevação é a presença de grilos na região da mata localizada próxima do Anfiteatro (ver Figura 16 no capítulo 2) , segundo Michelsen (1998) a maior parte da energia sonora emitida pelos grilos está concentrada na banda de 4kHz.

A Tabela 11 - Nível global das regiões , média por região e média total. apresenta os valores dos níveis globais medidos em cada uma das três posições. Foram três medições para cada posição, a tabela confirma que a região central é a região com o menor nível de pressão sonora. A média total foi de 45,5 dB(A).

Tabela 11 - Nível global das regiões , média por região e média total.

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

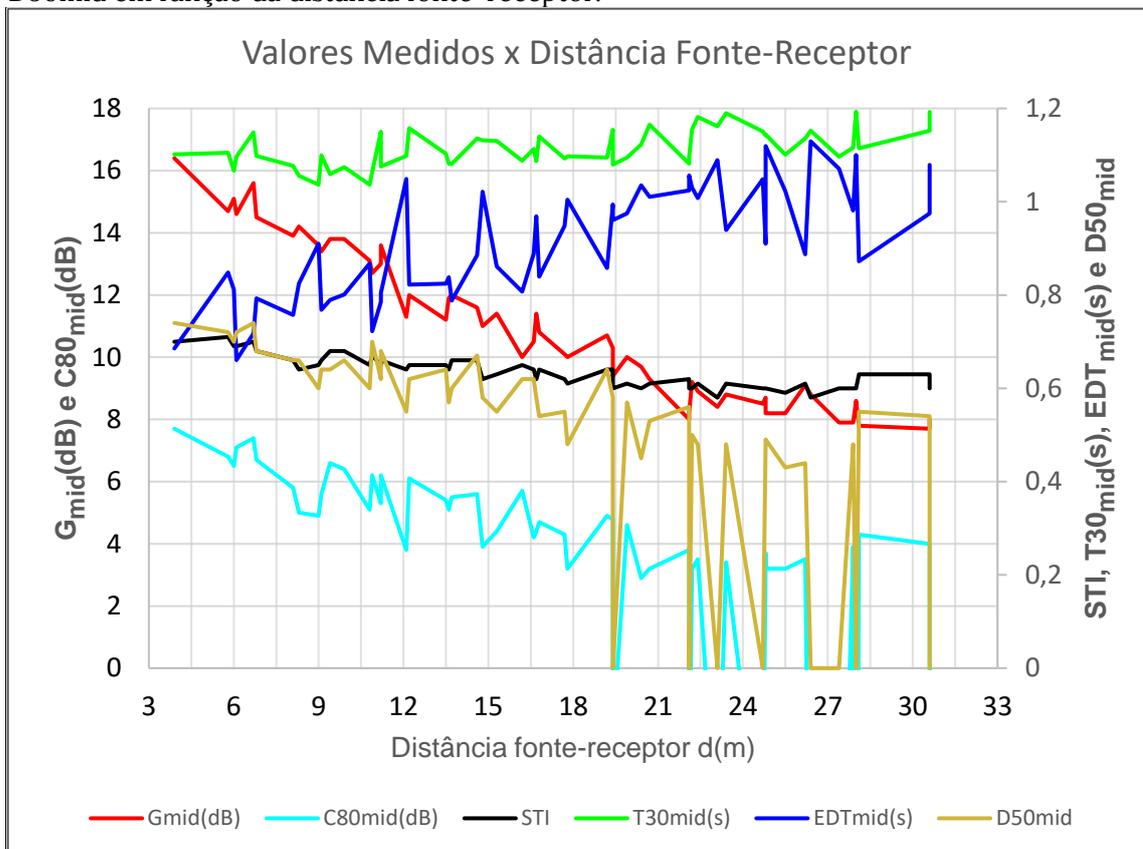
Gráfico 36 - Som residual para a frente (verde), fundo (amarelo), centro (azul) e média espacial (vermelho), em função de banda de oitava de frequência.



5.1.8 Análise Geral e Correlação entre os Parâmetros

O gráfico 37 mostra os parâmetros G_{mid} , $C80_{mid}$, STI , $T30_{mid}$, EDT_{mid} e $D50_{mid}$, todos em função da distância fonte-receptor d . De forma geral se observa uma forte correlação inversa entre os parâmetros EDT_{mid} e $C80_{mid}$, além de uma correlação direta entre os parâmetros $D50_{mid}$, e $C80_{mid}$. O Tempo de Reverberação $T30_{mid}$ sofreu pouca variação, ao passo que o EDT_{mid} tende a aumentar conforme a distância fonte-receptor aumenta. As variações no parâmetro STI foram pequenas, mas os valores de STI tendem a diminuir conforme o receptor se afasta da fonte, assim como para os parâmetros $D50_{mid}$ e $C80_{mid}$. O nível sonoro relativo (G_{mid}) também é inversamente proporcional à distância fonte-receptor, no entanto nota-se uma maior variação dos valores nos primeiros 15 metros.

Gráfico 37 – O comportamento dos parâmetros G_{mid} , $C80_{mid}$, STI , $T30_{mid}$, EDT_{mid} e $D50_{mid}$ em função da distância fonte-receptor.



5.2 ANÁLISE DO POTENCIAL ACÚSTICO

Nesta seção os dados dos parâmetros acústicos obtidos durante a medição serão avaliados com base em critérios de desempenho acústico.

Para avaliar o potencial acústico do Anfiteatro Isaltino Casemiro, é fundamental levar em consideração tanto o seu uso atual quanto as propostas de uso futuro. Além disso, é necessário estabelecer critérios que possibilitem qualificar a sala em cada uma de suas possíveis funções.

Como apresentado no Capítulo 1, as funções desempenhadas pelo anfiteatro entre os anos de 2014 e 2018 foram: Fala (palestras e conferências), Música Acústica, Música Amplificada, Teatro, Cinema e Dança. A maior parte dos eventos (43%) foram palestras e conferências, ou seja, atividades envolvendo a fala. No entanto a prefeitura da cidade projeta diversificar o uso do espaço futuramente, aumentando a quantidade de atividades envolvendo música, teatro, dança e cinema. A fim de estudar o potencial acústico do anfiteatro, este trabalho buscou estabelecer critérios distintos de avaliação, de forma a contemplar várias possibilidades de uso. Estes critérios foram baseados na norma norueguesa NS 8178:2014, nas recomendações técnicas para salas de exibição cinematográfica fornecidas pela ABC (2009) (Associação Brasileira de Cinematografia), na norma NBR 10152 (2017) para ruídos em recintos fechados, e por fim nas análises e estudos feitos por Barron (2005) e Ballou (2008).

As atividades que envolvem música foram divididas em três tipos, conforme sugere a norma NS 8178:2014:

(i) Música Amplificada: engloba apresentações de conjuntos de Rock/Pop/Jazz onde há utilização de equipamentos de amplificação e sistemas de PA.¹

¹ Um sistema PA (*public address system*) é um sistema eletrônico que compreende microfones, amplificadores, alto-falantes e equipamentos relacionados com a finalidade de amplificar o som de uma voz humana, instrumento musical, outra fonte sonora acústica ou música gravada.

(ii) Música Acústica Forte: bandas de metais, orquestras, óperas, instrumentos de sopro e percussão.

(iii) Música Acústica Fraca: Voz humana, instrumentos de corda como violão ou pequenos grupos de sopro (flauta, clarinete e outros instrumentos que produzem um baixo nível de pressão sonora).

Neste trabalho as atividades que envolvem teatro e fala foram analisadas sob os mesmos critérios. O mesmo foi feito com as atividades de cinema e dança, uma vez que em ambos os casos a energia sonora é proveniente da reprodução de áudio em sistemas de sonorização.

A Tabela 12 lista os critérios utilizados na análise dos parâmetros acústicos em cada tipo de atividade considerada. Os parâmetros D50 e STI não foram utilizados para avaliar atividades envolvendo música, uma vez que ambos estão relacionados à qualidade da fala. Analogamente, o parâmetro C80 não foi considerado para avaliar as atividades de teatro e fala. No entanto, para as atividades de cinema e dança, todos os parâmetros foram examinados, uma vez que estas atividades podem envolver tanto música quanto fala.

Tabela 12 - Critérios adotados para analisar cada parâmetro de acordo o tipo de atividade praticada. Onde “-” significa “não aplicável”.

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

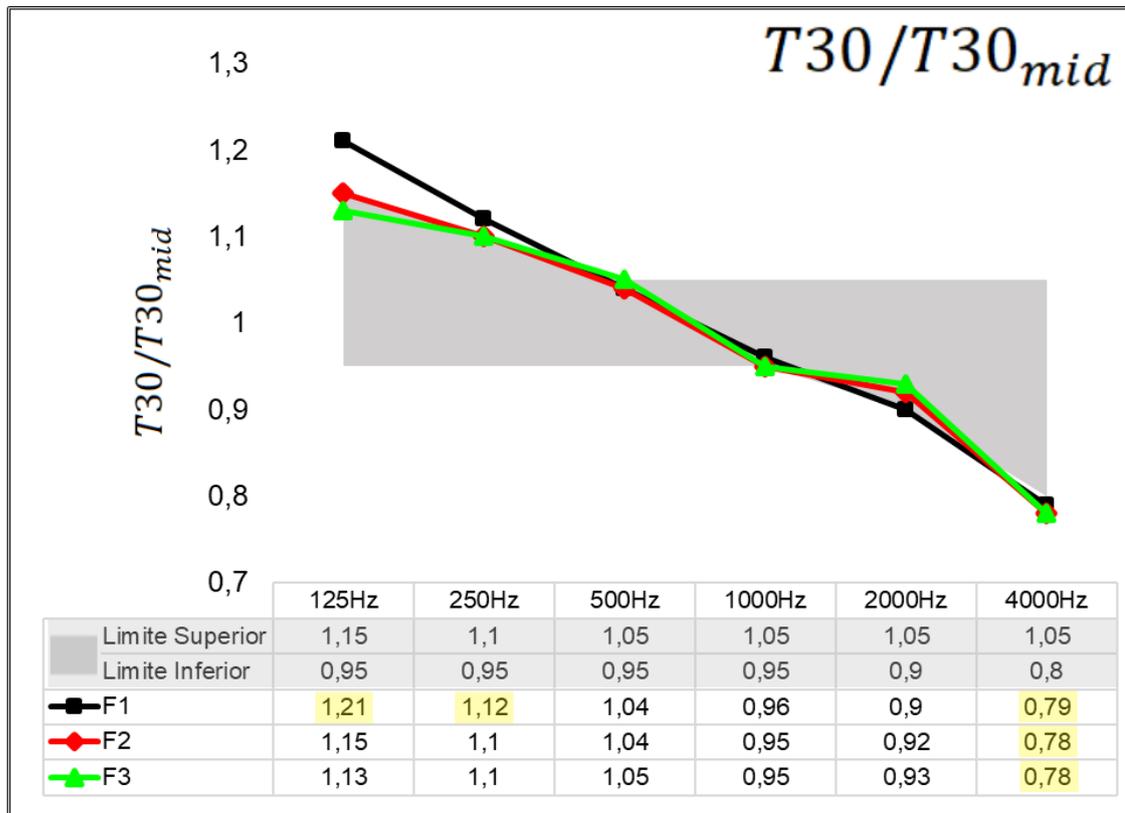
5.2.1 T30 para Atividades Musicais

O primeiro aspecto a ser analisado é como o Tempo de Reverberação (T30) varia com a frequência. Para música acústica fraca ou forte, a norma NS 8178:2014 recomenda que a razão entre o Tempo de Reverberação em uma dada banda de frequência e o Tempo de Reverberação $T30_{mid}$ (média entre as bandas de 1kHz e 500Hz) esteja dentro de certos limites. Para qualificar uma sala, a norma considera desde a banda de 63Hz até a banda de 4kHz. Contudo neste trabalho a banda de 63Hz não foi levada em conta, pois as medições foram feitas de acordo com a norma ISO 3382:1 que considera apenas as bandas de oitava de 125Hz a 4kHz.

O gráfico 38 mostra a média espacial da razão $T30/T30_{mid}$ em função da banda da frequência em banda de oitava. A área identificada pela cor cinza representa a região aceitável pela norma. As curvas em preto, vermelho e verde mostram o comportamento do Tempo de Reverberação na sala em função da frequência considerando as três posições de fonte, F1, F2 e F3 respectivamente.

Ao observar o gráfico 38, nota-se que a posição da fonte emissora não influenciou significativamente a razão $\frac{T30}{T30_{mid}}$, exceto para a banda de 125Hz, onde a fonte na posição F1 produziu o pior desempenho (1,21), estando acima do limite superior recomendado (1,15). Com a fonte na posição F1, a banda de 250Hz apresentou um resultado próximo daquele obtido com a fonte nas demais posições, porém, ainda assim, acima do limite recomendado. A banda de 4kHz, em contrapartida, teve desempenho abaixo do valor recomendado para todas as posições de fonte emissora, o que indica que existe muita absorção na sala para esta região do espectro sonoro em comparação com as outras bandas de frequência. A razão $T30/T30_{mid}$ está dentro da faixa de tolerância para as demais bandas de frequência, muito embora esteja próxima do limite recomendado em todas as regiões do espectro sonoro, o que indica que é possível melhorar este aspecto da sala.

Gráfico 38 - Limites de tolerância para a reverberação nas bandas de frequência de 125Hz a 4000Hz. O gráfico considera as três posições de fonte separadamente.



Os dados exibidos pelo gráfico 38 mostram que o Tempo de Reverberação neste anfiteatro não se distribui de forma adequada pelo espectro sonoro, o que seria importante, segundo norma NS 8178:2014, para garantir a execução de música acústica com qualidade.

Além do comportamento em função de frequência, é fundamental saber se a sala possui um tempo de reverberação adequado. O cálculo para a obtenção de um valor único, $T30_{sala}$, pode ser visto na equação 5.9:

$$T30_{sala} = \frac{\sum_j^{18} \sum_i^3 T30_{FiPj} (mid)}{54} \quad (5.9)$$

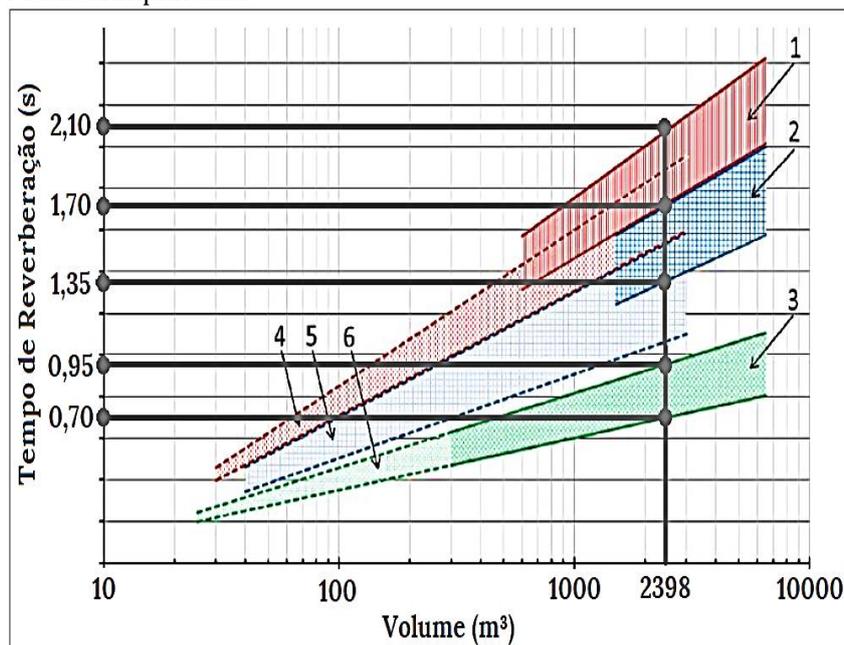
onde $T30_{FiPj} (mid)$ é o valor de $T30_{mid}$ medido no ponto Pj para um sinal emitido pela fonte na posição Fi . Desta forma estão contempladas todas as 54 combinações fonte-receptor obtidas através das medições. O Tempo de Reverberação resultante do cálculo com a equação 5.9 para a sala foi $T30_{sala} = 1,11s$.

Para avaliar se o valor de $T30_{sala}$ obtido para esta sala está adequado, é necessário levar em conta os três tipos de atividades musicais que podem ocorrer de forma separada: Música Amplificada, Música Acústica Forte e Música Acústica Fraca. Os valores recomendados foram obtidos por meio do gráfico 39, que foi extraído da norma NS 8178:2014, levando em conta o volume da sala. As regiões em vermelho e azul indicam os limites recomendados para a execução de Música Acústica Fraca e Forte respectivamente. A região em verde, por sua vez, indica os limites recomendados para Música Amplificada.

Sabendo que o volume do Anfiteatro Isaltino Casemiro é 2398m^3 , é possível encontrar a faixa de recomendação para cada tipo de música conforme o gráfico 39, assim:

- (i) Música Amplificada: $0,70\text{s} < T30_{ideal} < 0,95\text{s}$
- (ii) Música Acústica Forte: $1,35\text{s} < T30_{ideal} < 1,70\text{s}$
- (iii) Música Acústica Fraca: $1,70\text{s} < T30_{ideal} < 2,10\text{s}$

Gráfico 39 - Tempo de reverberação ideal segundo a norma NS 8178:2014. (1) Música Acústica Fraca. (2) Música Acústica Forte e (3) Música Amplificada.



Fonte: Adaptado da norma NS 8178:2014

Os resultados mostram que, segundo a norma NS 8178:2014, o anfiteatro não possui um Tempo de Reverberação adequado para a prática musical. O valor encontrado para esta sala, $T30_{sala} = 1,11s$, está abaixo do valor recomendado para música acústica e acima do valor recomendado para música amplificada.

5.2.2 G para Atividades Musicais

Outro parâmetro importante de ser avaliado é o Nível Sonoro Relativo (G). O primeiro passo é encontrar um valor único para este parâmetro. Para analisar uma sala, a norma NS 8178:2014 utiliza um valor de G calculado, e não medido. Segundo Rindel (2014), conhecendo o coeficiente de absorção médio da sala (α_m) é possível calcular o nível sonoro relativo G utilizando a equação 5.10:

$$G_{sala} \cong 31 + 10 \log \left(\frac{4(1 - \alpha_m)}{\alpha_m S} \right) (dB) \quad (5.10)$$

Sabendo que o tempo de reverberação obtido para o anfiteatro vale $T30_{sala} = 1,11s$ e ,que sua área interna total, considerando todas as superfícies, vale $S=2676,6m^2$, é possível calcular o valor de α_m conformer a equação 5.11 (equação de Sabine):

$$\alpha_m = \frac{0,16V}{T30_{sala} \cdot S} \quad (5.11)$$

que resulta em $\alpha_m = 0,1287$. Utilizando este coeficiente de absorção na equação 5.10 obtém-se $G_{sala} = 11,05 dB$.

O cálculo do parâmetro G também pode ser feito da mesma forma como foi feito para o parâmetro T30, ou seja, a partir da média de todos os 54 valores de G_{mid} medidos para cada uma das combinações fonte-receptor, como mostra a equação 5.12.

$$G_{sala} = \frac{\sum_j^{18} \sum_i^3 G_{FiPj}(mid)}{54} \quad (5.12)$$

onde $G_{FiPj}(mid)$ é o valor de G_{mid} medido no ponto Pj para um sinal emitido pela fonte na posição Fi . O resultado fornecido pela equação 5.12 é $G_{sala} = 10,95 \text{ dB}$, ou seja, muito próximo de $11,05 \text{ dB}$ (fornecido pela equação 5.11), o que mostra coerência entre os resultados. Para avaliar esta sala, entretanto, será adotado o valor obtido por meio da média entre os valores medidos, ou seja, $G_{sala} = 10,95 \text{ dB}$.

A equação 5.7 descreve o comportamento do parâmetro G_{mid} em função da distância entre a fonte e o receptor. A equação 5.13 foi obtida reescrevendo a equação 5.7 e substituindo $G_{mid} = G_{sala}$, desta forma podemos calcular para qual distância fonte-receptor o valor medido é igual ao valor médio da sala.

$$d = 10^{(23,79 - G_{sala})/10,829} \quad (5.13)$$

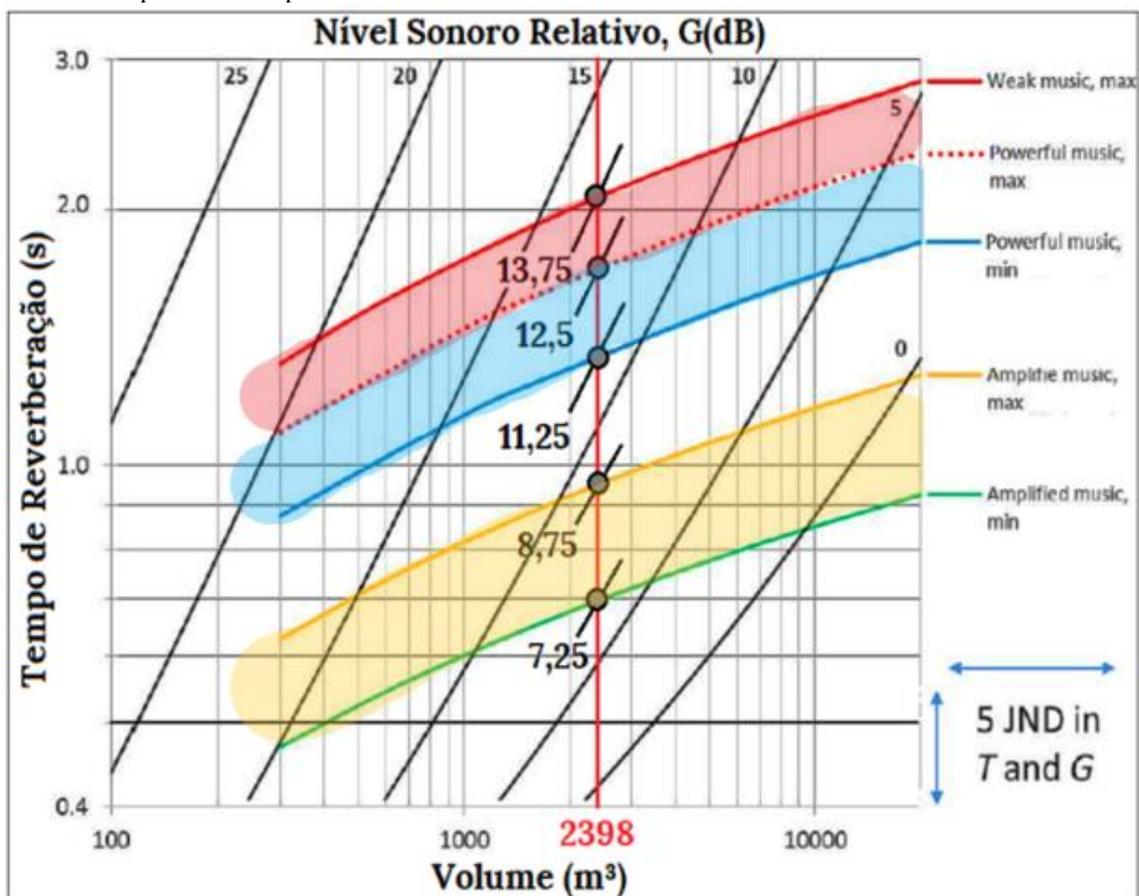
Adotando $G_{sala} = 10,95 \text{ dB}$ na equação 5.13, tem-se como resultado $d = 15,3\text{m}$. Considerando que as distâncias entre fonte e receptor medidas variaram de 3m a 31m, observa-se que o valor de G_{sala} pode ser encontrado em algum ponto na região central da audiência.

O gráfico 40, adaptado da norma NS 8178:2014, mostra que o Nível Sonoro Relativo e o Tempo de Reverberação recomendados em função do volume para música amplificadora (região em amarelo), música acústica forte (região em azul) e música acústica fraca (região em vermelho). Para o anfiteatro Isaltino Casemiro, cujo volume é aproximadamente 2398m^3 , a análise do gráfico 40 permite concluir que o Nível Sonoro Relativo ideal para as três categorias de música consideradas deve ser:

- (i) Música Amplificada: $7,25\text{dB} < G_{ideal} < 8,75\text{dB}$
- (ii) Música Acústica Forte: $11,25\text{dB} < G_{ideal} < 12,5\text{dB}$
- (iii) Música Acústica Fraca: $12,5\text{dB} < G_{ideal} < 13,75\text{dB}$

A análise do gráfico 40 permite concluir que este anfiteatro não possui um Nível Sonoro Relativo adequado para a prática de música. O fato de $G_{sala} > 8,75dB$ significa que, se música amplificada for praticada nesta sala, o nível de pressão sonora ficará intenso o suficiente para causar danos auditivos². Por outro lado, como $G_{sala} < 11,25dB$, esta sala também não está apta para atividades envolvendo música acústica. Neste caso o Nível Sonoro Relativo é menor do que o recomendado, o que significa que o som produzido acusticamente não terá o reforço necessário para que o nível de pressão sonora seja forte o suficiente para ser ouvido com clareza.

Gráfico 40 – Nível Sonoro Relativo (G) e Tempo de Reverberação recomendados em função do volume para cada tipo de atividade musical.



Fonte: Adaptado da norma NS 8178:2014

² A norma norueguesa NS 8178:2014 leva em conta os níveis de pressão sonora seguros para a audição quando define os valores ideais do parâmetro G.

5.2.3 C80 para Atividades Musicais

Com relação ao parâmetro C80, na norma ISO 3382-1:2009, consta que, para salas com volume maior do que 25000m³, os valores típicos de $C80_{mid}$, em uma posição aleatória da área de audiência, ficam entre -5dB e +5dB. Vale lembrar que para o cálculo de $C80_{mid}$, a norma ISO 3382-1:2009 considera apenas as bandas de 500Hz e 1kHz, diferentemente de Barron (2005) e Beranek (2000), que incluem no cálculo a banda de 2kHz. No estudo do anfiteatro Isaltino Casemiro, o parâmetro $C80_{mid}$ foi calculado do acordo com Barron (2005), ou seja, a média entre as bandas de frequência de 500Hz, 1kHz e 2kHz. Como já mencionado anteriormente (Capítulo 3), segundo Reichardt, Alim e Schmidt (1974), que foram os responsáveis por propor o parâmetro em questão, os valores de C80 devem ser escolhidos de acordo com o tipo de música. A Tabela 13 apresenta a faixa recomendada dos valores de C80 para cada tipo de música segundo alguns autores.

Tabela 13 -Valores recomendados para o parâmetro C80 para diversos estilos de música.

Tipo de Música	Valores Recomendados	Referência
Música Clássica	$-1,6dB < C80 < 1,6dB$	Reichardt, Alim e Schmidt (1974)
	$-3dB < C80 < 8dB$	Ballou (2008)
Música Romântica	$-4,6dB < C80 < -1,4dB$	Reichardt, Alim e Schmidt (1974)
	$-3dB < C80 < 4dB$	Ballou (2008)
Canto	$1dB < C80 < 5dB$	Beranek e Hidaka (2000)
Música Orquestrada	$-3dB < C80 < 0dB$	Beranek e Hidaka (2000)
Música Moderna	$-3dB < C80 < 8dB$	Ballou (2008)

Por música clássica, entende-se a música ocidental produzida no período compreendido entre 1750 e 1810. Por música romântica, entende-se aquela produzida entre 1810 e 1910. A música moderna, por fim, é a música do século XX.

Segundo Bennett, Costa e Sampaio (2007), na música romântica, o tamanho da orquestra é maior do que o tamanho da orquestra usada na música do período clássico, o que mostra uma preocupação com a intensidade sonora como ferramenta na busca de uma expressão mais intensa e vigorosa da emoção. Ademais, foi no período romântico que houve a introdução de novos instrumentos na orquestra, também como forma de ampliar a riqueza de timbres. No piano houve aumento da tessitura, e o uso do pedal de *sustain* passou a ser recorrente. Este pedal possui um efeito semelhante ao da reverberação, uma vez que prolonga a duração da nota musical. A busca por mais intensidade sonora, maior duração das notas e maior riqueza de timbre faz com que o Tempo de Reverberação ideal para música romântica seja maior do que para os outros estilos. No entanto, como vimos, existe uma correlação inversa entre o Tempo de Reverberação e o Índice de Clareza, o que faz com que seja uma consequência que menores valores de C80 sejam desejáveis para este estilo.

A música moderna, por outro lado, veio como uma reação ao estilo romântico (BENNETT; COSTA; SAMPAIO, 2007). Dentre as tendências e técnicas de composição mais importantes da música do século XX encontram-se: Impressionismo, Nacionalismo do Séc.XX, Expressionismo, Música Concreta, Serialismo, Música Eletrônica, Influências do Jazz, Neoclassicismo, Música Aleatória e Atonalidade.

Na música moderna, dentre outras características, é comum o uso mais enfático da seção de percussão (BENNETT; COSTA; SAMPAIO, 2007), o que pode explicar a necessidade de maiores valores para o Índice de Clareza C80. Como as notas percussivas possuem menor duração, é preciso aumentar a capacidade de distinção, o que implica a necessidade de um maior Índice de Clareza.

Os valores recomendados na Tabela 13 fornecem um bom ponto de partida para avaliar o parâmetro C80, mas não podem servir como critério absoluto para

avaliar o Anfiteatro Isaltino Casemiro por duas razões que serão esclarecidas a seguir.

A primeira razão é o volume reduzido do anfiteatro Isaltino Casemiro quando comparado com as salas onde os estudos do parâmetro C80 ocorreram. Os valores típicos de C80 apresentados na norma ISO 3382-1:2009, por exemplo, são para salas com volumes maiores do que 25000m³, enquanto o anfiteatro em estudo neste trabalho possui apenas 2398m³.

A segunda razão, que torna a aplicação taxativa da tabela 3 insuficiente, é o fato de que o estilo musical mais praticado no Anfiteatro Isaltino Casemiro é música popular. Podemos considerar que as características da música popular se assemelham mais ao estilo moderno do que aos estilos clássico e romântico, principalmente pela presença marcante de instrumentos percussivos, instrumentos amplificados e sons eletrônicos.

A execução de *música orquestrada*, presente na tabela 3, é impraticável no Anfiteatro Isaltino Casemiro em razão da área do palco não ser grande o suficiente para acomodar todos os músicos que seriam necessários. A música pode ser considerada orquestrada quando existem mais do que vinte músicos, embora a definição deste número não seja exata, de forma que outros elementos também são importantes para tal classificação. Contudo, é possível a prática de *música de câmara* neste anfiteatro, pois este tipo de música envolve uma quantidade menor de músicos, que varia desde duetos até sextetos (“Música de Câmara - Filipe Salles Homepage”, [s.d.]).

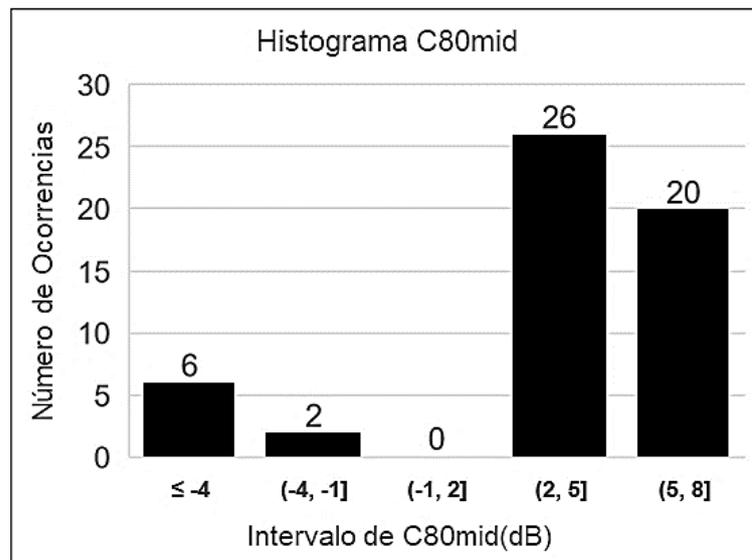
É importante dizer que a *música de câmara* não representa um estilo musical em si, mas sim uma classificação de acordo com a quantidade de músicos e instrumentos. Dessa forma é possível existir *música de câmara* nos estilos clássico, romântico e moderno.

Considerando as dimensões da sala, o contexto histórico em que está inserida e as últimas atividades praticadas no ambiente (descritas no capítulo 1), fica claro que, se o Índice de Clareza for avaliado de acordo com o estilo de música, como sugeriu Reichardt, Alim e Schmidt (1974), deve-se buscar ajustar a sala para

música moderna. No entanto, Barron (2005), em seus estudos sobre o parâmetro C80, argumenta que não existe limite superior para este parâmetro desde que a sala satisfaça as condições para o Tempo de Reverberação. Como a abordagem da norma NS 8178:2014 não leva em conta o estilo de musical na determinação do Tempo de Reverberação Ideal, e, como o parâmetro C80 está inversamente relacionado com o Tempo de Reverberação, neste trabalho, será considerado satisfatório todo valor de $C80 > -1,6\text{dB}$, desde que o valor de T30 esteja dentro do recomendado pela norma NS 8178:2014. O limite inferior de $-1,6\text{dB}$ foi escolhido baseado nos valores de referência da tabela 3, de forma que satisfaça as condições para música moderna e para música clássica simultaneamente. Este mesmo critério foi adotado para avaliar os três grupos de música presentes na norma NS 8178:2014, Música Amplificada, Música Acústica Forte e Música Acústica Fraca.

O gráfico 41 é um histograma que mostra a quantidade de vezes em que o valor de $C80_{mid}$ aparece entre um determinado intervalo de valores. Este gráfico foi construído a partir de dados obtidos das 54 medições referentes a cada combinação de fonte-receptor.

Gráfico 41 - Número de ocorrências para cada faixa de valores de $C80_{mid}$.



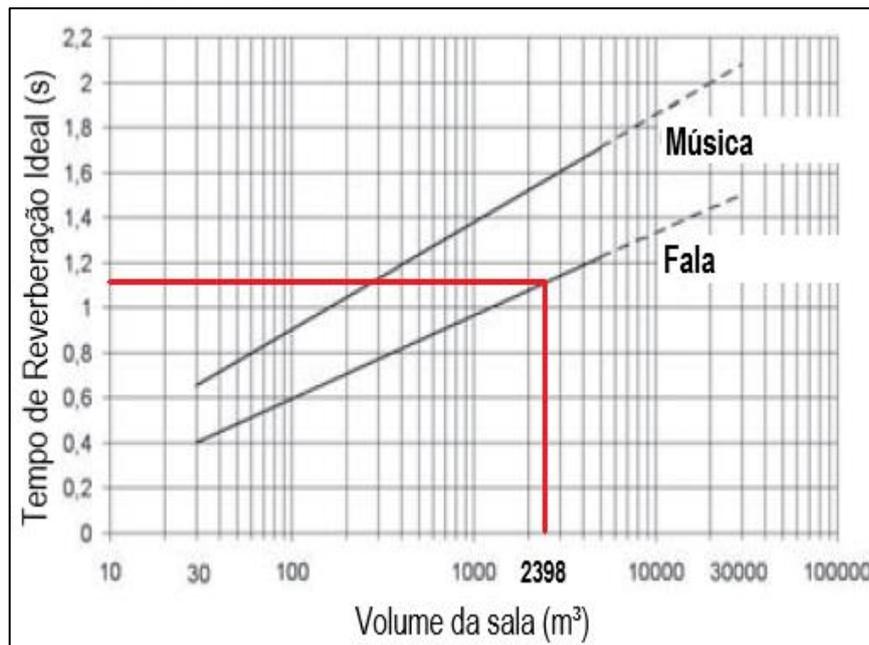
O gráfico 41 define cinco intervalos diferentes. Nele é possível observar que a maior parte dos valores medidos (48%) estão compreendidos entre 2dB e 5dB; outra grande parte (37%) está compreendida entre 5dB e 8dB, e não há valores superiores a 8dB. Apenas duas medidas forneceram valores entre $-4dB$ e $-1dB$ e, em apenas seis medidas, os valores de $C80_{mid}$ ficaram abaixo de $-4dB$; estas foram justamente as medidas referentes aos pontos de comportamento anômalo discutidos anteriormente.

A análise do histograma (gráfico 41) mostra que 85% da sala satisfaz a condição $C80_{mid} > -1,6dB$, além disso a média espacial entre todas as 54 medidas, incluindo os pontos de comportamento anômalo, é $C80_{mid,médo} = 2,2dB$. Entretanto, se os pontos P16 e P18 forem desconsiderados no cálculo, o valor obtido será $C80_{mid,médo} = 4,9dB$. A diferença é grande devido aos valores extremamente baixos detectados nos pontos P16 e P18.

5.2.4 T30 para Teatro ou Fala

O gráfico 42 mostra o Tempo de Reverberação ideal em função do volume da sala para as atividades envolvendo música e fala, segundo Ballou (2008). O Tempo de Reverberação analisado neste gráfico é a média entre as bandas de 500Hz e 1kHz. Considerando que o volume do anfiteatro Isaltino Casemiro é 2398 m³, é possível concluir, por meio da análise do gráfico 42, que o valor de Tempo de Reverberação ideal para atividades envolvendo fala, nesta sala, deve ser $T30_{mid,ideal} = 1,1s$. Este valor é muito próximo do valor calculado para a sala utilizando a equação 5.9, $T30_{sala} = 1,11s$. Isso mostra que, nas frequências médias, a sala possui um bom desempenho acústico para atividades de fala.

Gráfico 42 - Tempo de Reverberação em função do volume para as atividades de fala e música.



Fonte: Adaptado de Ballou (2008)

Contudo, para aprofundar a avaliação do parâmetro T30, também é preciso levar em conta o comportamento do Tempo de Reverberação nas baixas e altas frequências. No gráfico 43, adaptado de Ballou (2008), o eixo das ordenadas mostra a razão $T30(f)/T30_{mid,ideal}$ entre o Tempo de Reverberação (T30) em uma dada

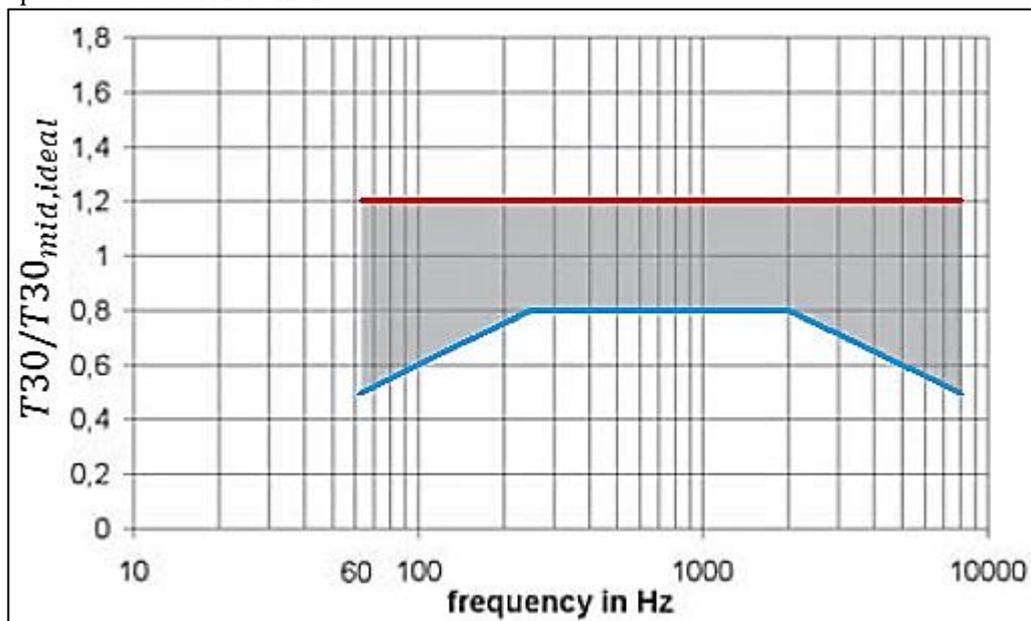
frequência e o Tempo de Reverberação ideal $T30_{mid,ideal} = 1,1s$ obtido por meio da análise do gráfico 42. A linha em azul representa o limite inferior tolerável, e a linha vermelha representa o limite superior. Para que a sala tenha um bom desempenho para fala, é preciso que os valores estejam entre estes limites (região em cinza). O limite superior é constante e vale 1,2 (equação 5.14). O limite inferior pode ser calculado através da equação 5.15, que descreve a função representada pela linha azul no gráfico 43.

$$T30(f)/T30_{mid,ideal} = 1,2 \quad (5.14)$$

$$T30(f)/T30_{mid,ideal} = \begin{cases} -0,4052 + 0,5026 \log(f), & f < 250 \\ 0,8, & 250 \leq f \leq 2000 \\ 2,4590 - 0,5026 \log(f), & f > 2000 \end{cases} \quad (5.15)$$

onde f é a frequência em Hz.

Gráfico 43 - Faixa de tolerância para o Tempo de Reverberação no espectro de frequências de 60Hz a 8kHz.

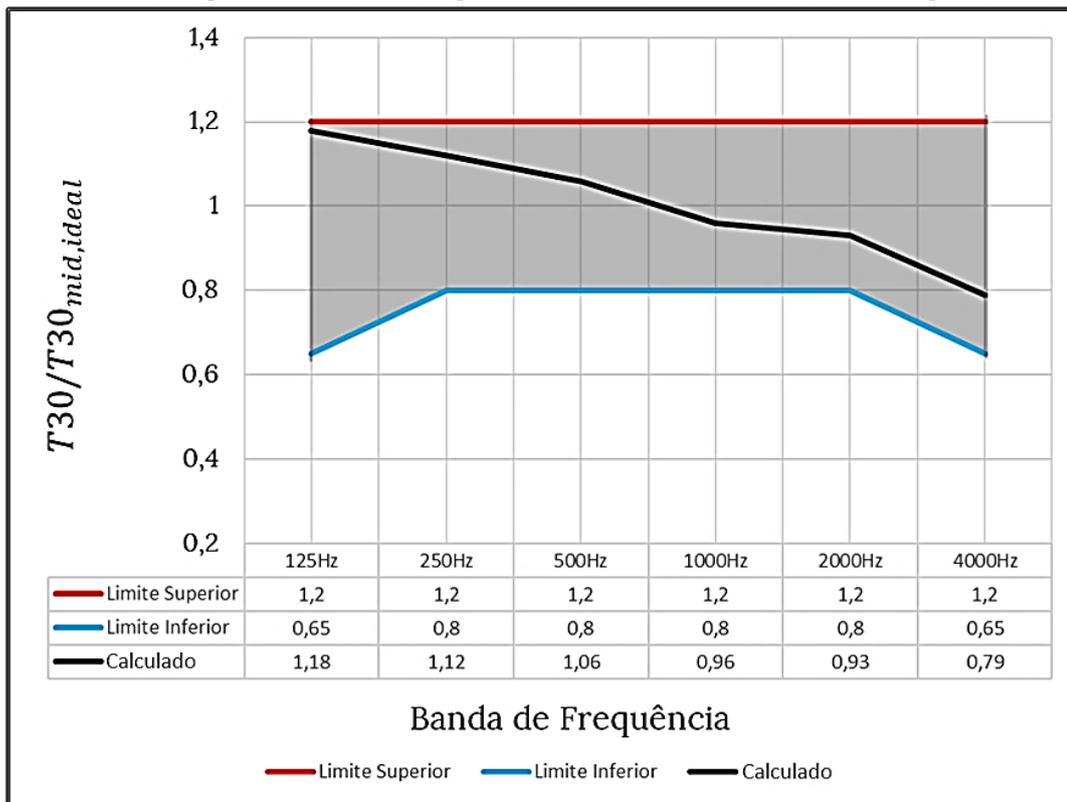


Como este trabalho não analisou tanto as bandas de frequência abaixo de 125Hz quanto aquelas acima de 4kHz, o gráfico 43 foi reconstruído utilizando as

equações 5.14 e 5.15, de forma que o espectro sonoro exibido foi ajustado; o resultado pode ser visto no gráfico 44.

Observando o gráfico 44, nota-se que o Tempo de Reverberação T30 satisfaz as condições necessárias para a prática da atividade de fala em todo o espectro de frequências.

Gráfico 44 - Comportamento do Tempo de Reverberação em função da frequência.



5.2.5 G para Teatro ou Fala

O critério proposto por Barron (2005), para avaliar o Nível Sonoro Relativo, leva em conta o fato de que os valores deste parâmetro variam significativamente com a distância fonte-receptor e a maneira como a experiência subjetiva humana reage a isto. O gráfico 45 mostra os valores de G_{mid} em função da distância entre a fonte e o receptor. Os pontos em vermelho, verde e azul representam os valores

de G_{mid} medidos para um sinal emitido pela fonte na posição F1, F2 e F3 respectivamente. A linha tracejada representa a tendência de G_{mid} para o anfiteatro Isaltino Casemiro, e é descrita pela equação 5.7.

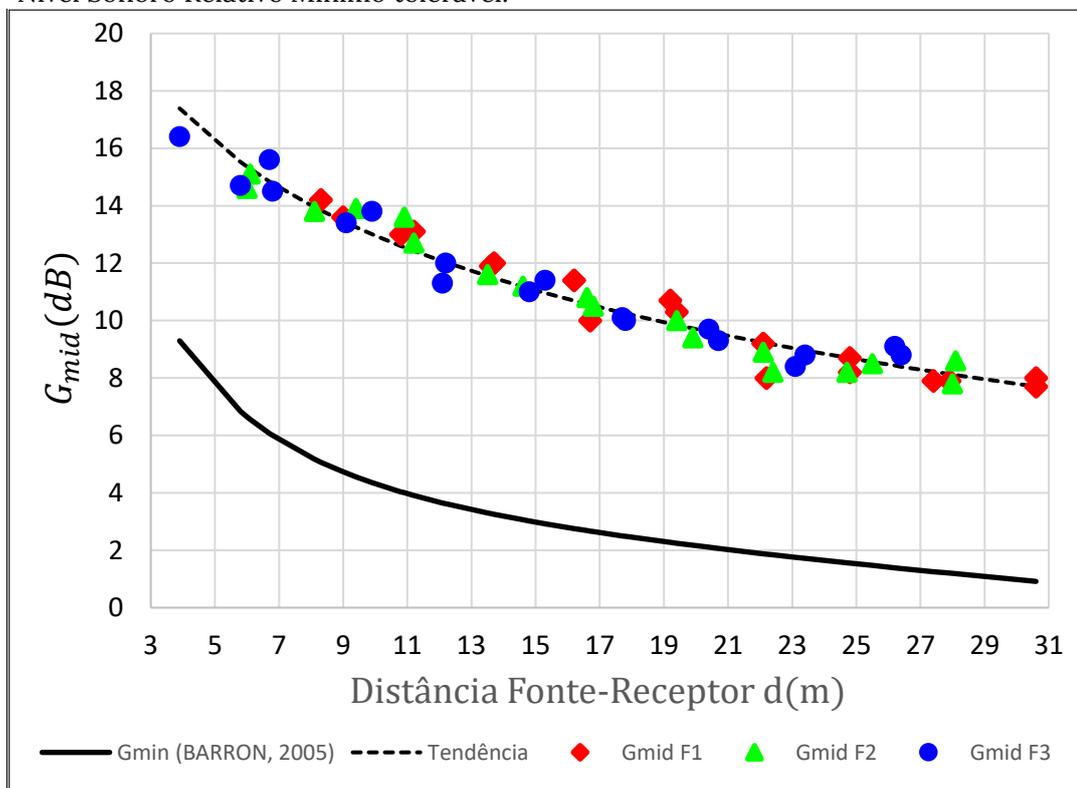
A curva em preto no gráfico 45 mostra o limite inferior proposto por Barron (2005), ou seja, o menor valor de G aceitável para uma dada distância fonte-receptor. Esta curva é descrita pela equação 5.16.

$$G_{min}(d) = 10 \log \left(\frac{100}{d^2} + 2,08e^{-0,02d} \right) \quad (5.16)$$

onde d é a distância entre a fonte e o receptor.

Analisando o gráfico 45, percebe-se que todos os valores medidos satisfazem o critério proposto por Barron (2005) para esta sala. A linha de tendência mostra que, em média, o Nível Sonoro Relativo medido está aproximadamente $+8dB$ acima do limite inferior tolerável para todos os pontos.

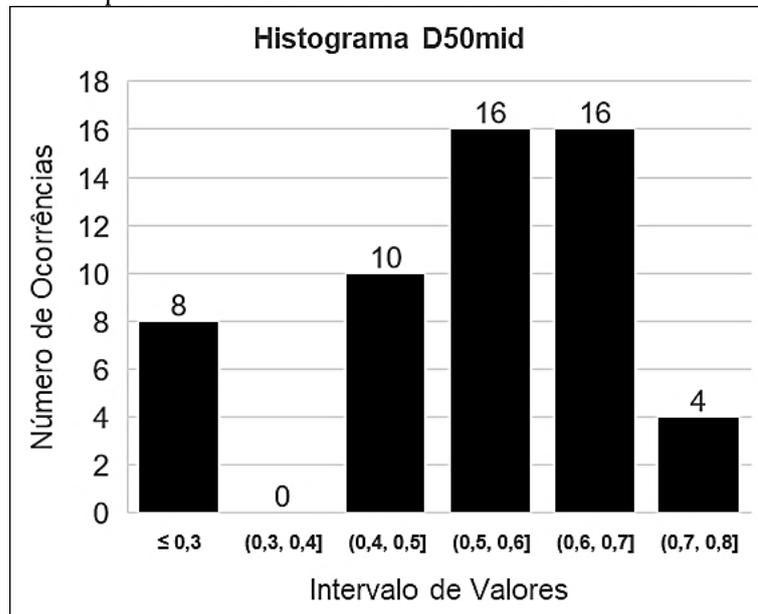
Gráfico 45 – Nível Sonoro Relativo medido em função da distância fonte-receptor e Nível Sonoro Relativo Mínimo tolerável.



5.2.6 D50 para Teatro ou Fala

O gráfico 46 é um histograma e mostra a quantidade de vezes em que o valor de $D50_{mid}$ aparece entre um determinado intervalo de valores. Este gráfico foi construído a partir de dados obtidos das 54 medições referentes a cada combinação de fonte-receptor.

Gráfico 46 -Histograma mostrando a quantidade de ocorrências do parâmetro $D50_{mid}$ em cada intervalo de valores.



Segundo Ballou (2008), considera-se adequado para fala apenas as posições onde $D50$ medido é maior do que 0,5 ou seja, 50%. O histograma do gráfico 46 mostra que 36 das 54 medições efetuadas apresentam valores de $D50_{mid}$ maior do que 0,5, o que significa que 67% dos pontos medidos satisfazem o critério de desempenho para o parâmetro $D50_{mid}$.

Das dezoito medições restantes, que não satisfazem os critérios, oito apresentam valores de $D50_{mid} = 0$, e são justamente os pontos de comportamento anômalo discutidos anteriormente (gráficos 15 a 17).

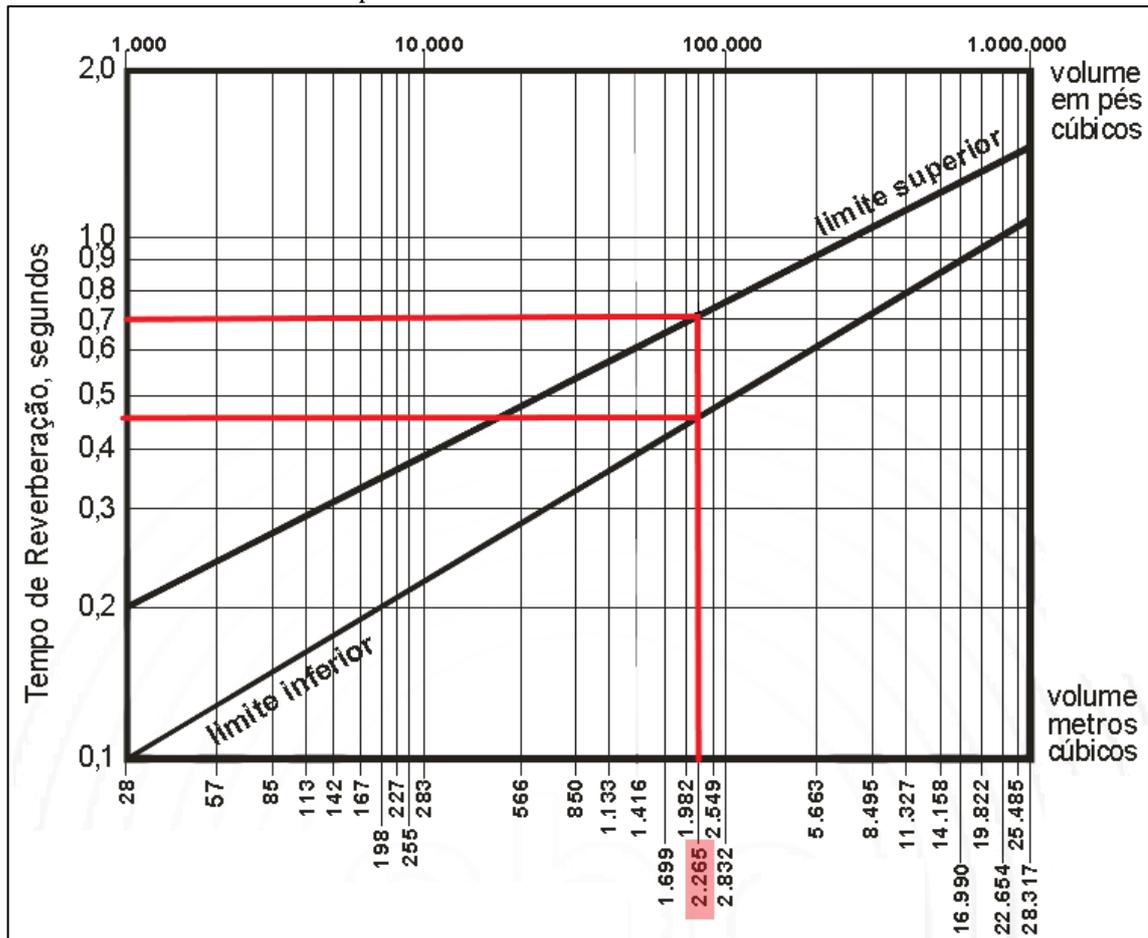
Para o autor, um critério que complementaria o critério descrito por Ballou (2008), seria conhecer a média do número de pessoas que o anfiteatro recebe e, a partir disso, estabelecer que uma porcentagem de assentos satisfaça o critério $D50_{mid} > 0,5$. Por exemplo, supondo que em média o público recebido por este anfiteatro preencha 50% dos assentos, então seria recomendado que 60% dos assentos apresentassem um valor de $D50_{mid} > 0,5$. Concomitantemente a isto, é necessário investigar a presença de pontos de comportamento anômalo e estabelecer um critério mínimo a ser atingido independentemente da quantidade de público médio. Como o anfiteatro Isaltino Casemiro apresenta pontos de comportamento anômalo, onde $D50_{mid} = 0$, fica evidente que o critério D50 não pode ser considerado satisfeito.

5.2.7 T30 para Cinema e Dança

O gráfico 47, adaptado da recomendação técnica ABC (2009), mostra os valores recomendados de Tempo de Reverberação para a banda de frequência de 500Hz em função do volume da sala para atividades envolvendo cinema. Neste trabalho, o mesmo critério também foi utilizado para avaliar o desempenho acústico do anfiteatro para dança. Isso é possível pois, em ambas as atividades, cinema e dança, a energia sonora é proveniente da reprodução de mídia em sistemas de sonorização.

No gráfico 47, estão exibidas duas linhas pretas. A primeira indica o limite superior, ou seja, o maior Tempo de Reverberação aceitável. A segunda indica o limite inferior, ou seja, o menor Tempo de Reverberação aceitável. As linhas em vermelho permitem visualizar, para o volume do Anfiteatro Isaltino Casemiro, a região recomendada para o Tempo de Reverberação, que deve estar entre os valores $0,45s < T30_{500Hz} < 0,70s$.

Gráfico 47 – Tempo de Reverberação recomendado pela ABC (2009), em função do volume. Em vermelho está o volume para o Anfiteatro Isaltino Casemiro



Fonte: Adaptado de ABC (2009)

Para saber se a sala satisfaz os critérios de recomendação propostos por ABC (2009), é necessário calcular o Tempo Reverberação médio na banda de frequência de 500Hz, $T30_{sala,500Hz}$. Este cálculo pode ser feito por meio da equação 5.17:

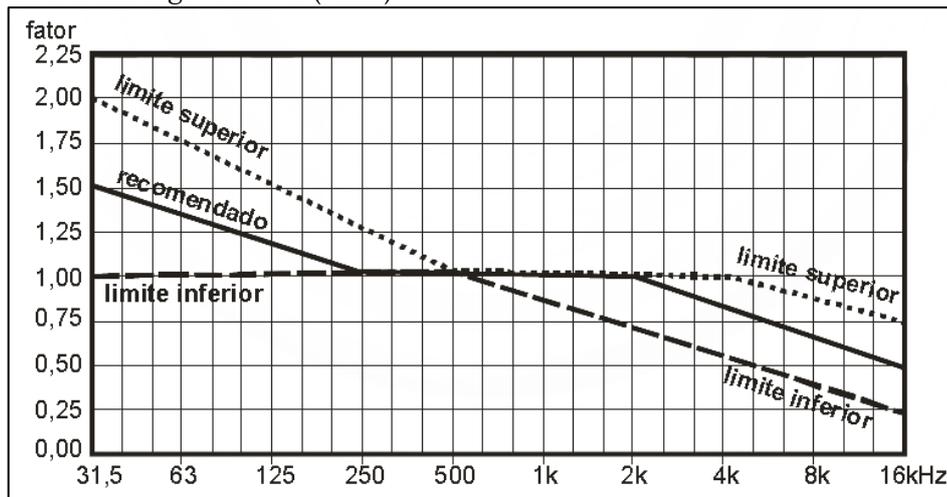
$$T30_{sala,500Hz} = \frac{\sum_j^{18} \sum_i^3 T30_{FiPj}(500Hz)}{54} \quad (5.17)$$

onde $T30_{FiPj}(500Hz)$ é o valor de $T30_{500Hz}$, medido no ponto Pj para um sinal emitido pela fonte na posição Fi . Desta forma estão contempladas todas as 54 combinações Fonte-Receptor obtidas através das medições. O Tempo de Reverberação resultante a equação 5.17 foi $T30_{sala,500Hz} = 1,17s$.

O resultado de $T30_{sala,500Hz}$ obtido por meio da equação 5.17 permite concluir que o anfiteatro Isaltino Casemiro não satisfaz o critério recomendado por ABC (2009), pois o valor encontrado é maior do que o limite superior tolerável pela norma. No entanto ainda é necessário analisar o comportamento do Tempo de Reverberação nas demais faixas de frequência.

O gráfico 48 foi retirado da recomendação técnica ABC (2009), e mostra como deve ser o comportamento das demais bandas de frequência com relação à banda de frequência de 500Hz. Neste gráfico, o eixo das ordenadas indica a razão entre o Tempo de Reverberação em uma determinada frequência e o Tempo de Reverberação na banda de 500Hz.

Gráfico 48 -Variação recomendada para o Tempo de Reverberação por faixas de oitavas segundo ABC (2009)



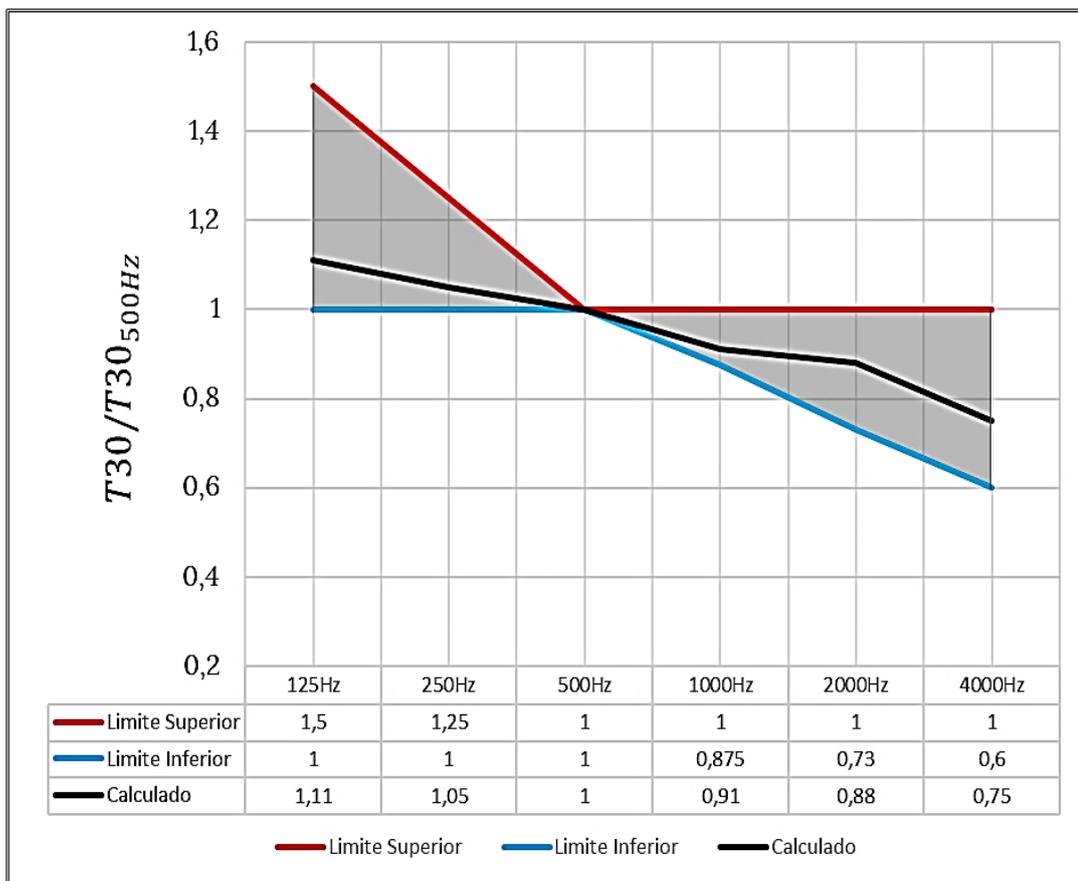
Fonte: ABC (2009)

De fato, para avaliar atividades envolvendo cinema ou qualquer outro tipo de atividade que requeira a reprodução de áudio em sistemas de sonorização, é importante analisar todas as bandas de frequência mostradas no gráfico 48. No entanto, como este trabalho não coletou dados para todas as faixas de frequência, a avaliação ficou retrita para as bandas de frequência de 125Hz e 4000Hz.

O gráfico 49 mostra como o Tempo de Reverberação no anfiteatro varia com a frequência. Neste gráfico, o eixo das ordenadas indica o valor da razão $T30_f/T30_{sala,500Hz}$. A curva em vermelho indica o limite superior, e a curva em azul

indica o limite inferior, e ambas são fornecidas pela recomendação técnica ABC (2009). A curva em preto mostra as razões calculadas utilizando os valores obtidos das medições. No cálculo das razões, o valor de $T30_f$ para cada banda de frequência foi obtido por meio do cálculo da média espacial, de forma análoga àquela apresentada pela equação 5.17.

Gráfico 49 – Variação medida do Tempo de Reverberação por faixas de frequência.



A partir do gráfico 49 pode-se concluir que, embora o Tempo de Reverberação $T30_{sala,500Hz} = 1,17s$ seja superior ao limite máximo tolerável pela recomendação técnica ABC (2009) para cinema, o comportamento ao longo do espectro de frequências satisfaz as recomendações dentro da faixa de frequências analisada.

5.2.8 G, D50, C80 e STI para Cinema e Dança

Levando em conta que as atividades de cinema ou dança podem envolver diálogos por meio de fala, os critérios adotados para os parâmetros Definição (D50), Índice de Transmissão da Fala (STI) e Nível Sonoro Relativo (G) são os mesmos que foram adotados para atividades envolvendo Teatro ou Fala. Da mesma forma, considerando que durante a exibição de cinema pode haver reprodução de música, o critério adotado para avaliar o parâmetro Índice de Clareza (C80) foi o mesmo que o critério adotado na análise de atividades musicais.

5.2.9 Análise do Nível de Ruído Residual

A norma NBR 10152:2017 possibilita analisar o Nível de Ruído Residual por meio de dois parâmetros, a curva NC e o Nível de Ruído Global medido em dB(A). Independentemente do parâmetro adotado, a norma sugere dois critérios para cada atividade, o primeiro deles faz referência ao nível de ruído para conforto e o segundo ao nível de ruído máximo tolerado.

Segundo a norma NBR 10152:2017, para garantir conforto acústico em salas de concertos e teatros, é recomendado o critério seja menor que NC25 ou que o nível de ruído residual global seja menor do que 30 dB(A). No entanto para estas atividades ainda é aceitável um nível de ruído maior desde que não ultrapasse NC30 ou 40 dB(A).

Observando o gráfico 50, é possível notar que o Anfiteatro Isaltino Casemiro não satisfaz os critérios para a prática de música ou teatro, pois a sala se enquadra na curva NC40, e, além disso, o Nível de Ruído Residual medido foi 45,6 dB(A).

Em atividades envolvendo cinema, o desempenho do anfiteatro é ainda pior, pois, segundo a recomendação técnica ABC (2009) (especialmente desenvolvida para avaliar salas de cinema), é importante que neste caso o nível de ruído residual fique entre as curvas NC20 (limite inferior) e NC30 (limite superior), assim como mostra a região em cinza no gráfico 51.

Gráfico 50 – Média espacial do Ruído Residual medido no anfiteatro (em vermelho), curvas NC recomendadas para atividades de música ou teatro (NC25 e NC30) e curva NC do anfiteatro Isaltino Casemiro (NC40).

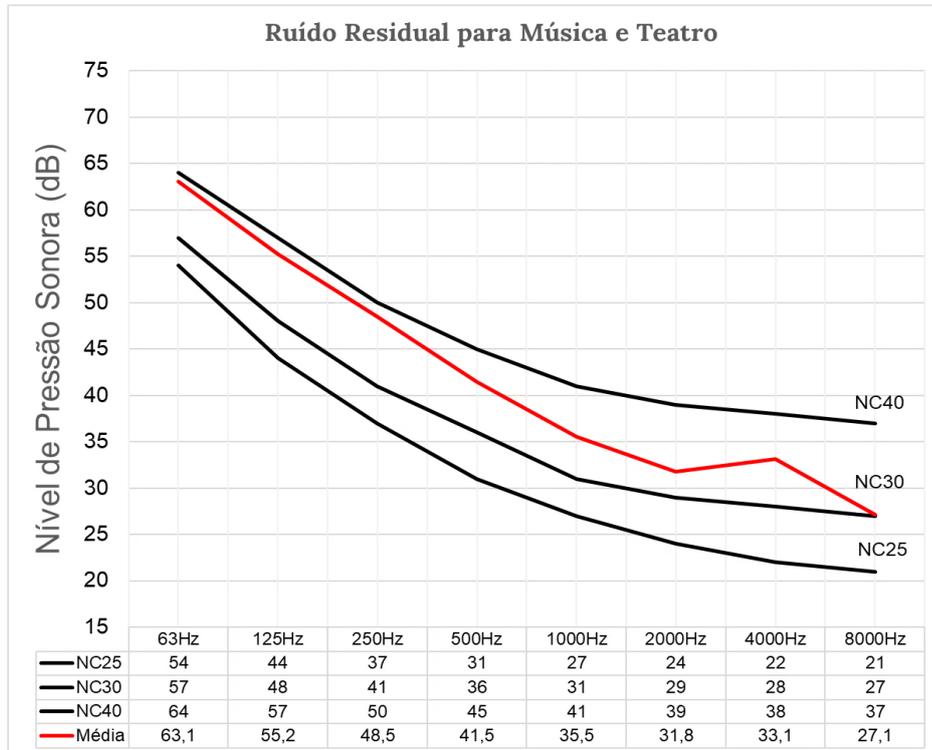
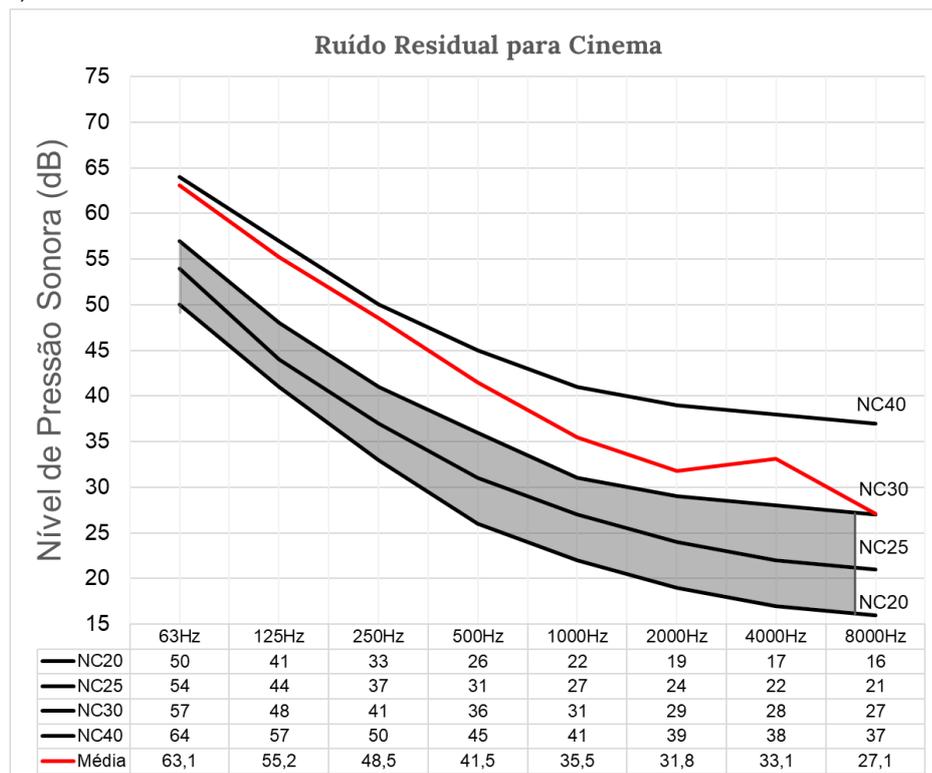


Gráfico 51 – Média espacial do Ruído Residual medido no anfiteatro (em vermelho), curvas NC recomendadas para a atividade de cinema (NC20, NC25 e NC30) e curva NC do anfiteatro Isaltino Casemiro (NC40).



Dessa forma, é necessário adotar medidas que aumentem o isolamento da sala a fim de dificultar a passagem do som externo para dentro do anfiteatro, reduzindo assim o nível de ruído residual.

5.2.10 Desempenho acústico: Considerações

A Tabela 14 resume o desempenho acústico do Anfiteatro Isaltino Casemiro em cada atividade considerada neste estudo. É possível notar que a sala satisfaz poucos critérios de desempenho acústico para alguns tipos de atividade.

Tabela 14 - Resumo do desempenho acústico do Anfiteatro Isaltino Casemiro em cada parâmetro analisado para cada tipo de atividade.

	Música Amplificada	Música Acústica Forte	Música Acústica Fraca	Cinema e Dança	Teatro e Fala
Tempo de reverberação (T30)	NÃO SATISFAZ Critério: $0,70s < T_{30_{mid,ideal}} < 0,95s$ Resultado: $T_{30_{mid,sala}} = 1,11s$	NÃO SATISFAZ Critério: $1,35s < T_{30_{mid,ideal}} < 1,70s$ Resultado: $T_{30_{mid,sala}} = 1,11s$	NÃO SATISFAZ Critério: $1,70s < T_{30_{mid,ideal}} < 2,10s$ Resultado: $T_{30_{mid,sala}} = 1,11s$	NÃO SATISFAZ Critério: $0,45s < T_{30_{mid,ideal}} < 0,70s$ Resultado: $T_{30_{mid,sala}} = 1,11s$ OBS: A variação de T30 com a frequência satisfaz os critérios sugeridos por ABC(2009)	SATISFAZ Critério: $0,88s < T_{30_{mid,ideal}} < 1,32s$ Resultado: $T_{30_{mid,sala}} = 1,11s$ OBS: A variação de T30 com a frequência satisfaz os critérios sugeridos por Ballou(2008)
Definição (D50)	NÃO APLICÁVEL			NÃO SATISFAZ Critério: $D_{50_{mid}} > 0,5$ em 60% dos pontos da sala e nenhum ponto com $D_{50_{mid}} < 0,3$. Resultado: Em 67% da sala $D_{50_{mid,sala}} > 0,5$ Em 14% da sala $D_{50_{mid,sala}} < 0,3$ A sala não satisfaz este critério pois apresenta pontos de comportamento anômalo, onde $D_{50_{mid}} < 0,3$	
Índice de Clareza (C80)	NÃO SATISFAZ 85% da sala atente o critério $C_{80_{mid}} > 1dB$, entretando os pontos onde o critério não foi atendido apresentaram valores extremamene baixos (-10,8dB; -12,5dB; -18,6dB e -46dB). A causa para o comportamento anômalo nestes pontos não pode ser bem definida, no entanto, ficou claro que existe uma forte influência da assimetria da sala.				NÃO APLICÁVEL
Índice de Transmissão da Fala (STI)	NÃO APLICÁVEL			SATISFAZ Critério: Nenhum ponto onde $STI < 0,45$ Resultado: das 54 medições em 51 delas $0,60 < STI < 0,75$ e em 3 delas $0,45 < STI < 0,60$.	
Nível Sonoro Relativo (G)	NÃO SATISFAZ Critério: $7,25dB < G_{mid,ideal} < 8,75dB$ Resultado: $G_{mid,sala} = 10,95s$	NÃO SATISFAZ Critério: $11,25dB < G_{mid,ideal} < 12,5dB$ Resultado: $G_{mid,sala} = 10,95s$	NÃO SATISFAZ Critério: $12,5dB < G_{mid,ideal} < 13,75dB$ Resultado: $G_{mid,sala} = 10,95s$	SATISFAZ Critério: $G_{mid,ideal}(d) > 10 \log \left(\frac{100}{d^2} + 2,08e^{-0,02d} \right)$ Onde d é a distância entre a fonte e o receptor. Resultado: Os valores medidos para cada distância fonte-receptor estão satisfazem o critério adotado.	
Ruído Residual (Curva NC)	NÃO SATISFAZ Critério: Ideal: NC25 Aceitável: NC30 Resultado: NC40			NÃO SATISFAZ Critério: $20 < NC < 30$ Resultado: NC40	NÃO SATISFAZ Critério: Ideal: NC25 Aceitável: NC30 Resultado: NC40

Capítulo 6

Propostas de Adaptação

Este capítulo está dividido em duas partes, a primeira parte (Seção 6.1) mostra como o modelo computacional foi validado dentro do software de simulação acústica ODEON. A segunda parte (Seção 6.2), apresenta propostas de melhoria do desempenho acústico construídas a partir do modelo validado.

6.1 SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO COMPUTACIONAL

O modelo tridimensional do Anfiteatro Isaltino Casemiro foi criado no programa *SketchUp* 2016, portanto o primeiro passo para iniciar o processo de validação foi exportar o arquivo *.skp*, gerado pelo *SketchUp*, para a extensão *.par*, que é o formato de leitura do programa ODEON. Este processo foi realizado utilizando o *plug-in* SU2ODEON.

Dentro do ODEON, foram adicionadas 3 (três) fontes emissoras e 18 (dezoito) pontos receptores. Todas as fontes e receptores foram posicionados de forma a coincidir com as posições utilizadas durante a fase de medição.

O reconhecimento das superfícies pelo ODEON foi feito utilizando a estrutura de camadas (*layers*) criada durante a elaboração do modelo tridimensional no *SketchUp*. A Figura 64 mostra o modelo utilizado durante a fase de validação. Cada cor representa uma das 12 (doze) superfícies que foram utilizadas para atribuir as propriedades acústicas dos materiais (coeficientes de absorção sonora, espalhamento e transparência) dentro do software ODEON.

A superfície da Figura 64 identificada com o nome “Desconhecido”, foi utilizada para representar objetos e materiais diversos cujas características acústicas não puderam ser estimadas. Alguns destes objetos podem ser vistos na Figura 65.

Figura 64 – Modelo de camadas construído no SketchUp 2016 e exportado para o ODEON. Cara cor indica uma camada utilizada durante a fase de validação.

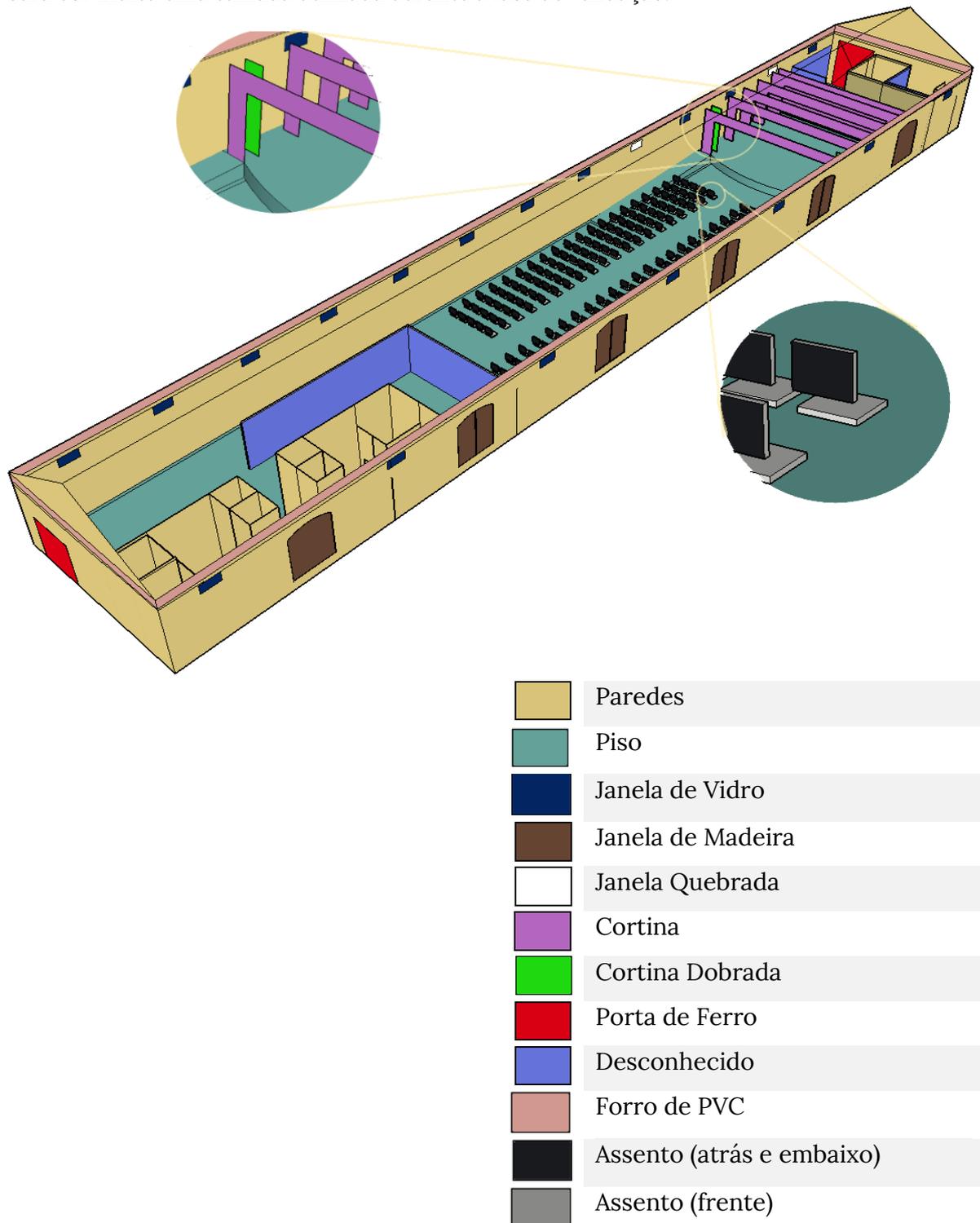


Figura 65 – Superfícies e objetos diversos, cujos coeficientes de absorção sonora não puderam ser estimadas.



O processo de validação do modelo computacional se deu em duas etapas: ajuste inicial e ajuste fino. Na etapa de ajuste inicial, estimou-se um coeficiente de absorção sonora inicial para cada uma das 12 (doze) superfícies. A primeira estimativa foi feita com base nos dados da literatura, fornecidos pelo próprio ODEON. A superfície identificada como “desconhecida” foi utilizada como primeira variável de ajuste.

Para avaliar a precisão do modelo computacional, calculou-se o erro médio ε , dado pela Equação 6.1. O erro médio é a média entre os valores absolutos das diferenças entre os valores de T30 medidos e os valores de T30 simulados. O cálculo é feito com as diferenças expressas em termos do JND do valor medido

(5% do valor medido segundo a norma ISO 3382-1). O cálculo da Equação 6.1 foi feito separadamente para cada banda de oitava de frequência e para cada fonte emissora.

$$\mathcal{E} = \frac{\sum_{n=1}^{N_{pos}} \frac{|T30_{medido}(n) - T30_{simulado}(n)|}{JND(n)}}{N_{pos}} \quad (6.1)$$

onde n é a posição do n -ésimo ponto receptor, N_{pos} é o número de pontos receptores, $JND(n)$ é o valor do JND do Tempo de Reverberação medido para o n -ésimo ponto receptor, $T30_{medido}(n)$ é o valor de T30 medido no n -ésimo ponto receptor e $T30_{simulado}(n)$ é o valor de T30 simulado no n -ésimo ponto receptor.

Uma vez calculado o erro médio, é possível calcular o erro médio global \mathcal{E}_{global} , que é a média entre os erros para cada banda de frequência. Idealmente um modelo estaria validado se o valor do erro médio global for menor do que 1 JND, pois isto indica que a diferença é imperceptível para o ouvido humano. Contudo, segundo Brinkmann et al. (2019) uma diferença de até 2 JND é tolerável.

O ajuste inicial foi feito variando os coeficientes de absorção sonora manualmente, com o objetivo de reduzir ao máximo o valor do erro médio em cada banda de frequência. Em seguida partiu-se para segunda etapa, o ajuste fino. Esta etapa foi realizada utilizando o “Algoritmo Genético” embutido no software ODEON. Para isto foi necessário informar os valores medidos ao programa, que os compara aos valores simulados e busca, por meio de um algoritmo interno, otimizar os valores dos coeficientes de absorção sonora e reduzir o erro médio da simulação para cada banda de frequência.

A Tabela 15 mostra os valores dos erros médios e do erro médio global para cada posição de fonte emissora. Os resultados obtidos para o erro médio global satisfazem o critério de validação. O erro médio para as bandas de frequência de 500Hz a 4000Hz foi menor do que 1 JND. Na região das baixas frequências o erro foi maior.

Tabela 15 - Erro médio e erro global em termos de JND para cada posição de fonte emissora

	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	Global
F1	1,32	1,10	0,57	0,90	0,75	0,68	0,89
F2	2,24	1,44	0,68	0,85	0,36	0,62	1,03
F3	2,52	1,18	0,87	0,76	0,81	0,86	1,17

Os gráficos das Figuras 66 a 71 mostram, para cada banda de frequência, os valores de T30 medidos (em verde) e simulados (em azul) em função do ponto receptor, para fonte na posição F1 (a), F2 (b) e F3 (c). As curvas em vermelho representam o valor de +2 JND (curva superior) e -2 JND (curva inferior). A análise destes gráficos mostra a divergência do comportamento das curvas para baixa frequência, região do espectro sonoro onde os resultados da simulação mais divergem dos resultados simulados.

Figura 66 - T30 simulado (azul) e medido (verde) em função do ponto receptor para a banda de 125Hz com a fonte na posição (a) F1 (b) F2 (c) F3. curvas em vermelho representam o intervalo de ± 2 JND.

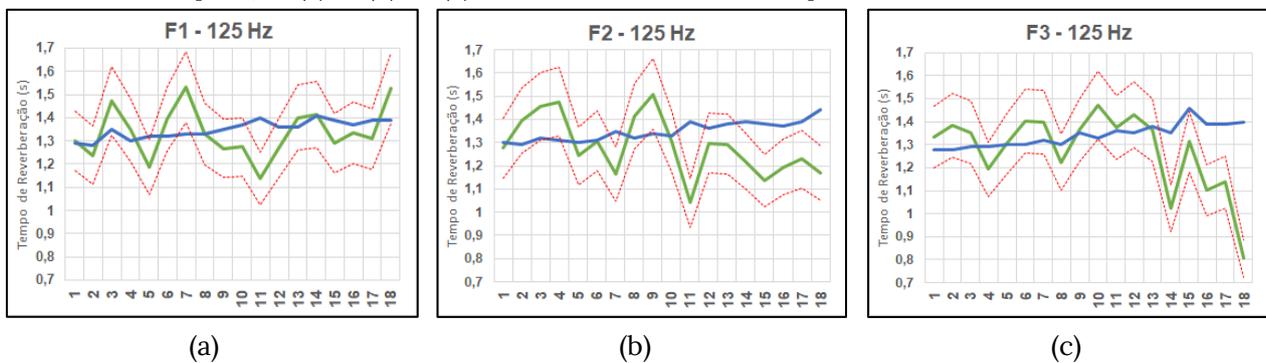


Figura 67 - T30 simulado (azul) e medido (verde) em função do ponto receptor para a banda de 250Hz com a fonte na posição (a) F1 (b) F2 (c) F3. curvas em vermelho representam o intervalo de ± 2 JND.

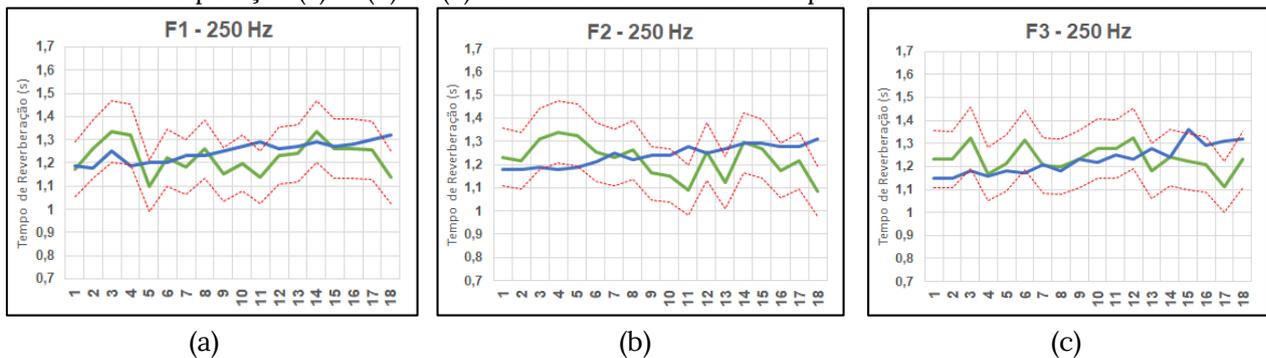


Figura 68 - T30 simulado (azul) e medido (verde) em função do ponto receptor para a banda de 500Hz com a fonte na posição (a) F1 (b) F2 (c) F3. curvas em vermelho representam o intervalo de ± 2 JND.

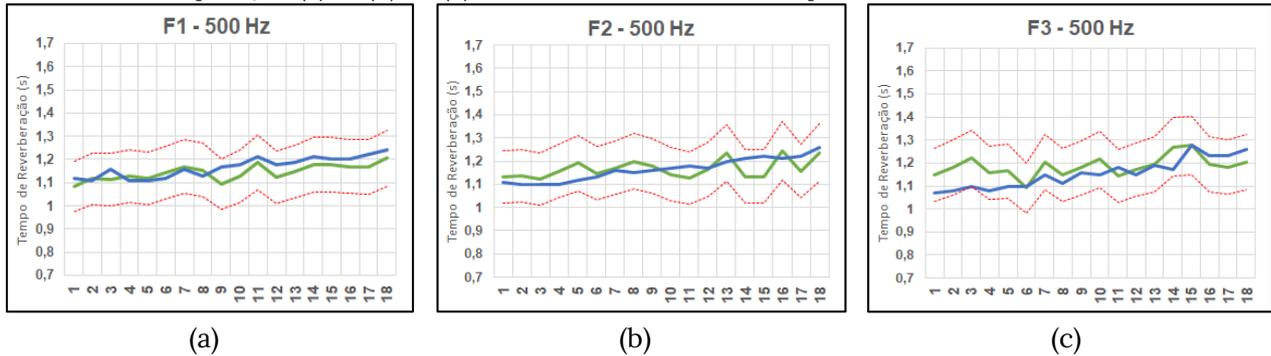


Figura 69 - T30 simulado (azul) e medido (verde) em função do ponto receptor para a banda de 1kHz com a fonte na posição (a) F1 (b) F2 (c) F3. curvas em vermelho representam o intervalo de ± 2 JND.

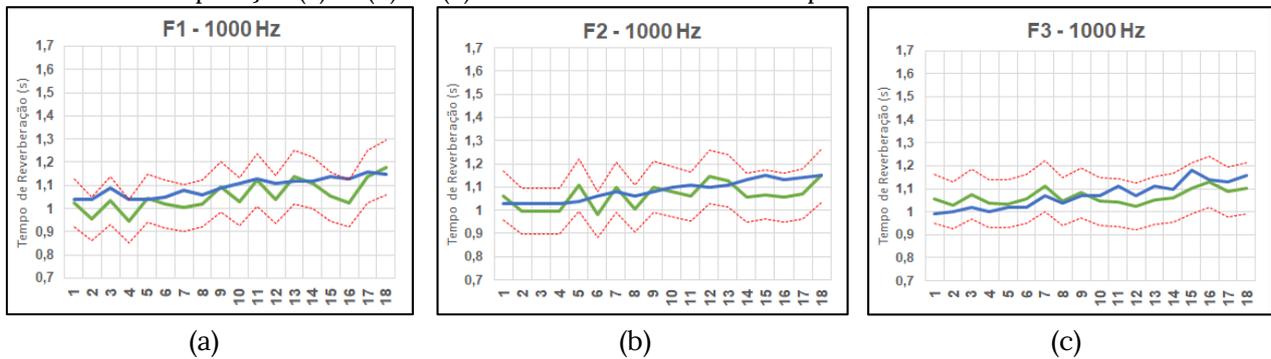


Figura 70 - T30 simulado (azul) e medido (verde) em função do ponto receptor para a banda de 2kHz com a fonte na posição (a) F1 (b) F2 (c) F3. curvas em vermelho representam o intervalo de ± 2 JND.

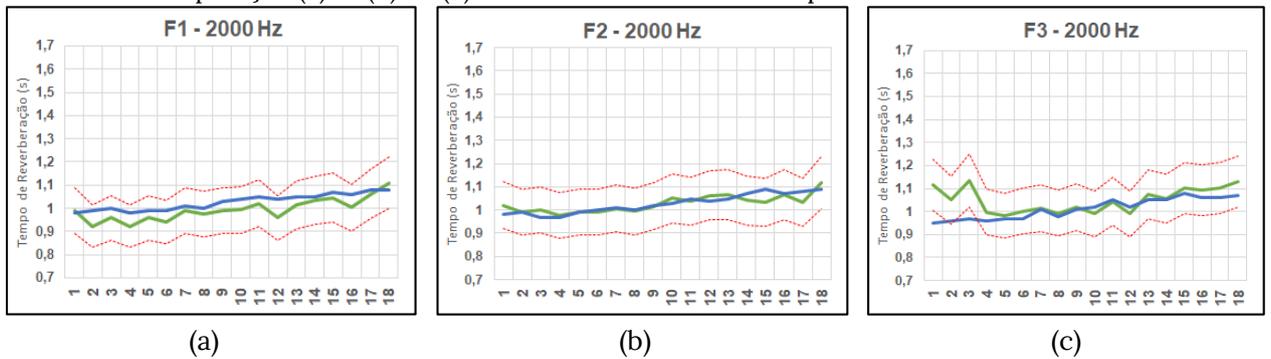
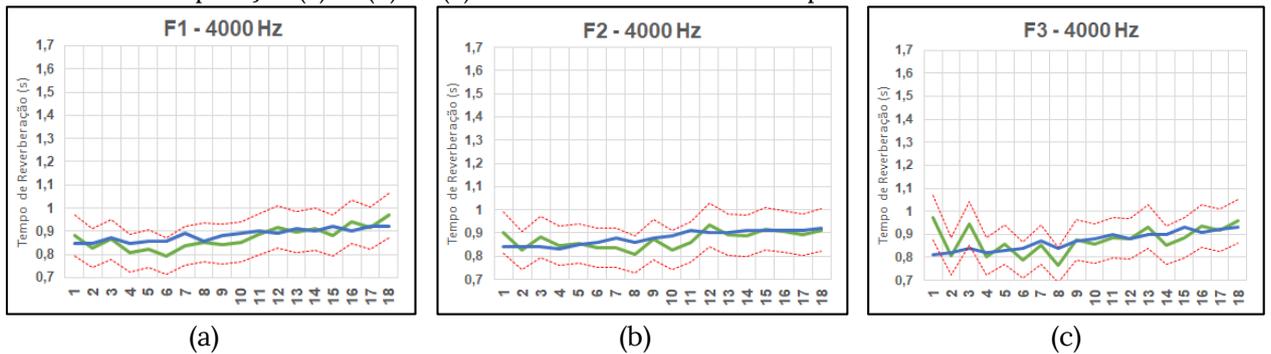


Figura 71 - T30 simulado (azul) e medido (verde) em função do ponto receptor para a banda de 4kHz com a fonte na posição (a) F1 (b) F2 (c) F3. curvas em vermelho representam o intervalo de ± 2 JND.



A Tabela 16 mostra os valores dos coeficientes de absorção sonora das superfícies após a validação do modelo.

Tabela 16 - Coeficientes de absorção sonora após a validação do modelo computacional.

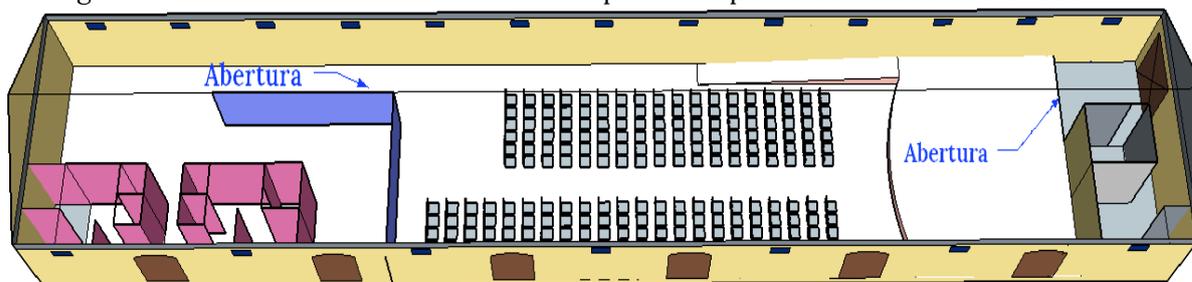
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
	Paredes	0,007	0,007	0,019	0,026	0,044	0,051
	Piso	0,010	0,010	0,010	0,020	0,020	0,020
	Janela de Vidro	0,080	0,040	0,030	0,030	0,020	0,020
	Janela de Madeira	0,148	0,154	0,156	0,199	0,328	0,120
	Janela Quebrada	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Cortina	0,018	0,123	0,064	0,167	0,521	0,360
	Cortina Dobrada	0,076	0,102	0,655	0,804	0,698	0,843
	Porta de Ferro	0,025	0,025	0,010	0,010	0,010	0,010
	Desconhecido	0,945	0,632	0,695	0,643	0,535	0,688
	Forro de PVC	0,295	0,341	0,295	0,243	0,174	0,246
	Assento (atrás e embaixo)	0,389	0,359	0,647	0,603	0,438	0,526
	Assento (frente)	0,245	0,354	0,429	0,638	0,680	0,747

Para a validação do modelo, além da atribuição dos coeficientes de absorção, foi utilizado um coeficiente de transparência igual a 60% para as cortinas.

6.2 ADAPTAÇÃO PARA SALA MULTIUSO

Inicialmente duas intervenções foram sugeridas para otimizar o desempenho acústico do Anfiteatro Isaltino Casemiro: a retirada do forro de PVC e o fechamento das aberturas atrás da área da audiência e atrás do palco, presentes atualmente no auditório conforme mostra a Figura 72.

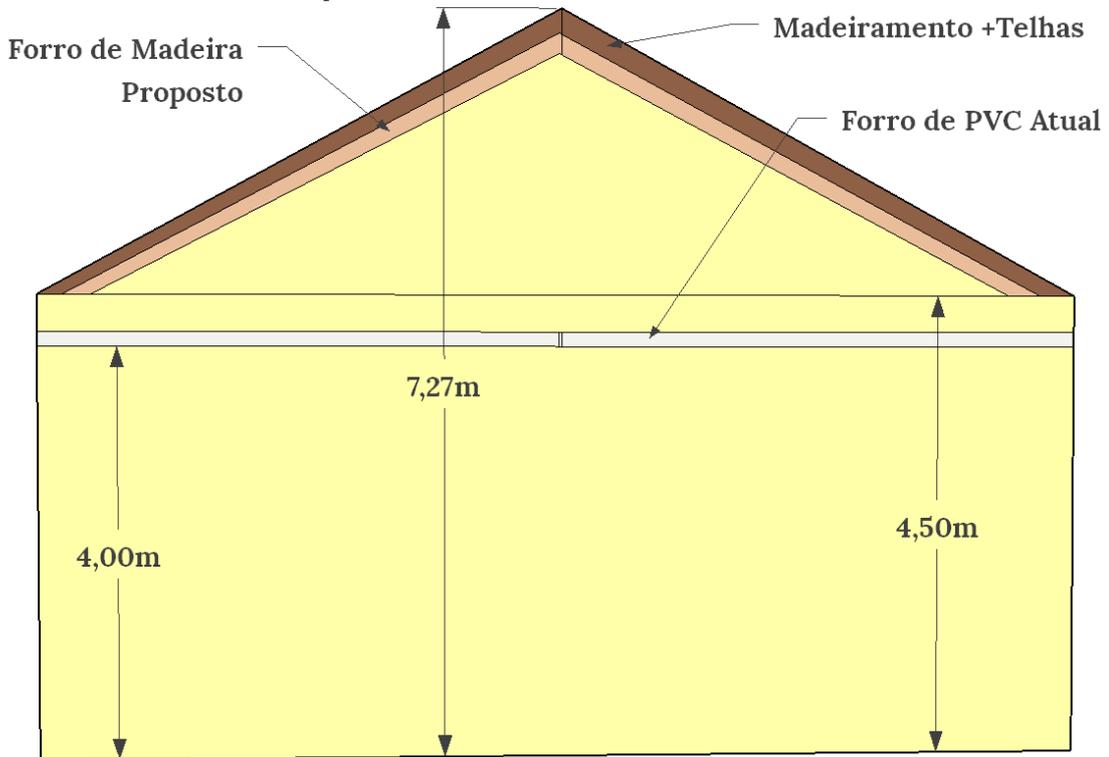
Figura 72 – Aberturas localizadas no lado esquerdo do ponto de vista da audiência.



A primeira intervenção (retirada do forro de PVC) garante um pé direito mais alto para a sala e, conseqüentemente, reduz a intensidade sonora de algumas frequências de ressonância audíveis na região das baixas frequências. Outro efeito da retirada do forro é a redução do *flutter echo*¹, uma vez que, com esta intervenção, a superfície do forro deixa de ficar paralela ao piso do palco. No lugar do forro de PVC, a proposta é utilizar um forro de madeira acompanhando a estrutura do madeiramento onde se apoiam as telhas, assim como mostra a Figura 73.

¹ Repetidas reflexões entre duas superfícies paralelas.

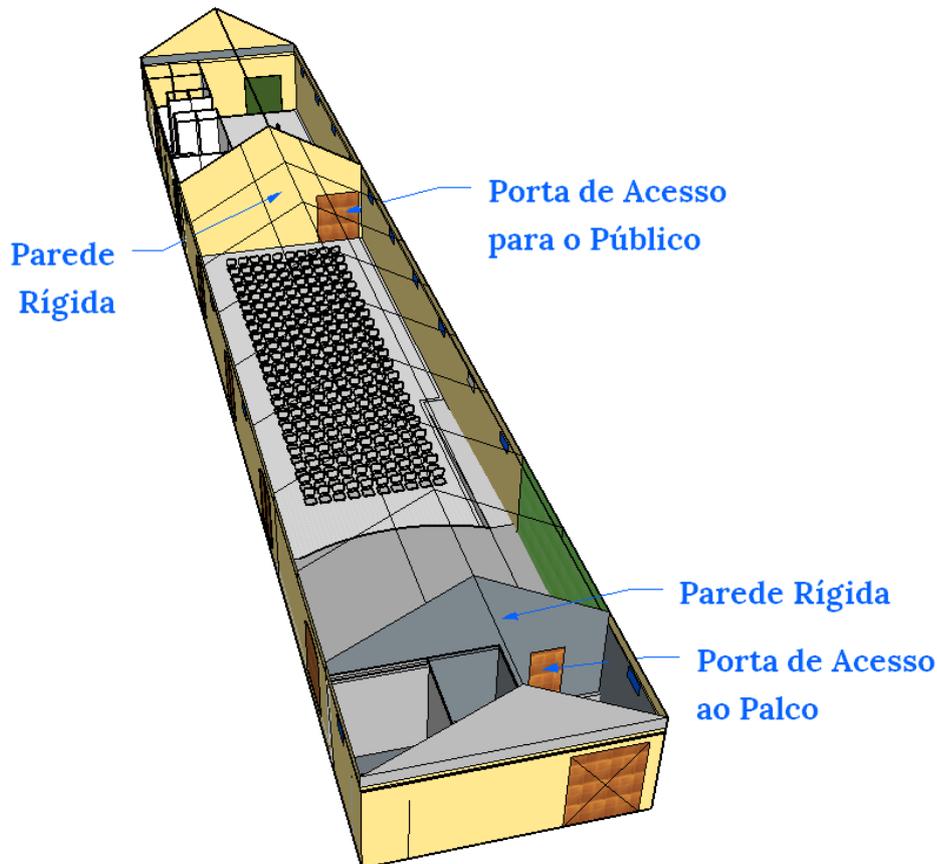
Figura 73 – Proposta de alteração do forro de PVC para um forro de madeira acompanhando o madeiramento que sustenta as telhas.



O resultado da segunda intervenção proposta, fechar as aberturas indicadas na Figura 72, pode ser visualizado na Figura 74, que mostra uma parede rígida com portas de acesso atrás da região da audiência e outra atrás da região do palco. Em ambas as paredes, não há aberturas. O principal objetivo desta segunda intervenção é mitigar os efeitos indesejáveis que a assimetria da sala provoca no som dentro do auditório, efeitos estes já investigados no Capítulo 5, Seção 5.1.4.

Ao observar a Figura 74, também é possível notar que a posição dos assentos foi alterada. Diferentemente da disposição anterior, mostrada na Figura 72, o corredor central entre os assentos foi substituído por dois corredores laterais. A razão para esta mudança será esclarecida ainda neste capítulo.

Figura 74 – Modelo tridimensional do anfiteatro com a substituição das aberturas por paredes rígidas e com a retirada do forro PVC.



Com a primeira intervenção (retirada do forro PVC), há um incremento no volume interno do anfiteatro. Por outro lado, a segunda intervenção (fechando das aberturas) reduz o espaço de propagação do som na sala de apresentação, diminuindo o volume desta região. Com ambas as intervenções, o volume resultante na região do anfiteatro destinada às apresentações passa a ser 2200m^3 , e a área interna passa a ser 1110m^2 . Observe que o volume resultante é próximo do volume atual, que vale 2398m^3 , dessa forma é possível adotar os mesmos critérios utilizados no Capítulo 5, Seção 5.2, que estão resumidos na Tabela 14 da Seção 5.10.

A terceira intervenção proposta para o Anfiteatro Isaltino Casemiro leva em conta a projeção de uso deste espaço para múltiplas funções: música acústica fraca e forte, música amplificada, teatro, fala e cinema. Por ser um espaço multiuso, é importante que exista a possibilidade de modificar as características acústicas da sala de acordo com a atividade que se deseja realizar. Para isso é preciso

buscar formas de influenciar os parâmetros acústicos estudados: Tempo De Reverboração (T30), Nível Sonoro Relativo (G), Índice de Clareza (C80), Definição (D50) e Índice de Transmissão da Fala (STI).

Uma forma de influenciar os valores dos parâmetros acústicos é estabelecer mecanismos para variar a absorção média da sala α_m . A primeira forma proposta para este fim é a instalação de cortinas defronte à parede que está atrás do palco e defronte à parede que está atrás da audiência. Com a possibilidade de abrir ou fechar as cortinas, é possível variar o coeficiente de absorção da área das paredes localizadas no fundo do palco e da audiência.

A segunda forma de modificar o coeficiente de absorção médio da sala é construir um sistema que permita subir ou descer painéis com duas faces, uma reflexiva e a outra com alto coeficiente de absorção sonora. Esse movimento pode ser feito por meio de um eixo de rotação acoplado à aresta formada entre o telhado e as paredes. A ideia é que, enquanto o painel estiver abaixado, a face absorvente fique defronte à parede, e a face reflexiva fique voltada para a região da audiência. Ao subir o painel, a face reflexiva deve ficar defronte ao forro, e a face absorvente ficará voltada para a região da audiência. Considerando que tanto o forro quanto as paredes são superfícies reflexivas, ao levantar o painel móvel haverá um aumento na absorção média da sala, o que conseqüentemente modificará os valores dos parâmetros acústicos. Além disso, o volume da sala permanecerá igual, o que é fundamental, visto que alguns critérios de desempenho acústico variam com o volume.

O resultado do sistema descrito pode ser visto nas Figuras 75 e 76, onde é possível ver as cortinas no fundo do audiência e do palco respectivamente bem como os painéis se movimentando. Nestas figuras, as faces em verde representam faces com alto coeficiente de absorção sonora. Note, na

Figura 76, que foi utilizado material absorvente nas paredes laterais localizadas na região do palco, bem como em algumas regiões do forro. A presença destes materiais nestas regiões foi importante para conseguir atender aos critérios de desempenho adotados.

Figura 75 – Modelo do anfiteatro com a instalação de painéis móveis e da cortina no fundo região de audiência. As superfícies em verde indicam material com alto coeficiente de absorção sonora

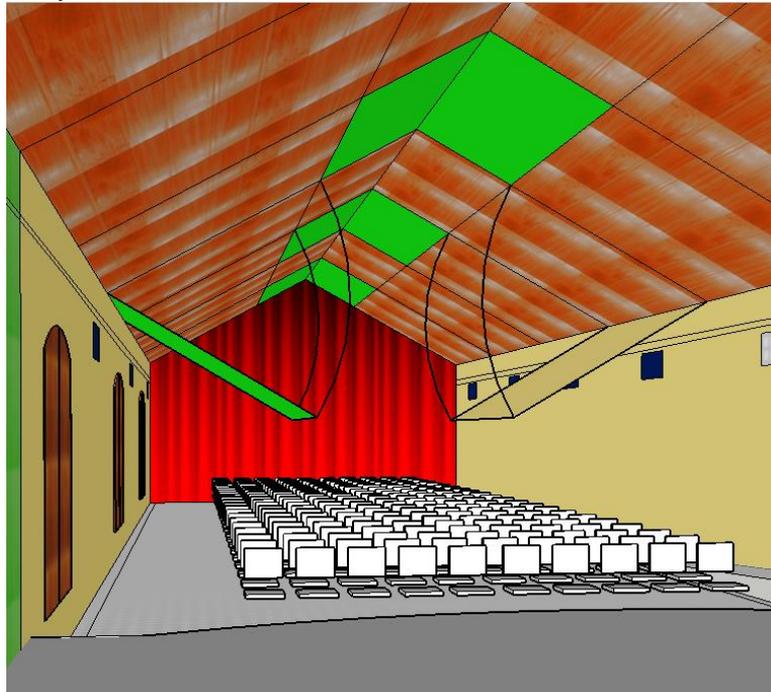
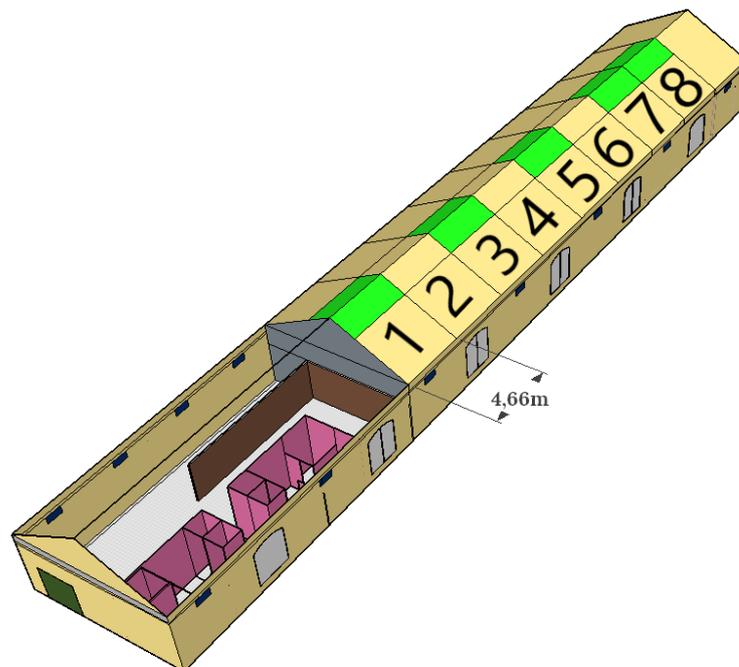


Figura 76 – Modelo do anfiteatro com a instalação de painéis móveis e da cortina no fundo atrás do palco. As superfícies em verde indicam material com alto coeficiente de absorção sonora



Para conseguir uma maior variabilidade na absorção sonora da sala foram propostos oito pares de painéis móveis distribuídos entre oito regiões do forro. Na Figura 77, é possível ver as oito regiões escolhidas e os painéis 7 e 8 posicionados sobre a área do palco. Observe que a largura de cada painel móvel vale 4,66m. As áreas em verde na Figura 77 indicam as regiões do forro com material absorvente. Note que, para manter a simetria na sala, é importante que os painéis de cada uma das oito regiões se movimentem sempre em pares.

Figura 77 – Forro repartido em oito regiões. Em cada região está um par de painéis móveis. As superfícies em verde indicam alto coeficiente de absorção sonora.



A Figura 78, é um recorte que representa as regiões 2, 4 e 6 indicadas na Figura 77. Através desse recorte, é possível perceber que cada painel móvel tem 3,9m de comprimento e 4,66m de largura. O comprimento do painel garante que ele não encoste nos assentos ao se movimentar desde que os assentos fiquem a pelo menos 1,42m de distância das paredes. Contudo, para que se tenha alguma margem de erro, adotou-se uma distância mínima entre os assentos e as paredes laterais de 1,85m. Dessa forma é possível conseguir dois corredores laterais com 1,85m de largura centralizando os assentos da forma como mostra a Figura 78.

A Figura 79 é um recorte que representa as regiões 7 e 8, regiões acima da área do palco. As faces em verde indicam que a superfície possui alto coeficiente de absorção sonora. Note que o efeito no aumento da absorção sonora é maior quando os painéis das regiões 7 e 8 se levantam do que quando os painéis das demais regiões se levantam. Isso acontece pois, nesse caso, além de expor a face absorvente do painel móvel, ao levantar os painéis das regiões 7 e 8, também se expõe a face absorvente da própria parede.

Figura 78 – Recorte representado as regiões 2, 4 e 6 da Figura 77.

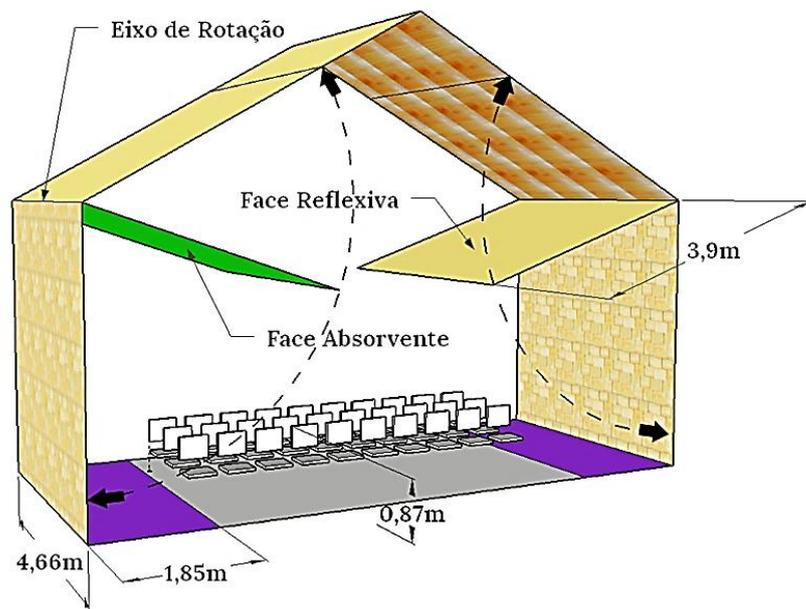
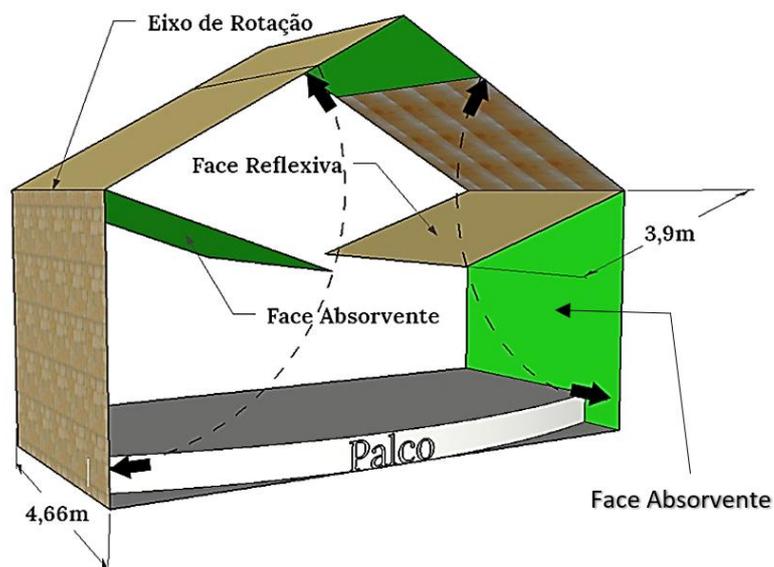


Figura 79 – Recorte representado as regiões 7 e 8 da Figura 77



O sistema de cortinas e painéis móveis permite modificar o coeficiente de absorção médio da sala e influenciar os parâmetros acústicos de acordo com a atividade planejada. Isso pode ser feito combinando a disposição dos painéis e das cortinas. A menor absorção média acontece na configuração em que as duas cortinas estão abertas e todos os oito painéis estão abaixados. A maior absorção média acontece na configuração oposta, ou seja, com as duas cortinas fechadas e todos os oito painéis levantados.

Diversas combinações são possíveis, no entanto, este trabalho buscou encontrar configurações que satisfaçam os critérios adotados (Tabela 14 da seção 5.10) para as atividades de: música acústica fraca e forte, música amplificadas, teatro, fala, cinema e dança.

Para estudar as configurações apropriadas para cada tipo de atividade, foram feitas simulações com software ODEON. Todas as intervenções simuladas foram feitas sobre o modelo validado (Seção 6.1). Além disso, nas simulações foram mantidas as 18 (dezoito) posições de receptores e as 3 (três) posições de fonte utilizadas na fase de medição e de validação do modelo.

O material absorvente sonoro escolhido foi a Lã de Pet com espessura de 50mm e densidade igual 32kg/m^3 . Este foi o material utilizado na simulação da face absorvente dos painéis móveis e nas paredes laterais do palco. Para o forro de madeira e para as cortinas, adotaram-se os coeficientes de absorção sonora em função de bandas de oitava de frequência apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - Coeficientes de absorção sonora adotados na simulação com os painéis móveis, forro de madeira e cortinas.

	63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Cortinas ($0,2\text{ kg/m}^2$, afastadas 90mm da parede)	0.050	0.050	0.060	0.390	0.630	0.700	0.730	0.730
La de PET 32kg/m^3 50mm	0.380	0.380	0.630	0.910	0.940	0.920	0.980	0.980
Telhado de Madeira + Ar + Telha cerâmica	0.124	0.046	0.010	0.030	0.001	0.032	0.005	0.005

Para cada configuração simulada, o software ODEON forneceu dados de Tempo de Reverberação ($T30$), Índice de Clareza ($C80$), Definição ($D50$) e Índice de Transmissão da Fala (STI) para cada uma das 54 combinações de fonte e receptor.

A partir dos dados fornecidos pelo ODEON, calcularam-se para cada configuração os seguintes parâmetros, nessa ordem:

- (i) A média espacial dos valores de Tempo de Reverberação $T30_{mid}$ ($T30_{mid,sala}$), utilizando a equação 5.9, do capítulo 5, seção 5.2.1.
- (ii) A absorção média da sala α_m , utilizando o valor de $T30_{mid,sala}$ calculado no item (i) e a equação 5.11, do capítulo 5, seção 5.2.2.
- (iii) A média espacial do Nível Sonoro Relativo G_{mid} ($G_{mid,sala}$), utilizando o valor de α_m calculado no item (ii) e a equação 5.10, do capítulo 5, seção 5.2.2.
- (iv) A quantidade de vezes em que o valor de $C80_{mid}$ simulado foi maior do que $-1,6\text{dB}$. Este valor foi expresso em porcentagem, considerando o total de 54 combinações fonte-receptor.
- (v) A média espacial $C80_{mid,sala}$ entre os valores de $C80_{mid}$ simulados.
- (vi) A quantidade de vezes em que o valor de $D50_{mid}$ simulado ficou acima de 0,5 e a quantidade de vezes em que $D50_{mid}$ simulado ficou abaixo de 0,3. Ambas as quantidades foram expressas em porcentagem, considerando o total de 54 combinações fonte-receptor.
- (vii) A quantidade de vezes em que o valor de STI simulado foi maior do que 0,45. Este valor foi expresso em porcentagem, considerando o total de 54 combinações fonte-receptor.

É importante lembrar que, nos cálculos dos itens (i), (ii) e (iii), foram utilizados o volume e a área interna do anfiteatro considerando as intervenções de retirada do forro de PVC e fechamento das aberturas atrás da audiência e atrás do palco. Dessa forma o volume utilizado nos cálculos foi 2200m^3 e a área interna utilizada foi 1110m^2 .

As Tabelas 18, 19, 20 e 21 mostram os resultados obtidos para quatro configurações diferentes. A coluna central das tabelas informa as disposições dos painéis móveis e das cortinas. A imagem na coluna à esquerda ilustra os painéis levantados (representados em verde) para melhor visualização. A coluna à direita apresenta os valores dos parâmetros obtidos respeitando a ordem dos parâmetros proposta.

Tabela 18 – Configuração 1, disposição e resultados.

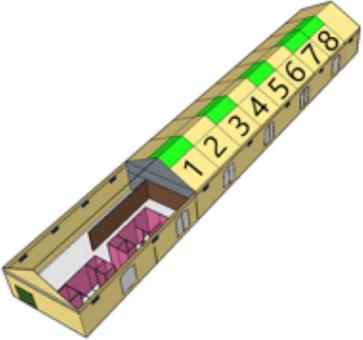
CONFIGURAÇÃO 1		
	Painéis Levantados	(i) $T30_{mid,sala}$ 1,69s
	Nenhum	(ii) α_m 0,1873
		(iii) $G_{mid,sala}$ 12,94dB
		(iv) $C80_{mid}>-1,6dB$ 100%
	Cortina Audiência	(v) $C80_{mid,sala}$ 0,4dB
	ABERTA	(vi) $D50_{mid}>0,5$ 0%
	Cortina Palco	
ABERTA	(vii) $STI<0,45$ 0%	

Tabela 19 – Configuração 2, disposição e resultados.

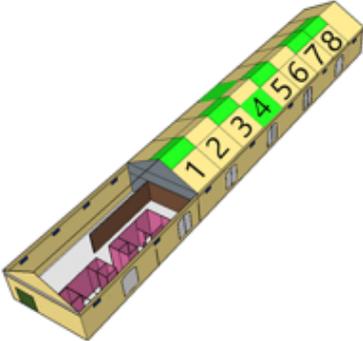
CONFIGURAÇÃO 2		
	Painéis Levantados	(i) $T30_{mid,sala}$ 1,5s
	Apenas o painel 4	(ii) α_m 0,2111
		(iii) $G_{mid,sala}$ 12,29dB
		(iv) $C80_{mid}>-1,6dB$ 100%
	Cortina Audiência	(v) $C80_{mid,sala}$ 1,6dB
	FECHADA	(vi) $D50_{mid}>0,5$ 0%
	Cortina Palco	
ABERTA	(vii) $STI<0,45$ 0%	

Tabela 20 - Configuração 3, disposição e resultados.

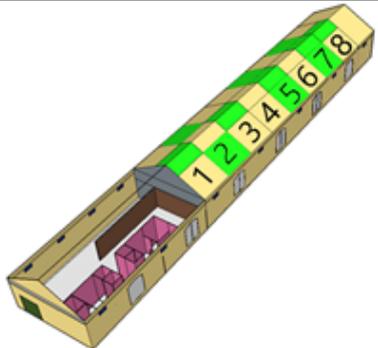
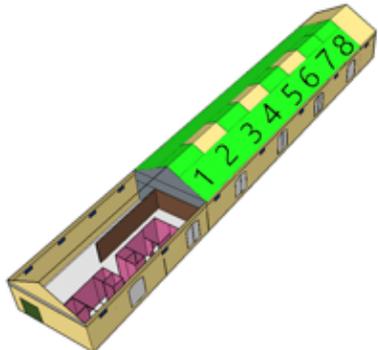
CONFIGURAÇÃO 3			
	Painéis Levantados	(i)	$T30_{mid,sala}$ 1,1s
	2, 5 e 7	(ii)	α_m 0,2878
		(iii)	$G_{mid,sala}$ 10,5dB
		(iv)	$C80_{mid}>-1,6dB$ 100%
		Cortina Audiência	(v)
	FECHADA	(vi)	$D50_{mid}>0,5$ 85%
	Cortina Palco		$D50_{mid}<0,3$ 0%
FECHADA	(vii)	$STI<0,45$ 0%	

Tabela 21 - Configuração 4, disposição e resultados.

CONFIGURAÇÃO 4			
	Painéis Levantados	(i)	$T30_{mid,sala}$ 0,88s
	Todos	(ii)	α_m 0,3598
		(iii)	$G_{mid,sala}$ 9,07dB
		(iv)	$C80_{mid}>-1,6dB$ 100%
		Cortina Audiência	(v)
	FECHADA	(vi)	$D50_{mid}>0,5$ 100%
	Cortina Palco		$D50_{mid}<0,3$ 0%
FECHADA	(vii)	$STI<0,45$ 0%	

O capacidade que o sistema proposto tem de variar as características acústicas da sala pode ser observada comparando as configurações 1 e 4, que são configurações com características opostas. No primeiro caso, a absorção média é a menor possível ($\alpha_m = 0,1873$) e o Tempo de Reverberação é o maior possível, $T30_{mid,sala} = 1,69s$. No segundo caso, a absorção média é a maior possível, $\alpha_m = 0,3598$, e o Tempo de Reverberação é o menor possível $T30_{mid,sala} = 0,88s$.

Comparando os valores dos parâmetros acústicos em cada uma das quatro configurações com os critérios estabelecidos na Tabela 14 da Seção 5.10, é possível notar que a variabilidade na absorção média da sala ampliou as possibilidades de adequação do espaço para as diversas atividades propostas:

- **Configuração 1:** Os valores obtidos (Tabela 18) satisfazem os critérios adotados para a prática de Música Acústica Fraca, embora o Tempo de Reverberação, $T30_{mid,sala} = 1,69s$, esteja $0,01s$ abaixo do limite mínimo recomendado ($1,7s$), esta diferença é muito pequena considerando que o JND para o Tempo de Reverberação vale 5%, segundo a norma ISO 3382-1.
- **Configuração 2:** Os valores obtidos (Tabela 19) satisfazem os critérios para Música Acústica Forte.
- **Configuração 3:** Os valores obtidos (Tabela 20) satisfazem os critérios adotados para a Teatro e Fala, no entanto, a análise do Nível Sonoro Relativo não pôde ser feita em função da distância fonte-receptor (d), pois o software ODEON não forneceu dados para este parâmetro.
- **Configuração 4:** Os valores obtidos (Tabela 21) satisfazem os critérios adotados para a prática de Música Amplificada, com exceção do Nível Sonoro Relativo, $G_{mid,sala} = 9,07dB$, que está $0,32dB$ acima do limite máximo recomendado ($8,75dB$). Esta configuração também satisfaz os critérios para Cinema e Dança, com exceção do Tempo de Reverberação $T30_{mid,sala} = 0,88s$ que está $0,11s$ segundos acima dos limite máximo recomendado para esta atividade, além disso a análise do Nível Sonoro Relativo não pôde ser feita em função da distância fonte-receptor (d). Apesar de todos os critérios não estarem satisfeitos, esta configuração é a que mais se aproxima dos critérios adotados para atividades envolvendo Música Amplificada, Cinema e Dança.

Embora as intervenções não satisfaçam todos os critérios recomendados para cada atividade, é possível estabelecer uma relação entre as atividades e suas respectivas configurações apropriadas. Esta relação pode ser vista na Tabela 22.

Tabela 22 – Configuração apropriada para cada atividade considerada

Configuração	Atividade Apropriada
1	- Música Acústica Fraca
2	- Música Acústica Forte
3	- Teatro e Fala
4	- Música Amplificada / Cinema e Dança

Capítulo 7

Conclusão

O objetivo desta dissertação foi conhecer o potencial acústico do Anfiteatro Isaltino Casemiro e propor melhorias levando em conta a sua condição de sala de múltiplos usos (música, fala, teatro, cinema e dança). A principal motivação para a escolha deste anfiteatro como objeto de estudo foi o fato de se tratar de uma construção de valor histórico que fez parte da história da ferrovia na cidade de Porto Ferreira – SP, tendo participado do Ciclo do Café, período de forte crescimento econômico para o Brasil.

Os parâmetros acústicos escolhidos para avaliar o auditório foram o Tempo de Reverberação (T30), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Índice de Clareza (C80), Nível Sonoro Relativo (G), Definição (D50) e Índice de Transmissão da Fala (STI). A grande dificuldade que se encontra ao avaliar os dados de parâmetros acústicos para salas de menor porte como o Anfiteatro Isaltino Casemiro é o fato de que, atualmente, a maior parte dos estudos existentes envolvendo estes parâmetros estão voltados para salas de grande porte. Dessa forma, a demanda por estudos dedicados a buscar critérios objetivos para prédios de menor porte é muito grande, visto que estas construções representam a maior parte.

Atualmente, a norma norueguesa NS 8178:2014 é uma alternativa válida para a adoção de critérios objetivos para os parâmetros de Tempo de Reverberação (RT) e Nível Sonoro Relativo (G) em salas de menor porte. A norma leva em conta tanto salas de apresentação quanto salas de ensaio, além de fazer distinção entre três tipos de música: música acústica forte, música acústica fraca e música amplificada. Contudo, a norma NS 8178:2014 não estabelece nenhum critério para situações envolvendo fala.

Alguns parâmetros como o Índice de Clareza (C80) ou Definição (D50) ainda carecem de critérios objetivos mesmo para salas maiores. A dificuldade em ambos os casos está no fato destes parâmetros variarem muito conforme a posição na sala, o que dificulta o cálculo de um número único representativo. Além disso, existe mais uma variável complicadora para o parâmetro C80, que é justamente o fato de seus valores desejados terem uma forte relação com o estilo musical.

A forma que este trabalho usou para lidar com os parâmetros C80, D50 ou qualquer outro parâmetro que varie muito com a posição foi construir histogramas. Dessa forma é possível analisar entre qual intervalo está a maior parte dos valores. Pode-se então tentar estabelecer um critério de quantidade de valores por intervalo baseando-se na audiência média esperada para o ambiente avaliado.

Atualmente o Anfiteatro Isaltino Casemiro não satisfaz os critérios de avaliação adotados neste trabalho para a maior parte das atividades analisadas (música acústica fraca e forte, música amplificada, teatro, fala, cinema e dança). O nível de pressão sonora do ruído residual ultrapassa os valores recomendados para todas as atividades. A proximidade da sala com a avenida principal da cidade (Figura 50) é um dos motivos, no entanto o ruído oriundo da mata ciliar próxima ao anfiteatro também mostrou ter influência.

Grande parte dos problemas acústicos da sala derivam da sua geometria interna assimétrica, resultado de duas aberturas localizadas no lado esquerdo do ponto de vista da audiência (Figura 72 da Seção 6.2). Estas aberturas contribuem significativamente para que os parâmetros D50 e C80 tenham um comportamento anômalo nas regiões localizadas no fundo da audiência. Além disso, como os critérios para as diferentes atividades são distintos, só seria possível a sala ter um bom desempenho acústico para todas as atividades consideradas caso houvesse possibilidades de variabilidade acústica.

A variabilidade acústica foi explorada durante a etapa de simulação acústica como uma ferramenta de adequação do espaço para multiuso. No modelo simulado, as duas principais intervenções foram o fechamento das aberturas responsáveis pela assimetria da sala e a substituição do forro PCV por um forro de

madeira acompanhando o madeiramento onde se apoiam as telhas (Figura 73). A terceira intervenção proposta busca produzir variabilidade acústica por meio de painéis móveis e cortinas, tendo o coeficiente de absorção sonora como elemento de variabilidade (Figuras 75 e 76). A simulação utilizando o programa ODEON mostrou que as intervenções propostas ampliam as possibilidades de adequação do ambiente para diversas funções.

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

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

No caso do Anfiteatro Isaltino Casemiro, vale dizer que, por tratar-se de uma construção cujo tombamento vem sendo estudado pelas autoridades locais, é essencial a participação dos órgãos de patrimônio durante uma possível implementação das medidas de intervenção acústica propostas neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOUSTIC BULLETIN. “Room acoustic descriptors – RT, C50 and Strength/Gain”. 2018. Disponível em: <https://www.acousticbulletin.com/room-acoustic-descriptors-rt-c50-and-gain>

ACOUSTICS ENGINEERING. TN008 Dirac Stimuli. [S. l.], 2008. Disponível em: <https://www.acoustics-engineering.com/files/TN008.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2019.

ALMEIDA, “Eneida de. Aspectos teórico-metodológicos da reutilização do patrimônio industrial”. Uma apreciação acerca do caso do antigo matadouro municipal, atual sede da Cinemateca Brasileira. In: VI Colóquio Latino Americano - sobre recuperação e preservação do patrimônio industrial. São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CINEMATOGRAFIA. ABC. Projeto de recomendação técnica ABC: arquitetura de salas de exibição. 2009. Disponível em: <www.ctav.gov.br> Acessado em: 8 nov. 2019.

BALLOU, Glen. “Handbook for sound engineers”. 4. ed. [S. l.]: Focal Press, 2008. ISBN 978-0-240-80969-4.

BARRIENTOS, Maria Izabel G. G.; QUALHARINI, Eduardo L. “Retrofit de Construções: Metodologia de Avaliação”. *Conference Paper*, January, 2004.

BARRON M. “Subjective study of British concert halls”. *Acustica* 1988;66(1):2-14.

BARRON, Michael. *Auditorium Acoustics and Architectural Design*. 2ºed. London and New York: Spon Press, 2010.

BARRON, Mike. “Using the standard on objective measures for concert auditoria, ISO 3382, to give reliable results”. *Acoust. Sci. & Tech*, v. 26, 2, 2005.

BEHLER, Gottfried K. “How to Compare Concert Halls by Listening to Music”. *Popular version of paper 4ª AA7*. Presented Friday morning, December 1, 4th ASA/ASJ Joint Meeting, Honolulu, HI, 2006.

BENNETT, R.; COSTA, M. T. R.; SAMPAIO, L. P. Uma breve história da música. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2007.

BERANEK, Leo Beranek. "Concert hall acoustics". *Architectural Science Review*, 54:1, pp. 5-14, 2011.

BERANEK, Leo L. Subjective Rank-Orderings and Acoustical Measurements for Fifty-Eight Concert Halls. ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA, 975 Memorial Drive, Cambridge, MA 02138, USA, ano 2003, v. 89, 3 fev. 2003.

BERANEK, Leo Leroy. "Subjective Rank-Orderings and Acoustical Measurements for Fifty-Eight Concert Halls". *Acta Acustica united with Acustica*, v. 89, n. 3, pp. 494-508(15), 2003.

BERANEK, Leo Leroy. *Concert and opera halls*. 2º ed. New York: Springer, 2004.

BRADLEY, J.S.. "Review of objective room acoustics measures and future needs". *Applied Acoustics*, v. 72, pp. 713-720, 2011.

BRINKMANN, Fabian et al. A round robin on room acoustical simulation and auralization. *The Journal Of The Acoustical Society Of America*, [s.l.], v. 145, n. 4, p.2746-2760, abr. 2019. Acoustical Society of America (ASA). <http://dx.doi.org/10.1121/1.5096178>.

CIDADES ON-LINE. História de Barrinha: navegação do Rio Mogi Guaçu. Disponível em: <http://www.jornalcidadesonline.com.br/historiabarrinha.htm>

CREMER, L.; MÜLLER, H. A.; NORTHWOOD, Thomas D.. Principles and Applications of Room Acoustics. *Physics Today*, [s.l.], v. 37, n. 1, p.86-87, jan. 1984. AIP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1063/1.2916055>.

DAVY, J. L.; DUNN, I. P; DUBOUT, P. The Variance of Decay Rates in Reverberation Rooms. *Acta Acustica united with Acustica*, [S. l.], v. 43, n. 1, 1 ago. 1979.

DIAS, Adriana Fabre. *A reutilização do patrimônio edificado como mecanismo de proteção: uma proposta para os conjuntos tombados de Florianópolis*. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo,

Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2005.

DINIZ, Pedro H. C.; DE ALMEIDA, Caliane C.O.. “O reuso de edificações históricas e sua importância para a sustentabilidade nas cidades”. 5º SICS – *Seminário Internacional de Construções Sustentáveis/2º Fórum Desempenho das Edificações*. Porto Alegre, Outubro, 2016.

DO VALE, Maurício Soares. *Diretrizes para racionalização e atualização de edificações: Segundo o conceito da qualidade e sobre a ótica do Retrofit*. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programa de Pós-graduação em Arquitetura. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

DUPRÉ, Nelson. “O Projeto Arquitetônico”. Disponível em: <http://www.salasaopaulo.art.br/paginadinamica.aspx?pagina=restauoro>

DUPRÉ, Nelson. Retrofit de edifícios e o case da Sala São Paulo. 3º Ciclo de Web Seminários sobre Arquitetura e Construção Sustentável. Disponível em: <https://www.aecweb.com.br/webseminarios/arquitetura-construcao-sustentavel/3-ciclo/programacao.asp>

ECHENAGUCIA, Tomás Méndez et al. “EDT, C80 and G Driven Auditorium Design”. *BUILDING ACOUSTICS*, Volume 21, Number 1, pp. 043–054, 2014.

ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS. A estação de Vassununga. Disponível em: <http://www.estacoesferroviarias.com.br/v/vassununga.html>

ESTAÇÕES FERROVIÁRIAS. Percurso: Ramal de Santa Rita (Porto Ferreira–Santa Rita). Disponível em: http://www.estacoesferroviarias.com.br/trens_sp/ramalstarita.htm

EVEREST, F. Alton; POHLMANN, Ken C. *Master Handbook of Acoustics*. 5ºed. New York: McGraw- Hill, 2009.

FABBRI, Cléber. “Revitalização do Anfiteatro Isaltino Casemiro é entregue com apresentações musicais”. *Blog da Comunicação do Governo Municipal de Porto Ferreira*. 2014. Disponível em: <https://comunicacaoportoferreira.wordpress.com/2014/07/23/revitalizacao-do-anfiteatro-isaltino-casemiro-e-entregue-com-apresentacoes-musicais/>

FASTL, Hugo; ZWICKER, Eberhard. *Psychoacoustics Facts and Models*. 3ª ed. New York: Springer New York, 1999.

FUNARI, Pedro Paulo; PELEGRINI, Sandra de Cássia Araújo. *Patrimônio histórico e cultural*. 2 ed. Rio de Janeiro - RJ: Jorge Zahar, 2009.

GIESBRECHT, RALPH MENNUCCI. “Estações ferroviárias do Brasil - Porto Ferreira”. [S. l.], 3 dez. 2018. Disponível em: <http://www.estacoesferroviarias.com.br/p/ptferreira.htm>. Acesso em: 18 mar. 2019.

GUIMARÃES, Luciana Fernanda. *O retrofit e a remodelagem de informações como ferramenta na análise de projetos*. Projeto de graduação. Universidade Federal do Rio de Janeiro/Escola Politécnica. Rio de Janeiro, RJ, 2014.

HIDAKA, Takayuki; BERANEK, Leo L.. Objective and subjective evaluations of twenty-three opera houses in Europe, Japan, and the Americas. *The Journal Of The Acoustical Society Of America*, [s.l.], v. 107, n. 1, p.368-383, jan. 2000. Acoustical Society of America (ASA). <http://dx.doi.org/10.1121/1.428309>.

IPHAN. Gabinete do Presidente. Portaria nº 407, de 21 de dezembro de 2012. Dispõe sobre o estabelecimento dos parâmetros de valoração e procedimento de inscrição na Lista do Patrimônio Cultural Ferroviário, visando à proteção da memória. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/legislacao/portaria4072010alteradaportaria_1722016.pdf. Acesso em: 12 out. 2018.

IPHAN/PROGRAMA MONUMENTA. *Manual Técnico do Patrimônio Ferroviário*. [S. l.], 2010. Disponível em: http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Manual_tecnico_patrimonio_ferroviario.pdf. Acesso em: 18 ago. 2018.

JORDAN, Vilhelm Lassen. “Acoustical Criteria for Auditoriums and Their Relation to Model Techniques”. *The Journal of the Acoustical Society of America*, [S. l.], v. 47, p. 408-412, 1970.

KUTTRUFF, Heinrich. *Room Acoustics*. 4ª ed. London: Spon Press, 2000.

LACATIS, R. et al. "Historical and chronological evolution of the concert hall acoustics parameters". SFA: Acoustics'08 Paris, 2008.

LEHMANN, Peter, "Wilkins H. Zusammenhang subjektiver Beurteilung von Konzertsälen mit raumakustischen Kriterien". *Acustica* 1980;15:256-68.

LEHMANN, Peter. "Über die Ermittlung raumakustischer Kriterien und deren Zusammenhang mit subjektiven Beurteilungen der Hörsamkeit". Berlin, 1976.

LEISTER, Adalberto. "Evolução do Sistema de Transporte Rodoviário do Estado de São Paulo". Dissertação de Mestrado em Geografia Humana apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. São Paulo: FFLCH, 1979.

LENIAUD, J. L'utopie française. Tradução . Paris: Mengès, 1992

IARA B. CUNHA; SMIDERLE, R.; STELAMARIS R. BERTOLI. Influence of sound reinforcement system on acoustic performance in a Catholic Church. 2013.

LISBOA, José Maria. *Almanach Litterario de São Paulo para o anno de 1885*. São Paulo: Ypographia da Província de São Paulo, 8º ano, 1884.

LYRA, Cyro I. Correa de Oliveira. Preservação cultural em áreas urbanas no Brasil e no exterior. In: FUNDAÇÃO CATARINENSE DE CULTURA/ SPHAN. Subsídios para uma Política Federal de Preservação do Patrimônio Catarinense. Governo do Estado de Santa Catarina, 1984. Não paginado.

MELLO, Tais. "Sintonia fina". Disponível em: https://www.galeriadaarquitectura.com.br/projeto/dupre-arquitetura-coordenacao_/sala-sao-paulo/1357

MICHELSEN, Axel. The Tuned Cricket. *Physiology*, [s.l.], v. 13, n. 1, p.32-38, fev. 1998. American Physiological Society. <http://dx.doi.org/10.1152/physiologyonline.1998.13.1.32>.

MORAES, Virgínia T. F.; QUELHAS, Osvaldo L. G. "O Desenvolvimento da Metodologia e os Processos de um 'Retrofit'". *Sistemas & Gestão*, v.7, pp 448-461,

2012.

Música de Câmara - Filipe Salles Homepage. Disponível em: <<http://www.mnemocine.com.br/filipe/chamber.htm>>. Acesso em: 10 out. 2019.

NEPOMUCENO, José Augusto. A acústica da sala São Paulo. AU 17. Edição 189, dezembro de 2009. Disponível em: <http://au17.pini.com.br/arquitetura-urbanismo/189/jose-augusto-nepomuceno-escreve-dez-anos-da-sala-sao-paulo-158190-1.aspx>

NS 8178:2014, *Acoustic criteria for rooms and spaces for music rehearsal and performance.*, Oslo, 2014.

PORTO FERREIRA ON-LINE. “Revitalização do Anfiteatro Isaltino Casemiro será entregue no próximo dia 18”. 2014. Disponível em: <https://www.portoferreiraonline.com.br/noticia/revitalizacao-do-anfiteatro-isaltino-casemiro-sera-entregue-no-proximo-dia-18>

PORTO PORTAL. Orestes Rocha. Disponível em: <http://www.portoportal.com.br/materias/orestesrocha.htm>

PORTO PORTAL. Porto Ferreira, Nossa História, Nossa Gente (A navegação). Acessado em 10/11/2016. Disponível em: <<http://www.portoportal.com.br/materias/0006.htm>>.

PORTO PORTAL. Porto Ferreira, Nossa História, Nossa Gente (Os Trens e a Jardineira). Acessado em 10/11/2016. Disponível em: <<http://www.portoportal.com.br/materias/0003.htm>>.

QUEIRÓS, Dóris; RODRIGUES, Rui Calejo; PEREIRA, Nelson. “Historical building acoustical retrofit: Na experimental examination of traditional wooden floors”. *Building Acoustics*, vol. 23(3-4), pp. 181–191, 2016.

REDE FERROVIÁRIA FEDERAL. Histórico das Ferrovias no Brasil. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/ferrovias/historico.asp>

REICHARDT, W.; ALIM, O. A.; SCHMIDT, W. V “Definition and Basis of Making an Objective Evaluation to Distinguish Between Useful and Useless Clarity Defining

Musical Performances”. *Acta Acustica united with Acustica*, [S. l.], v. 32, n. 3, p. 126-137, 1 mar. 1975.

REICHARDT, W.; ALIM, O. A; SCHMIDT, W. Abhängigkeit Der Grenzen Zwischen Brauchbarer Und Unbrauchbarer Durchsichtigkeit Von Der Art Des Musikmotives, Der Nachhallzeit Und Der Nachhalleinsatzzeit. *Applied Acoustics*, Great Britain, 1974.

REIS FILHO, Nestor Goulart. Espaço e Memória: conceitos e critérios de intervenção. In: SECRETARIA MUNICIPAL DE CULTURA/ DPH. (São Paulo) O direito à memória: patrimônio histórico e cidadania. Prefeitura Municipal de São Paulo: DPH, 1992. p. 167-168.

RINDEL, J. H. “ New Norwegian standard on the acoustics of rooms for music rehearsal and performance,” in *Proceedings of Forum Acusticum Krakow*, 2014.

RINDEL, J. H. New Norwegian standard on the acoustics of rooms for music rehearsal and performance. 2014. <https://doi.org/10.13140/2.1.4374.1440>

ROSSING, Thomas D. *Springer Handbook of Acoustics*. 2^oed. New York: Springer New York, 2015.

SANCHEZ, Maria Fernanda. “Retrofit Corporativo”. *Téchne*, edição 84, março/2004. Disponível em: <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/84/artigo285626-1.aspx>

SCHROEDER M. R, Gottlob D, Siebrasse KF. Comparative study of european concert halls: correlation of subjective preference with geometric and acoustic parameters. *J Acoust Soc Am* 1974;56(4):1195–201.

SILVA, Gabriel Mello. *Simulação computacional acústica de teatro de múltiplo uso com diferentes configurações de concha orquestral*. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP, 2017.

SKÅLEVIK, M. “Room Acoustic Parameters and Their Distribution Over Concert Hall Seats”. *AKUTEK*, Vol. 30, Pt.3, 2008.

SPADOTTO, Aryane; NORA Dalini Dalla; TURELLA, Elisa Cristina Lopes;

WERGENES, Tiago Nazario; BARBISAN, Ailson Oldair. Impactos ambientais causados pela construção civil. *Revista Unoesc&Ciência – ACSA, Joaçaba, v.2, n.2, pg. 173-180, jul. /dez. 2011*

STEFANI, Celia R. B.. *O sistema ferroviário paulista: um estudo sobre a evolução do transporte de passageiros sobre trilhos*. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, FFLCH, Departamento de Geografia. São Paulo, SP, 2007.

THIELE, R. “Richtungsverteilung und Zeitfolge der Schallruekwurfe in Raumen”. *Acta Acustica united with Acustica*, [S. l.], v. 3, p. 291, 1 jan. 1953.

TOPA, Marina Dana et al. “Experimental Acoustic Evaluation of an Auditorium”. *Advances in Acoustics and Vibration*, Volume 2012, pp. 01-08, 2012.

UBALDINO DE MENDONÇA, Ana C.. *Retrofit: arquitetura sustentável?* Trabalho Final de Graduação. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 2007.

VIOLLET-LE-DUC, Eugène E. *Restauração*. Tradução: Beatriz Magayar Kühl. Cotia: Ateliê Editorial, 2000. 70 p. (Artes & Ofícios, 1)

XAVIER, Janaina Silva; CONSTANTINO, Marta da Silva. “A construção do patrimônio ferroviário: uma análise do reuso da Estação Ferroviária de Mogi Mirim – SP”. *Museologia e Patrimônio - Revista Eletrônica do Programa de Pós-Graduação em Museologia e Patrimônio - Unirio | MAST - vol.10, no1, 2017*.

ANEXO A

Neste anexo consta a tabela com as principais atividades realizadas no Anfiteatro Isaltino Casemiro no período entre outubro de 2013 e novembro de 2018. Os dados para a construção da tabela foram coletados no blog da cidade “Porto Ferreira Online” e no jornal da cidade “Jornal do Porto”.

Tabela 23 - Principais atividades realizadas no Anfiteatro Isaltino Casemiro no período compreendido entre outubro de 2013 e novembro de 2018.

Data	Função	Evento
out/2013	Fala	Encontro com Sebraetec e agentes de inovação
abr/2014	Fala	Palestra com Delegada Rose reuniu mulheres
jul/2014	Música Amplificada	Revitalização do Anfiteatro Isaltino Casemiro
ago/2014	Música/Fala	Semana Cultural Lourenço Filho
ago/2014	Fala	Implantação nota fiscal eletrônica (audiência)
out/2014	Teatro/Música/Fala	Uma apresentação sobre a história da arte
out/2014	Fala	Premiação Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA)
dez/2014	Teatro	Peça teatral patrocinada pela Verallia
jan/2015	Fala	Palestra "Prevenção de acidentes das redes de transmissão de energia elétrica"
mar/2015	Fala	Dengue: palestra com engenheiro da SUCEN
abr/2015	Dança/Música	Cultural Festival de Dança Froze
mai/2015	Fala	1º Fórum de Saúde Mental
jun/2015	Fala	Projeto Prefeitura no Bairro
jul/2015	Fala	Atendimento do projeto Prefeitura no Bairro
ago/2015	Vários	Projeto de Palma em Palma
ago/2015	Teatro/Dança	Espectáculo “O Tocador de Luzes”
ago/2015	Fala	Prefeitura no Bairro
ago/2015	Teatro/Música/Fala	De Palma em Palma: apresentação para os pais
set/2015	Fala	Prefeitura no Bairro
set/2015	Fala	Prefeitura no Bairro
out/2015	Fala	Atendimento do projeto Prefeitura no Bairro
out/2015	Dança/Música	1ª Semana do Bebê
out/2015	Música/Fala	Semana da Saúde Bucal
nov/2015	Fala	Atendimento do projeto Prefeitura no Bairro
nov/2015	Fala	Os cuidados na podologia em pessoas diabéticas
nov/2015	Teatro	Agora eu Era o Herói
dez/2015	Fala	Atendimento do projeto Prefeitura no Bairro
fev/2016	Fala	Atendimento da prefeita e diretores
mar/2016	Fala	Atendimento do projeto Prefeitura no Bairro

abr/2016	Teatro	apresentações da comédia “A Igreja Bem Assombrada”
abr/2016	Teatro/Música	Circuito Cultural Paulista – Sabiás do Sertão
mai/2016	Cinema	Cine Cultura
mai/2016	Teatro	Lançamento do projeto EPTV na Escola 2016
mai/2016	Fala	Campanha do Agasalho
jun/2016	Fala	Diplomação dos prefeitos e vice-prefeitos mirins
jun/2016	Fala	Entrega da Medalha do Mérito Esportivo Dr. Thar-sis Ramos
jun/2016	Fala	2º Fórum de Saúde Mental
jun/2016	Música Amplificada	Semana Cultural Flávio da Silva Oliveira
out/2016	Teatro	Huis Clos – A Portas Fechadas
nov/2016	Música	Projeto Guri faz apresentação
nov/2016	Fala	Circuito Cultural Paulista traz a peça infantil Zôo-Ilógico
dez/2016	Fala	Audiência Pública
jan/2017	Música	Programa Estação Sertaneja
mar/2017	Fala	Prefeitura e Sindicato apresentaram novas propostas de convênio médico aos servidores
abr/2017	Música	Coral Municipal completa 20 anos
mai/2017	Fala	Caps realiza hoje o 3º Fórum de Saúde Mental
mai/2017	Fala	3º Fórum de Saúde Mental na
mai/2017	Fala	Lançamento municipal do projeto EPTV na Escola 2017
mai/2017	Fala	I Semana do Meio Ambiente e Sustentabilidade
jun/2017	Fala	Reunião para discutir o Plano Diretor de Turismo
jun/2017	Fala	1º Feirão da Cerâmica
set/2017	Cinema	Sessões de cinema do Ponto MIS
set/2017	Fala	Cultura convida escritores para a I Semana de Artes Literárias Thales Castanho de Andrade
set/2017	Fala	Lançamento Projeto Capital da Cerâmica Artística e Decoração
out/2017	Teatro	Mostra de Teatro José Augusto Tenan
fev/2018	Teatro	comédia popular “Nau dos Loucos”
mar/2018	Música Amplificada	Festival da Canção
abr/2018	Fala	4º Fórum de Saúde Mental
abr/2018	Fala	Programa Jovens Empreendedores
abr/2018	Teatro/Música/Fala	Circuito Cultural Paulista
mai/2018	Dança/Música	Ballet e sapateado farão homenagem às mães
mai/2018	Fala	Projeto EPTV na Escola 2018
jun/2018	Cinema	Porto Ferreira tem cinema
jun/2018	Cinema	Porto Ferreira tem cinema
jun/2018	Cinema	Porto Ferreira tem cinema
jun/2018	Cinema	Porto Ferreira tem cinema
jun/2018	Música	Alunos do Projeto Guri fazem apresentação de encerramento do 1º semestre

jun/2018	Música Amplificada	Recital da Escola Livre de Música e Artes
jul/2018	Teatro	Anfiteatro recebe peça gratuita com texto de Ariano Suassuna
ago/2018	Cinema	Programação dos filmes do Ponto MIS de agosto
ago/2018	Cinema	Programação dos filmes do Ponto MIS de agosto
ago/2018	Cinema	Programação dos filmes do Ponto MIS de agosto
ago/2018	Cinema	Programação dos filmes do Ponto MIS de agosto
ago/2018	Cinema	Curta-metragem de artistas ferreirenses
set/2018	Cinema	Programação dos filmes do Ponto MIS de agosto
set/2018	Cinema	Programação dos filmes do Ponto MIS de agosto
set/2018	Cinema	Programação dos filmes do Ponto MIS de agosto
out/2018	Fala	Sarau Literário
out/2018	Teatro	Espetáculo infantil “Até Onde o Vento Levar”
out/2018	Teatro/Música	Oficina de teatro e musicalização para educadores
out/2018	Cinema	Oficina sobre o horror no cinema brasileiro
out/2018	Fala	Sarau Literário
nov/2018	Teatro	Espetáculo infantil
nov/2018	Cinema	Dia do Saci terá exibição de filmes de terror
nov/2018	Cinema	Programação dos filmes do Ponto MIS de agosto
nov/2018	Cinema	Programação dos filmes do Ponto MIS de agosto
nov/2018	Cinema	Programação dos filmes do Ponto MIS de agosto
nov/2018	Cinema	Programação dos filmes do Ponto MIS de agosto

Fonte: Prefeitura Municipal de Porto Ferreira

ANEXO B

COMDPHAC  Lei Municipal 2947 de 12/06/2012	CONSELHO MUNICIPAL DE DEFESA DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO, ARQUITETÔNICO ARTÍSTICO E CULTURAL Casa dos Conselhos Av. Eng. Nicolau V. Forjas, 729 Tel-19 3585-6353 PORTO FERREIRA – SÃO PAULO casadosconselhos@portoferreira.sp.gov.br	
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

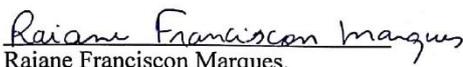
ATA de n.º 02 DE 21 DE DEZEMBRO 2017.

Assuntos tratados:

- I** – Recomposição do Conselho; **II**- Calendário para o ano de 2018;
III- Patrimônio Histórico **IV** - Palavra Livre **V**- Encerramento.

Aos vinte e um dias do mês de dezembro de dois mil e dezessete reuniram-se os membros do CONSELHO MUNICIPAL DE DEFESA DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO, ARQUITETÔNICO ARTÍSTICO E CULTURAL para tratar dos assuntos em tela. Aberta a reunião às 16 Horas e 10 minutos conforme lista de presença em anexo 01, decidiram: **I** - A recomposição do Conselho ocorreu com a publicação da Portaria 756 de 04 de Dezembro de 2017 sendo esta distribuída a todos os presentes. Em seguida os Conselheiros verificam a disponibilidade dos membros para compor a mesa diretora do **COMDPHAC**, para o próximo biênio.

Verificada a disponibilidade dos membros e as indicações sugeridas a Plenária do Conselho elege por unanimidade a mesa diretora do Conselho – Presidente Sr. Renan Fernando Freitas Arnoni, Vice Presidente Kaise Castro Cury, Secretária Raiane Franciscon Marques. Com uma Salva de Palmas a nova mesa diretora é então empossada. **II** – Calendário para o ano de 2018. A Plenária do Conselho após exame da disponibilidade de seus membros aprovou a agenda 2018, teremos então reuniões bimestrais na terceira quarta feira de cada mês sendo a próxima reunião em 21 de fevereiro de 2017. **III** – Do Patrimônio Histórico. Os Conselheiros examinam a as **possibilidades de Tombamento** através de Legislação específica, de vários prédios em nosso município, estabelecendo como prioridade os Prédios da Antiga Fepasa, onde está localizada a Casa da Cultura e o **Anfiteatro Isaltino Casemiro**. Outros edifícios foram sugeridos pelos conselheiros sendo: - 1- A Ponte de Ferro sobre o Rio Mogi Guaçu, 2- o prédio do Museu, antiga Delegacia de Polícia, 3 – o antigo prédio da CESP atual Casa dos Conselhos, 4 – o prédio do Matadouro, 5 – A Praça Pascoal Salzano, 6 – Os Chaminés ainda existentes no Município, como o da Cia. Nestle, o da Cerâmica Porto Ferreira, o da Prada Força e Luz e outros. 7 – o Paredão de Pedra do antigo Cais. Como estratégia para os primeiro passos a Plenária do Conselho define como meta o levantamento dos documentos de cada um dos itens citados que poderão ser apresentados nas próximas reuniões. Também para pauta da próxima reunião ficou definida a apresentação de prédios particulares do município que tenham relevância quanto ao Patrimônio Histórico. Os Conselheiros citam como exemplo a Capela da Olaria Peripato, na Vila Sibila. **IV**- Da palavra livre o Conselheiro Jorge Washington ressalta a necessidade do Município bem cuidar, com carinho do Patrimônio Histórico Artístico e Cultural, tendo em vista o interesse Turístico do Município, que necessita ser enriquecido agregando-se novos valores, como no caso do cais dos antigos vapores. O Presidente eleito agradece a confiança pela indicação e eleição e deseja a todos um feliz ano novo de muitas realizações. **V**- Nada mais a ser tratado, a reunião foi encerrada as 17horas e 40 minutos pelo Sr. Presidente. Eu, Raiane Franciscon Marques secretária, lavrei a presente ata que será lida e aprovada na próxima reunião em 21 de Fevereiro 2018.


 Raiane Franciscon Marques.
 Secretária.


 Renan Fernando Freitas Arnoni.
 Presidente.