



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

Dissertação de Mestrado

FORMAS GEOMÉTRICAS E QUALIDADE ACÚSTICA DE SALAS DE AULA: ESTUDO DE CASO EM CAMPINAS-SP

Adriana Eloá Bento Amorim

Campinas – SP

2007

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

**FORMAS GEOMÉTRICAS E QUALIDADE ACÚSTICA DE
SALAS DE AULA: ESTUDO DE CASO EM CAMPINAS-SP**

Adriana Eloá Bento Amorim

Orientadora: Prof^a Dr^a Stelamaris Rolla Bertoli

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração Arquitetura e Construção.

Campinas - SP
2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Am68f Amorim, Adriana Eloá Bento
 Formas geométricas e qualidade acústica de salas de
 aula: estudo de caso em Campinas-SP. / Adriana Eloá
 Bento Amorim.--Campinas, SP: [s.n.], 2007.

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

 1. Acústica arquitetônica. 2. Ambiente de sala de
 aula. 3. Construções geométricas. 4. Fala -
 Inteligibilidade. 5. Escolas – Arquitetura – São Paulo.
 6. Instalações escolares - Planejamento. I. Bertoli,
 Stelamaris Rolla. II. Universidade Estadual de
 Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
 Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Geometric shapes and classroom acoustical quality: case study
at Campinas-SP

Palavras-chave em Inglês: Classroom acoustics, Acoustical quality, Geometric
shapes, Speech intelligibility, School's architecture in
state of Sao Paulo.

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Doris Catharine Cornelie Knatz Kowaltowski e Luiz
Antonio Perrone Ferreira de Brito

Data da defesa: 22/08/2007

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

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

**FORMAS GEOMÉTRICAS E QUALIDADE ACÚSTICA DE
SALAS DE AULA: ESTUDO DE CASO EM CAMPINAS-SP**

Adriana Eloá Bento Amorim

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Stelamaris Rolla Bertoli
Presidente e Orientadora/ FEC/UNICAMP-SP



Prof. Dr. Doris C. C. K. Kowaltowski
FEC/UNICAMP/SP



Prof. Dr. Luiz Antonio P. F. de Brito
UNITAU-SP

Campinas-SP, 22 de Agosto de 2007.

DEDICATÓRIA

***A todos que me apoiaram para a
conquista deste título.***

AGRADECIMENTOS

Aos professores que participaram do processo de seleção e deram um voto de confiança para uma candidata até então desconhecida, permitindo meu ingresso no Curso de Pós-graduação da UNICAMP.

Ao meu marido, Eng^o Antonio Sérgio Costa Amorim, pelo apoio e compreensão inestimáveis, infinitos.

Aos técnicos do Laboratório de Conforto Ambiental da FEC/UNICAMP, Daniel Celente e Obadias Jr., pela atenção e dedicação aos estudantes.

Aos alunos de graduação e Iniciação Científica, Leandro Mateucci, Bernardus e Daniel Silva pelo auxílio nas medições.

Aos Diretores (as), Coordenadores (as) e funcionários das escolas aqui apresentadas que permitiram a realização do trabalho.

*À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo (**FAPESP**) pelo apoio científico e financeiro através da concessão da Bolsa Mestrado.*

À Banca Examinadora composta pelos Pro.^{os} Dr.s Doris C. C. K. Kowaltowski e Luiz Antonio P. F. de Brito pela atenção e importante contribuição ao trabalho.

Em especial, à minha Orientadora Prof.^a Dr.^a Stelamaris R. Bertoli, pela confiança e amizade adquirida ao longo desses dois anos e meio de convivência e que permaneçam para sempre.

“O trabalho de um arquiteto é sempre uma obra educacional ainda que não seja ele um professor. Entretanto, quando se juntam mestre e arquiteto, então uma obra poderá ser duplamente exaltada.”

DUARTE, Hélio (1956 apud BUFFA; ALMEIDA PINTO, 2002, p.93).

RESUMO

Estudos sobre a acústica de salas de aula estão cada vez mais comuns no meio acadêmico e científico, devido à sua influência nas questões do ensino-aprendizagem. Os ambientes escolares exigem qualidade acústica que deve ser prevista já na concepção do projeto. A inadequação acústica de escolas e salas de aula é apontada em diversas pesquisas que utilizam variadas metodologias, geralmente através da aplicação de testes de acertos e erros de vocábulos, e também da análise de parâmetros de avaliação como medidas dos níveis de pressão sonora e do tempo de reverberação. Na rede estadual de ensino público em São Paulo, as salas de aula são projetadas a partir de diretrizes pré-estabelecidas que visam a padronização dos projetos de escolas. Portanto, este trabalho tem como objetivos identificar as formas geométricas mais comuns de salas de aula propostas para a rede pública estadual de ensino em Campinas-SP, apresentar o comportamento dos parâmetros acústicos quanto à inteligibilidade da fala e apontar as formas mais favoráveis à qualidade acústica de salas de aula. Para a definição da amostra realizou-se um levantamento cadastral das escolas e o levantamento arquitetônico das salas. Desse levantamento, identificou-se o número de configurações geométricas mais comuns de salas. Foram analisadas as salas dentro de uma mesma configuração padrão, totalizando dezessete salas de aula. Para a medição acústica foi utilizada a técnica da resposta impulsiva da sala e os parâmetros acústicos foram obtidos através do programa de avaliação acústica de salas, o DIRAC[®], da empresa Brüel & Kjaer. Os parâmetros derivados da resposta impulsiva analisados neste trabalho foram: o Tempo de Reverberação (TR), o Tempo de Decaimento Inicial (EDT), a Definição (D_{50}), o Índice de Transmissão da Fala (STI) e a Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), em função da frequência na faixa de bandas de 1/1 de oitava. Também foi medido e analisado o Nível de Pressão Sonora ou ruído de fundo ambiental equivalente (L_{Aeq}) interno e externo à sala, obtido com o medidor de pressão sonora. A análise complementar da forma para cada sala foi feita pela proporcionalidade das dimensões, segundo a escala do Diagrama de Bolt. As formas geométricas em planta mais comuns de salas são as quadradas (7x7m) e retangulares (6x8m). Dentro de cada configuração as salas apresentaram diferentes desempenhos acústicos. Pelo fato de existir uma grande variedade de fatores e parâmetros que interferem na acústica da sala, foi possível identificar algumas tendências de comportamento acústico por configuração geométrica.

Palavras-chave: acústica de salas de aula; formas geométricas; inteligibilidade da fala; arquitetura escolar paulista.

ABSTRACT

Studies about classroom acoustics are developed each time more into the scientific and academic society, due to its influence in the teach-learning. The school's environments demand acoustical quality that must be foreseen already during the design planning. Some situations of acoustic not adjusted on classrooms are shown in research that using several methods, generally with application of word's rightness and error tests as well as of the analysis and evaluation of parameters as the sound pressure levels and reverberation time. In the State of Sao Paulo the classrooms of public education buildings are projected in accordance with same lines of direction that aim at the school design standardization. Therefore, this work has as objective to identify what geometric shapes are more common on classroom's design found in public schools at Campinas-SP, to present the acoustic parameters behavior how much to the speech intelligibility of classrooms and to point the shapes that are most favorable to the acoustical quality for classrooms. It was made classroom's cadastral survey for sample definition and after was made architectural survey hers. This procedure allows identifying the number of the rooms more common geometric configurations. The classrooms which have the same configuration standard were selected and analyzed, totalizing seventeen classrooms. The acoustical measurements were made using the impulse response technique of the room and the acoustical parameters were obtained of the room acoustics evaluation software, the DIRAC®, by Brüel & Kjaer. The parameters were derived from the impulse response were analyzed in this work: Reverberation Time (RT), Early Decay Time (EDT), Definition (D50), Speech Transmission Index (STI) and Percentage Articulation Loss of Consonants (%ALCons), for each 1/1 octave frequency band. Also it was analyzed the internal and external background noise or ambiental Equivalent Sound Pressure Level (L_{Aeq}), which were measured with sound pressure level meter. Complementary analysis of the form for each room was made by the proportionality of the dimensions, according to Bolt's Diagram scale. Among the more common geometric shapes in plant of rooms had found were: the square shaped (7x7m) and rectangular (6x8m). Inside each configuration of classroom had presented different acoustical performances. For the fact to exist a great variety of factors and parameters intervening on classroom acoustics, it was possible to identify some acoustical behaviors trends for geometric configuration.

Keywords: classroom acoustics; geometric shapes; speech intelligibility; school's architecture in State of Sao Paulo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Principais órgãos responsáveis pelo planejamento do ensino público paulista (1890-2006).....	09
Figura 2.2 - Edifício da “Escola Normal da Capital”, construído em 1895, inicialmente com dois pavimentos, na atual Praça da República, no centro de São Paulo.....	13
Figura 2.3 - Edifício da “Escola Normal”, já com três andares, datado de 1940.....	14
Figura 2.4 - Escola Normal da Capital: vista da plantas baixas originais e atualizadas até 1991...	15
Figura 2.5 - Edifício da Secretaria Estadual de Educação de São Paulo, antiga “Escola Normal da Capital”.....	16
Figura 2.6 - Edifício da Escola Modelo da Luz (1897) denominada posteriormente de “Grupo Escolar Prudente de Moraes”.....	17
Figura 2.7 - Escola Modelo da Luz: plantas baixas originais, do porão, térreo e pavimento superior.....	19
Figura 2.8 - Plantas dos três pavimentos e perspectiva artística da fachada do Grupo Escolar Visconde Congonhas do Campo; autoria de José Maria da Silva Neves (1936).....	24
Figura 2.9 - Ilustração da fachada do Grupo Escolar Godofredo Furtado, no bairro de Pinheiros, na capital paulista. Autoria de José Maria da Silva Neves (1937).....	25
Figura 2.10 - Grupo Escolar Visconde de Taunay (1949-1951), de autoria de Hélio Duarte.....	27
Figura 2.11 - Grupo Escolar Pandiá Calógeras (1949-1951), de autoria de Hélio Duarte.....	28
Figura 2.12 - Escola de Guarulhos (1962), autoria de Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi.....	31
Figura 2.13 - Escola Estadual do Jardim Santo Afonso (1975), na cidade de Guarulhos. Autoria de Ubyrajara Gilioli.....	33
Figura 2.14 - Planta baixa das salas de aula comuns, conforme Especificações técnicas da Superintendência de Projetos da CONESP.....	34
Figura 2.15 - Estatística das salas de aula no Estado de São Paulo, administradas pela FDE no período de 1987 a 1998 (posição até 31/07/98).....	35
Figura 2.16 - EE Professor Jesus José Attab (1995-1998), em Parelheiros, São Paulo.....	37
Figura 2.17 - Recomendações (parciais) para ambientes escolares do Ensino Fundamental- Ciclo I	39
Figura 2.18 - Recomendações (parciais) para ambientes escolares do Ensino Fundamental- Ciclo II e Médio.....	39
Figura 2.19 - Ilustração das diversas possibilidades de uso do ambiente da sala de aula, recomendados pela FDE (2003).....	42

Figura 2.20 - EE São João, bairro Campo Limpo (2003).....	43
Figura 2.21 - Vista do CEU Rosa da China.....	44
Figura 2.22 - Edifício do “Colégio Culto à Ciência”, inaugurado em 1874, em Campinas, SP.....	47
Figura 2.23 - Edifício do “Primeiro Grupo Escolar de Campinas (1895-1897), atual EE Francisco Glicério.....	48
Figura 2.24 - Planta baixa “padrão” da Tipologia “Botucatu” (1895).....	49
Figura 2.25 - Ilustração da planta baixa original do Primeiro Grupo Escolar de Campinas. À esquerda, o pavimento térreo e à direita, o superior.....	50
Figura 2.26 - Vista da fachada do Primeiro Grupo Escolar de Campinas (1895), atual EE “Francisco Glicério”.....	51
Figura 2.27 - Edifício do “Segundo Grupo Escolar”, em Campinas, SP. A escola foi extinta.....	52
Figura 2.28 - Planta baixa original da ‘Escola Normal de Campinas”, datada de 1919. Atual EE Carlos Gomes.....	53
Figura 2.29 - Edifício da atual EEPSPG (EE) “Carlos Gomes”.....	54
Figura 2.30 - Edifício do “Terceiro Grupo Escolar de Campinas”, desde 1910 e demolido em 1952.....	55
Figura 2.31 - Edifício do “Terceiro Grupo Escolar de Campinas”. Atual “EE Artur Segurado”.....	55
Figura 2.32 - Fachadas principal (a) e lateral (b) do Edifício do Grupo Escolar de Campinas (1921) Atual EE” Orosimbo Maia”.....	56
Figura 2.33 - Ilustração das plantas genéricas ou “padrão” da Tipologia Amparo (1911).....	57
Figura 2.34 - Escola Estadual Milton de Tolosa (1961) implantada em Campinas, SP.....	58
Figura 2.35 - Escola Disney Francisco Scornienchi (1995-1998) implantada em Campinas, SP.....	59
Figura 2.36 - EE Conjunto Habitacional Campinas F1, projeto do escritório MMBB Arquitetos, para a cidade de Campinas, SP.....	61
Figura 3.1 - Propagação da onda sonora.....	64
Figura 3.2 - Correção do nível de pressão sonora, de acordo com as curvas de ponderação “A”, “B” e C”.....	67
Figura 3.3 - Situação típica de sala onde é aplicado o discurso da fala.....	68
Figura 3.4 - Estrutura final de um campo sonoro.....	69
Figura 3.5 - Propagação do som no obstáculo.....	70
Figura 3.6 - Reflexão especular.....	70

Figura 3.7 - Reflexão difusa ou Difusão sonora.....	71
Figura 3.8 - Zonas de integração e zona de eco para um som decaído.....	72
Figura 3.9 - Difração de sons de alta e baixa frequência.....	73
Figura 3.10 - Forma geométrica do tipo “ <i>shoe box</i> ”.....	76
Figura 3.11 - Alguns formatos de salas de aula estudados por Lang (2003).....	77
Figura 3.12 - Salas com formato do tipo “Z”.....	78
Figura 3.13 - Representação dos modos acústicos: axial, tangencial e oblíquo.....	79
Figura 3.14 - Diagrama de Bolt (1946).....	81
Figura 3.15 - Sugestões dos autores para as proporções da forma da sala, locadas no Diagrama de Bolt (1946).....	83
Figura 3.16 - Tempo de Reverberação (TR).....	85
Figura 3.17 - Estrutura de um campo sonoro e os primeiros 50ms, após o som direto.....	90
Figura 3.18 - Representação da resposta impulsiva.....	95
Figura 3.19 - Esquema de ligação entre equipamentos de medição de acústica de salas.....	98
Figura 4.1- Valores ótimos de inteligibilidade em função da relação à SNR e do TR_{60} (1 kHz).....	101
Figura 4.2 - Tempos de reverberação para a frequência de 500Hz, recomendados pela norma brasileira para diversos recintos (ABNT, 1992).....	103
Figura 4.3 - Tipologia das escolas e respectivos números de pavimentos (a) e Repostas realizadas através da escala semântica (b).....	110
Figura 4.4 - “ <i>Layouts</i> ” de salas de aula simuladas acusticamente (Seep et al, 2000).....	114
Figura 5.1 - Distribuição dos pontos de recepção (Pn) por Grupos de salas.....	125
Figura 5.2 - Conjunto de equipamentos de medição acústica, instalado em uma sala de aula.....	127
Figura 6.1 - Locação das proporções das dimensões das salas no Diagrama de Bolt.....	161

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Bandas de frequências e indicações de níveis.....	65
Tabela 3.2 - Coeficientes de absorção sonora (α , em m ² . Sabine) dos principais materiais e mobiliário encontrados em salas de aula (por 1m ² de material), em função da frequência.....	74
Tabela 3.3 - Proporções para dimensões de sala propostas por alguns autores e comparação com a escala de Bolt (1946).....	82
Tabela 3.4 - Relação entre STI e inteligibilidade da fala, segundo a escala de classificação da IEC60268-16 (1998).....	91
Tabela 3.5 - Correspondência entre a inteligibilidade e seus parâmetros de medida (STI e %ALCons).....	93
Tabela 4.1 - Níveis de Ruído de Fundo e Tempo de Reverberação (TR) em salas mobiliadas e desocupadas (ANSI S12-60).....	102
Tabela 4.2 - Relações entre TR, SNR e Inteligibilidade da fala (Seep et al, 2000).....	102
Tabela 4.3 - Recomendações normativas de alguns países para Tempo de Reverberação (TR), em função do volume das salas.....	104
Tabela 4.4 - Comparação entre critérios para qualidade acústica em edificações educacionais.....	106
Tabela 4.5 - Tempos de reverberação (TR) estimados para as salas de aulas das escolas estudadas por Bertoli (2001) em Campinas.....	108
Tabela 4.6 - Níveis de ruído globais e índice de acertos nas salas de aula avaliadas de duas escolas no Rio de Janeiro.....	111
Tabela 4.7 - Porcentagem das salas de aula avaliadas por Losso (2003), conforme volume encontrado.....	112
Tabela 4.8 - Porcentagem de acertos do teste de percepção, em função de TR, SNR e tipo de ruído (Feijóo e Alvarez, 2006).....	117
Tabela 5.1 - Número de salas de aula da rede pública estadual de Campinas, com respectivas áreas e porcentagens de ocorrência em relação ao total.....	121
Tabela 5.2 - Classificação das salas de aula por Grupos e respectivas dimensões.....	123
Tabela 5.3 - Distâncias entre fonte (F) e pontos de recepção (P _n), para cada Grupo de salas.....	126
Tabela 6.1 - Ruído de fundo (L _{eq}) interno e externo às salas de aula.....	134
Tabela 6.2 - Média espacial do Tempo de Reverberação (TR) por sala, em função da frequência..	136
Tabela 6.3 - Média espacial do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) por sala, em função da frequência.....	141

Tabela 6.4 - Média espacial da Definição (D_{50}) por sala, em função da frequência.....	145
Tabela 6.5 - STI e %ALCons por salas do Grupo A, em cada ponto de recepção (sem ventilação mecânica).....	148
Tabela 6.6 - STI e %ALCons por salas do Grupo B, em cada ponto de recepção (sem ventilação mecânica).....	149
Tabela 6.7 - STI e %ALCons por salas do Grupo C, em cada ponto de recepção (sem ventilação mecânica).....	150
Tabela 6.8 - STI e %ALCons por salas do Grupo D, em cada ponto de recepção (sem ventilação mecânica).....	151
Tabela 6.9 - STI e %ALCons do Grupo E (Sala 17), em cada ponto de recepção (sem ventilação mecânica).....	151
Tabela 6.10- STI e %ALCons por salas do Grupo A, em cada ponto de recepção (com ventilação mecânica).....	154
Tabela 6.11- STI e %ALCons por salas do Grupo B, em cada ponto de recepção (com ventilação mecânica).....	155
Tabela 6.12- STI e %ALCons por salas do Grupo C, em cada ponto de recepção (com ventilação mecânica).....	156
Tabela 6.13- STI e %ALCons por salas do Grupo D, em cada ponto de recepção (com ventilação mecânica).....	156
Tabela 6.14- STI e %ALCons do Grupo E (Sala 17), em cada ponto de recepção (com ventilação mecânica).....	157
Tabela 6.15- Proporções das dimensões das salas para a análise da forma segundo escala do Diagrama de Bolt (1946 apud Everest, 2001).....	160
Tabela 6.16- Resumo dos resultados os parâmetros acústicos e arquitetônicos.....	164
Tabela 6.16 (Cont...)- Resumo dos resultados os parâmetros acústicos e arquitetônicos.....	165
Tabela 6.16 (Cont...)- Resumo dos resultados os parâmetros acústicos e arquitetônicos.....	166

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 6.1 - Média espacial do Tempo de Reverberação (TR) de todas as salas de aula, em função da frequência.....	137
Gráfico 6.2 - Média espacial do Tempo de Reverberação (TR) por Grupos de salas, em função da frequência.....	138
Gráfico 6.3 - Média espacial do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) de todas as salas de aula, em função da frequência.....	142
Gráfico 6.4 - Média espacial do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) por Grupos de salas, em função da frequência.....	143
Gráfico 6.5 - Média espacial do parâmetro Definição (D_{50}) de todas as salas de aula, em função da frequência.....	144
Gráfico 6.6 - Média espacial do parâmetro Definição (D_{50}) por Grupos de salas, em função da frequência.....	146
Gráfico 6.7 - Valores do STI e %ALCons por Grupos de salas, na condição sem a ventilação mecânica.....	152
Gráfico 6.7 (Cont.) Valores do STI e %ALCons por Grupos de salas, na condição sem a ventilação mecânica.....	153
Gráfico 6.8 - Valores do STI e %ALCons por Grupos de salas, na condição com a ventilação mecânica.....	157
Gráfico 6.8 (Cont.) Valores do STI e %ALCons por Grupos de salas, na condição com a ventilação mecânica.....	158

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1 - Velocidade do som (c).....	66
Equação 3.2 - Nível de pressão sonora (NPS ou L_p).....	66
Equação 3.3 - Coeficiente de absorção sonora (α).....	73
Equação 3.4 - Freqüência de ressonância (f).....	79
Equação 3.5 - Equação de Sabine (Tempo de Reverberação, em s).....	86
Equação 3.6 - Absorção sonora.....	86
Equação 3.7 - Equação de Eyring (Tempo de Reverberação, em s).....	87
Equação 3.8 - Equação de Millinton-Sette (Tempo de Reverberação, em s).....	88
Equação 3.9 - Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (para $r \leq r_c$).....	92
Equação 3.10- Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (para $r > r_c$).....	92
Equação 3.11- Distância crítica da Fonte (r_c , em m).....	92
Equação 3.12- Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes derivada do STI, através da fórmula proposta por Fareel Backer.....	93
Equação 5.1 - Distância mínima entre fonte e ponto receptor, segundo a ISO 3382 (1997).....	124

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Objetivo do trabalho	5
1.2	Estrutura do trabalho	5
2	ASPECTOS DA ARQUITETURA ESCOLAR PAULISTA.....	7
2.1	A organização da construção das escolas públicas paulistas	8
2.2	O Primeiro Período (1890-1920)	11
2.2.1	As Escolas Normais (1890-1920).....	12
2.2.2	Os Grupos Escolares (1890-1920)	16
2.3	O Segundo Período: de 1921 a 1950	20
2.4	O Terceiro Período: a década de 1950	25
2.5	O Quarto Período: a década de 1960	29
2.6	O Quinto Período: as décadas de 1970 e 1980	32
2.7	O Sexto Período: a partir de 1990 até os dias atuais (2007)	35
2.8	A arquitetura escolar de Campinas	46
2.8.1	O “Colégio Culto à Ciência” (1874).....	47
2.8.2	O Primeiro Grupo Escolar de Campinas (1895).....	48
2.8.3	O Segundo Grupo Escolar de Campinas (1900).....	51
2.8.4	A Escola Complementar de Campinas (1903)- Escola Normal de Campinas (1919)	52
2.8.5	O Terceiro Grupo Escolar de Campinas (1910).....	54
2.8.6	O Grupo Escolar de Campinas (1921) da Tipologia Amparo (1911)	56
2.8.7	EE Professor Milton de Tolosa (1961)	57
2.8.8	EE Disney Francisco Scornienchi (1995-1998)	58
2.8.9	EE Conjunto Habitacional Campinas F1 (2003)	69
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E EXPERIMENTAL.....	63
3.1	Características do som	63
3.2	Propagação do som no interior de uma sala	67

3.3 A importância da forma geométrica na acústica de salas	75
3.4 Parâmetros acústicos e inteligibilidade da fala	83
3.4.1 Relação entre Sinal e Ruído (SNR)	84
3.4.2 Tempo de Reverberação (TR)	85
3.4.3 Nível de Pressão Sonora Ambiental ou Ruído de Fundo (NPS ou L_{eq})	88
3.4.4 Tempo de Decaimento Inicial (EDT)	89
3.4.5 Definição (D_{50})	89
3.4.6 Índice de Transmissão da Fala (STI)	90
3.4.7 Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons)	91
3.5 Métodos de medição de parâmetros acústicos	93
3.5.1 Técnica da Sequência de Comprimento Máximo	95
3.5.2 Técnica da Varredura dos Senos ou da Deconvolução	96
3.5.3 DIRAC 3.1 ® : propriedades do programa de avaliação de salas	96
4 SALAS DE AULA E QUALIDADE ACÚSTICA.....	99
4.1 Recomendações técnicas para qualidade acústica de salas de aula	100
4.2 Diagnósticos da acústica em salas de aula	107
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	119
5.1 Coleta de parâmetros arquitetônicos	119
5.2 Determinação da amostragem	120
5.3 Coleta de parâmetros acústicos	123
5.3.1 Condições de coleta	129
5.4 Métodos da análise dos resultados	129
6 RESULTADOS E ANÁLISE.....	131
6.1 Dados arquitetônicos das salas	131
6.2 Nível de pressão sonora ambiental (L_{Aeq})	133
6.3 Tempo de Reverberação (TR)	135
6.4 Tempo de Decaimento Inicial (EDT)	140

6.5 Definição (D_{50})	144
6.6 Índice de Transmissão da Fala (STI) e porcentagem de perda na articulação de consoantes (%ALCONS)	147
6.6.1 STI e %ALCons para as salas sem o acionamento da ventilação mecânica	147
6.6.2 STI e %ALCons para as salas com o acionamento da ventilação mecânica	154
6.7 Resultados e análise da forma geométrica, segundo a escala de Bolt.....	159
6.8 Resumo dos resultados dos parâmetros acústicos e arquitetônicos.....	162
7 CONCLUSÕES.....	167
REFERÊNCIAS	171
APÊNDICES.....	189
Apêndice A: GRUPO A (7X7) SALA 1 - ESCOLA Campinas F-1	191
Apêndice B: GRUPO A (7X7) SALA 2 - ESCOLA CH- EB-1	193
Apêndice C: GRUPO A (7X7) SALA 3 - ESCOLA Maria Alice	197
Apêndice D: GRUPO A (7X7) SALA 4 - ESCOLA Roberto Marinho	200
Apêndice E: GRUPO A (7X7) SALA 5 - ESCOLA Sérgio Porto	203
Apêndice F: GRUPO A (7X7) SALA 6 - ESCOLA Telêmaco Paioli	206
Apêndice G: GRUPO B (6X8) SALA 7 - ESCOLA Adalberto Nascimento	209
Apêndice H: GRUPO B (6X8) SALA 8 - ESCOLA Adiwalde Oliveira Coelho	212
Apêndice I: GRUPO B (6X8) SALA 9 - ESCOLA Ana Rita Godinho Pousa	215
Apêndice J: GRUPO B (6X8) SALA 10- ESCOLA Carlos Pimentel	218
Apêndice K: GRUPO B (6X8) SALA 11- ESCOLA José Pedro Oliveira	221
Apêndice L: GRUPO C (5X8) SALA 12- ESCOLA Adiwalde O.Coelho	224
Apêndice M: GRUPO C (5X8) SALA 13- ESCOLA: Artur Segurado	227
Apêndice N: GRUPO D (7X3,5) SALA 14 - ESCOLA Campinas F1.....	230
Apêndice O: GRUPO D (7X3,5) SALA 15 - ESCOLA Maria Alice.....	233
Apêndice P: GRUPO D (7X3,5) SALA 16 - ESCOLA Sérgio Porto	236
Apêndice Q: GRUPO E (9X8) SALA 17- ESCOLA Adalberto Nascimento	239

1 **INTRODUÇÃO**

A arquitetura escolar pública paulista teve seu início no período político da República no final do século XIX. Ao longo dos 115 anos de história ocorreram várias tentativas dos órgãos públicos de estabelecer diretrizes de planejamento e projeto para os estabelecimentos de ensino.

As tentativas de padronização e a repetitividade dos projetos escolares paulistas deram origem ao interesse, não só por parte dos agentes públicos, mas também dos demais profissionais envolvidos (arquitetos, engenheiros, educadores e pesquisadores) na formulação de diretrizes para construção de escolas públicas (ORNSTEIN; BORELLI NETO, 1995). Este fato é verificado desde a elaboração do Código de Posturas de 1886 e do Código Saboya de 1934 (criado pelo Fundo Estadual de Construções Escolares-FECE), até a atual Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE), da Secretaria de Estado da Educação de São Paulo.

Entre as diretrizes de projeto para estabelecimentos de ensino está a padronização da geometria interna das salas de aula, que apresenta pouca variação ao longo dos anos, com exceção das aberturas, da implantação da ventilação cruzada, das dimensões de pé-direito e dos materiais. Tais exceções são decorrentes da adaptação da edificação quanto à implantação e condições do terreno e para atender às recomendações pré-estabelecidas pelos sucessivos órgãos estaduais que assumiam a responsabilidade pelas construções escolares (FDE, 1998a).

Segundo Graça (2002), geralmente o projetista preocupa-se em atender às restrições e diretrizes constantes nos catálogos de especificações estabelecidos por estes órgãos. Utilizam-se do pouco material de referência enquanto criam a forma, e raramente aplicam avaliações de conforto e funcionalidade, que poderiam ser realizadas através da simulação e da otimização, evitando-se problemas futuros. Como conseqüências têm-se as falhas quanto às especificações técnicas que garantam melhor aproveitamento do espaço e funcionalidade associados ao conforto, ao prazer e à preservação da saúde na vivência de sua ocupação, interferindo diretamente na qualidade do ensino-aprendizagem.

Para Buffa e Almeida Pinto (2002), na busca da qualidade na educação, há necessidade de se estabelecer uma conexão entre o planejamento educacional enquanto espaço físico e o desenvolvimento pedagógico, uma vez que o diálogo entre alunos e professores é fator importante para obtenção dessa qualidade. Para assegurar a eficiente comunicação e a troca de informação entre professores e alunos, a sala de aula deve apresentar entre outros fatores, a qualidade acústica, ou seja, a inteligibilidade e a clareza da fala devem ser boas. As interferências negativas são aspectos que impedem a clareza da audição e, portanto, devem ser analisadas cuidadosamente na elaboração dos projetos que garantam qualidade, pois, a eficiência ou ineficiência da acústica das salas interfere diretamente na compreensão, no ensino e aprendizagem, além de gerarem um grande desgaste físico e psicológico nos alunos e educadores, conforme apontam Paixão e Santos (1995 apud Nagem; Bertoli, 2002). Vieira et al (2005) também consideram a falta de qualidade acústica em salas de aula como uma das causas principais da aprendizagem e compreensão mal sucedidas nos ambientes educacionais.

Zwirtes (2006) aponta que a maioria dos trabalhos publicados na área de acústica de salas evidencia a precariedade das condições e suas conseqüências sobre o aprendizado. Os recursos investidos em melhoria, a fim de promover conforto acústico, ainda são vistos apenas como despesas e não como investimento em educação. As condições acústicas inadequadas são conseqüências da falta de planejamento que implicam em futuras adequações. Estas adequações englobam o desenvolvimento de etapas técnicas destinadas a detectar, corrigir e adequar o campo sonoro no interior da sala, com a finalidade de obter a qualidade desejada.

Entre as várias metodologias utilizadas para avaliação da qualidade acústica, o nível de pressão sonora, caracterizado como o ruído de fundo ambiental (NPS ou L_{Aeq}), é um dos parâmetros acústicos mais apontados em pesquisas, sendo considerado um dos principais fatores da qualidade acústica em ambientes, sejam estes abertos ou fechados (como é o caso de salas). O outro parâmetro acústico apontado é o tempo de reverberação (TR), que depende de fatores físicos-constructivos e funcionais do ambiente. Por décadas, estes parâmetros têm sido os descritores mais utilizados na qualificação acústica de salas. Especificamente para a avaliação da inteligibilidade da fala, os métodos de avaliação acústica são geralmente baseados em testes de percepção da fala aplicados aos ouvintes, onde é estimada a quantidade ou porcentagem de acertos e erros de palavras e frases que “quantificam” o grau de inteligibilidade.

Bentler (2000) destacou que o que mais interfere na qualidade sonora em ambientes projetados para a fala é a relação entre o sinal sonoro (que numa sala de aula representa a voz do orador/professor) e o ruído existente na sala (que representa os demais sons, seja de origem externa ou interna, a qual a sala está sujeita). Quanto maior for o valor desta relação, melhor a situação de escuta oferecida aos ouvintes, caracterizando o grau de inteligibilidade da fala.

Segundo Gomes e Bertoli (2005), os parâmetros mais relevantes para a avaliação acústica de salas de aula são aqueles que indicam a inteligibilidade da fala, tais como: Nível de Pressão Sonora (NPS), Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), Índice de Transmissão da Fala (STI), Definição (D_{50}), Nível Critério (NC) e Nível de Interferência na Fala (SIL).

Para Bistafa (2005), principal pesquisador do projeto *ACUSARQ - "Acústica Arquitetônica: Qualidade sonora em salas de audição crítica"*, estes parâmetros mais tradicionais (TR e NPS), utilizados para caracterização da acústica de salas de aula, têm-se mostrados insuficientes no sentido de revelar os atributos subjetivos de qualidade sonora julgados mais importantes. Trata-se, portanto, de uma área que necessita ainda de pesquisa e desenvolvimento.

Müller, Nabuco e Massarani (2002) ressaltaram que, sem dúvida, o elevado nível de ruído de fundo verificado nas salas de aula é num primeiro momento o mais importante fator que caracteriza ineficiência acústica, e, portanto, um problema que deve ser priorizado. Uma vez que os níveis de ruído nas salas de aula estejam abaixo de valores máximos adequados, a investigação pode enveredar pelos estudos da influência das geometrias das salas, das características acústicas do mobiliário escolar, dentre outros, na qualidade das salas de aula.

As etapas de correção e adequação do ambiente para melhoria da qualidade acústica requerem estudos e intervenções técnicas mais complexas (como reformas construtivas e aplicação de materiais acústicos), que conseqüentemente geram custos. As soluções adotadas devem considerar a relação custo/benefício, conforme apontam Lubman e Sutherland (2001a,b) e Karabiber e Çelik (2001). Segundo Mascaró (2004), os custos implicam nas decisões arquitetônicas durante a concepção de um projeto. Portanto, no caso de projetos de escolas públicas, que dependem de verbas e orçamentos pré-estabelecidos, a atenção às questões

arquitetônicas e de qualidade ambiental, em especial a acústica, devem ser consideradas já na fase de planejamento, evitando-se adequações futuras.

Apesar das tentativas de padronização no planejamento dos projetos arquitetônicos das escolas públicas em diversos estados brasileiros, há de se buscar a funcionalidade e a forma adequadas específicas para as salas de aula, através da otimização dos projetos. A falta de planejamento das edificações e as condições acústicas inadequadas são fatos que vêm sendo comprovados em diversas pesquisas realizadas nas escolas brasileiras, destacando-se: Viveiros (2000), Bertoli (2001), Müller, Nabuco e Massarini (2002), Losso (2003), Querido e Capasso (2004), Zannin e Loro (2005) e Zwirtes (2006).

É considerável a quantidade de estudos e recomendações científicas quanto à acústica de salas de aula, mas os problemas mais comuns permanecem. Os resultados apontam os níveis de ruído de fundo como fator mais incômodo, porém, as salas de aula continuam sendo projetadas com as aberturas voltadas para o tráfego local e para ambientes ruidosos. A proximidade das áreas pedagógica e recreativa contribui para a geração do ruído nas salas, mas esta tipologia arquitetônica ainda é defendida pelos projetistas.

No Estado de São Paulo, a FDE (2006b) propõe basicamente quatro tipologias para a concepção do projeto de escolas, sendo que em três delas, a integração dos ambientes recreativos e pedagógicos é priorizada. Nestas, a edificação é constituída num único volume compacto, ora verticalizada, ora predominantemente longitudinal ou horizontal. Esta é uma particularidade que deve ser planejada cuidadosamente, principalmente no que diz respeito ao conforto ambiental, em especial o acústico. Apenas uma das tipologias propõe a disposição das áreas recreativas de forma isolada das áreas pedagógicas, através de um partido arquitetônico formado por mais de um volume e com fluxograma que permite que as atividades de recreação e esportes estejam agrupadas. Para a FDE (2006b) esta disposição também facilita o acesso da comunidade independentemente, propiciando, inclusive, o isolamento acústico necessário às áreas pedagógicas.

A tipologia e a implantação da edificação são fatores importantes na concepção de projetos escolares na busca da qualidade na ocupação. Portanto, estabelecer diretrizes de projeto que assegurem a qualidade requer muito estudo para poder definir o que deve ser padronizado ou não.

1.1 Objetivos do trabalho

Até os anos 1970, as salas de aula da rede pública estadual paulista eram projetadas com dimensões em planta predominantes de 6,0x8,0m, 5,0x8,0m e 8,0x9,0m, mas apresentam alturas variadas. A partir de então, a CONESP (1970-1987) passou a construir e estabelecer dimensões em planta para as salas de aula de aproximadamente 7,0x7,0m, cotadas de eixo a eixo. Sua sucessora, a FDE (1987- dias atuais) adotou e estabeleceu estas dimensões de 7,0x7,0m para as salas de aula comuns, medidas internamente e de 7,0x3,5m , para as salas de aula de reforço. A altura da sala ainda é determinada pelos projetistas, desde que atendam às respectivas legislações municipais.

Diante destes padrões predominantes de formas geométricas de sala de aula, questiona-se: É possível classificar uma forma geométrica como “mais” ou “menos” favorável à adequada acústica de salas de aula? Entre as formas geométricas mais comuns de salas de aula propostas para a rede pública paulista, qual (is) apresenta (m) melhor qualidade acústica? Qual o comportamento dos parâmetros acústicos para as formas geométricas das salas de aula padronizadas nas escolas públicas paulistas? Qual (is) forma (s) de sala de aula requer (em) menor intervenção para atender às recomendações técnicas da acústica adequada quanto à inteligibilidade da fala?

Este trabalho tem como objetivos identificar as formas geométricas mais comuns de salas de aula propostas para a rede pública estadual de ensino em Campinas-SP, apresentar o comportamento dos parâmetros acústicos quanto à inteligibilidade da fala e apontar as formas mais favoráveis à qualidade acústica de salas de aula.

1.2 Estrutura do trabalho

O texto foi estruturado em Capítulos, cujos conteúdos compreendem: os aspectos da arquitetura escolar paulista; a fundamentação teórica e experimental; as salas de aula e qualidade acústica; os matérias e métodos; a apresentação dos resultados e análise; as considerações finais; as referências bibliográficas e os apêndices.

Este **Capítulo (Introdução)** apresenta algumas questões sobre acústicas de salas, contendo justificativas quanto ao tema abordado, os objetivos e a estrutura do trabalho.

O **Capítulo 2** apresenta um histórico sobre os **Aspectos da arquitetura escolar paulista**; os órgãos responsáveis pelo planejamento das instituições de ensino no Estado de São Paulo desde 1890 até os dias atuais, destacando as diretrizes de projeto pré-estabelecidas por estes. O capítulo também apresenta alguns projetos implantados na cidade de Campinas encontrados em arquivos bibliográficos.

A **Fundamentação teórica e experimental** sobre acústica está apresentada no **Capítulo 3**, que aborda os conceitos fundamentais da acústica, a definição dos parâmetros a serem estudados neste trabalho e os métodos experimentais utilizados para coleta de dados acústicos em salas de aula.

O **Capítulo 4** apresenta as diversas pesquisas sobre **Salas de aula e qualidade acústica**, realizadas a partir dos anos 1980 no Brasil e no exterior, destacando dois temas principais: recomendações técnicas para acústica de salas e os diagnósticos acústicos encontrados em salas de aula.

Os **Métodos** previstos para a realização desta pesquisa, segundo o delineamento recomendado por Gil (2002), bem como os **Materiais** necessários para a sua execução estão apresentados no **Capítulo 5**.

A apresentação dos **Resultados e a análise** dos dados obtidos formam o **Capítulo 6**, onde são comentados os dados arquitetônicos e o comportamento dos parâmetros acústicos por Grupo de salas de aula.

As conclusões e recomendações para trabalhos futuros encontram-se nas **Conclusões**, constituindo o **Capítulo 7**.

Finalizam este texto as **Referências bibliográficas**, e os **Apêndices**. Estes últimos contêm os resultados da pesquisa apresentados por sala de aula estudada.

2 ASPECTOS DA ARQUITETURA ESCOLAR PAULISTA

Uma das finalidades deste trabalho é apresentar os aspectos arquitetônicos de salas de aula e seus desempenhos acústicos em relação à compreensão da fala entre seus usuários. As salas de aula fazem parte do programa arquitetônico dos edifícios escolares, e estes apresentam tipologias arquitetônicas diversas projetadas ao longo da história de suas construções.

Em arquitetura, o programa de uma edificação é o conjunto de necessidades que um projeto deve contemplar na construção e o roteiro de como isto deve estar disposto na edificação, isto é, o “programa de necessidades” é constituído de uma lista de ambientes e da integração entre eles (fluxograma). Numa escola, o “programa” define o número de salas de aula, determina se a escola terá uma biblioteca ou não, se incluirá dentro do prédio um posto de saúde e, principalmente, estabelece as respectivas disposições dentro da edificação. Para Brito Cruz e Carvalho (2004) a disposição espacial de todos os itens de um programa de necessidades da edificação escolar configura a implementação de uma visão educacional.

A edificação para fins educacionais (como qualquer outra) é concebida a partir de um estudo arquitetônico. Para que este estudo atenda às necessidades de sua ocupação deve-se considerar as carências da educação. Mas, como surgiu esta preocupação? A concepção arquitetônica dos prédios escolares é mais dependente da situação política-econômica do que das concepções educacionais e de conforto necessários para qualidade do sistema ensino-aprendizagem?

Para Brito Cruz e Carvalho (2004, p.1), o prédio de uma escola é a concretização de uma visão da educação e de seu papel na construção da sociedade. A educação é a construção do futuro da cidade, é o investimento da sociedade no seu desenvolvimento por meio do conhecimento e da sua evolução. Então, questionam: “*o que faz uma escola ser construída de uma forma ou de outra?*”.

O aprendizado de qualidade requer uma infra-estrutura de qualidade. O planejamento arquitetônico de uma edificação educacional deve ser compartilhado com o planejamento pedagógico e vice-versa. Assim, é possível planejar espaços flexíveis que atendam a diversas propostas de metodologias pedagógicas numa única sala, sem comprometer o conforto ambiental que também deve ser previsto na concepção do projeto. Nesta, em geral, o projetista preocupa-se em adequar as salas de aula a uma modulação estrutural ou nos programas arquitetônicos pré-estabelecidos pelos clientes. Nem sempre há o estudo do conforto ambiental para estas salas.

Neste contexto, torna-se pertinente destinar o presente Capítulo para apresentar a evolução da arquitetura escolar pública paulista, através de uma breve abordagem sobre os aspectos de planejamento, projetuais e construtivos e seus “programas”, destacando as informações (quando existentes) sobre a implantação das salas de aula, e os aspectos mais relevantes em cada período da concepção da obra, ao longo dos anos.

Destacam-se também as edificações propostas para a cidade de Campinas, que, como outras cidades do interior e litoral paulistas, seguiram os princípios das escolas da capital.

2.1 A organização da construção das escolas públicas paulistas

Segundo Ornstein e Borelli Neto (1995), nos poucos registros existentes sobre a arquitetura paulista da época do Império constam de um sistema unificado para todo o território nacional, que estabelecia padrão pedagógico e arquitetônico voltados para a educação religiosa.

Já para Buffa e Almeida Pinto (2002), foram herdados do Império escolas de “ler e escrever”, que muitas vezes eram a extensão da casa do professor, funcionando em paróquias, cômodos de comércio, em salas pouco ventiladas e pouco iluminadas, “frutos” da falta de organização.

O processo de organização do espaço escolar, considerando o vínculo edifício-escola e concepções educacionais surge a partir das exigências das escolas primárias que se organizaram em classes sequenciais. Esse processo ocorreu a princípio em vários países europeus e nos Estados Unidos onde o manual “*School Architecture*”, escrito em meados do

Século XIX, por Henry Bernard, contribuiu para divulgar a nova concepção de que os prédios escolares deveriam ser planejados com a participação de educadores (BUFFA; ALMEIDA PINTO, 2002).

Desde o Século XIX, vários órgãos do poder público foram responsáveis pelo planejamento, construção e manutenção dos estabelecimentos de ensino paulistas, com várias tentativas de se estabelecer diretrizes ou “padrões” para a construção das edificações escolares. Como conseqüências das tentativas de padronização da construção de escolas públicas, verifica-se uma semelhança na concepção dos projetos arquitetônicos, com visíveis diferenciações na implantação, isto devido aos diferentes tipos de lotes, da localização da obra e conseqüentemente da locação do edifício.

A Figura 2.1 apresenta o resumo dos Órgãos responsáveis pelos estabelecimentos de ensino público paulistas desde a época da Proclamação da República até os dias atuais.

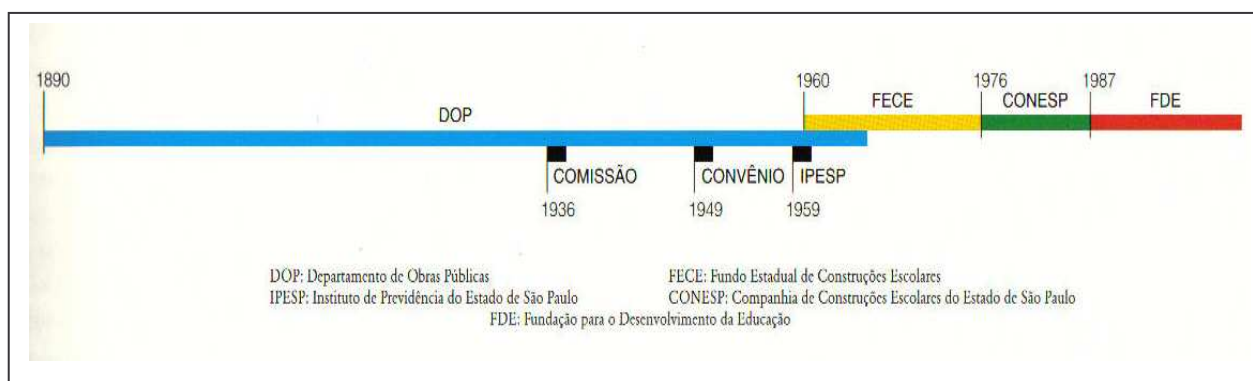


Figura 2.1: Principais órgãos responsáveis pelo planejamento do ensino público paulista (1890-atual).

Fonte: FDE (1998a, p. 17).

Segundo a FDE (1998a), assim como Buffa e Almeida Pinto (2002), desde os primeiros registros até 1960, a responsabilidade da construção de prédios escolares públicos paulistas ficou a cargo do Departamento de Obras Públicas (DOP), da Secretaria de Viação e Obras Públicas. Nos anos 1930, a Diretoria de Ensino da Secretaria de Educação e Saúde (o Ministério de Educação foi criado somente em 1930) designou uma Comissão Permanente para atuar junto ao DOP.

No final dos anos 1940 foi celebrado um convênio entre Estado e Prefeitura de São Paulo, criando uma Comissão Executiva do Convênio Escolar.

O Convênio Escolar foi rompido com as eleições municipais de 1954, mas a Comissão (Municipal) de Construções Escolares continuou a construir prédios para escolas de ensino primário. De 1953 a 1960 essa Comissão construiu vinte e sete prédios no município de São Paulo; enquanto que no interior, o Instituto de Previdência do Estado (IPESP) construiu cinquenta e um prédios para grupos escolares (FDE, 1998a).

Em 1960, o Fundo Estadual de Construções Escolares (FECE) foi regulamentado como parte do “Plano de Ação” do Governo de Carvalho Pinto. O FECE iniciou suas atividades trabalhando em conjunto com o IPESP. Desativado em 1975, o FECE foi sucedido pelo Fundo de Desenvolvimento da Educação (FUNDESP), e posteriormente, pela Companhia de Construções Escolares de São Paulo (CONESP), vinculada à Secretaria da Educação do Estado de São Paulo (VILANOVA ARTIGAS, 1999).

Em 1987 a CONESP foi substituída pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE), subordinada à Secretaria da Educação do São Paulo, que desde então é o órgão responsável pelas diretrizes educacionais no estado.

Vários autores como Segawa (1986), Corrêa, Neves e Mello (1991), Vilanova Artigas (1999) e Buffa e Almeida Pinto (2002) apresentam os aspectos da arquitetura paulista, seguindo-se uma ordem cronológica dos principais acontecimentos sociais, políticos, econômicos e culturais no Estado e no país, o que permite a colocação no tempo e espaço, mas há algumas contradições.

Neste trabalho, a divisão dos períodos ou momentos arquitetônicos foi proposta seguindo a mesma premissa apresentada por aqueles autores com algumas modificações, adaptando-os aos anos de elaboração e/ou construção da obra escolar em descrição, como seguem:

a) Primeiro Período: anos 1890 a 1920, destacando-se o trabalho do DOP com as construções das Escolas Normais e dos Grupos Escolares;

b) Segundo Período: anos 1921 a 1950, destacando o trabalho de Comissão Permanente e a construção de edifícios que apresentaram uma linguagem arquitetônica pré-modernista;

c) Terceiro Período: década de 1950, destacando o trabalho do Convênio Escolar e da Comissão formada por este, e do IPESP, da que atuava no interior paulista, ambos dando continuidade à construção de grupos escolares;

d) Quarto Período: a década de 1960, destacando a criação e atuação FECE, durante um momento histórico de grandes mudanças culturais, políticas e econômicas no país e a contratação de vários profissionais da construção civil, principalmente de escritórios de arquitetura para elaboração de projetos, consolidando o estilo arquitetônico modernista com a inovação das técnicas construtivas pré-fabricadas e o uso de estruturas protendidas.

e) Quinto Período: anos 1970 até 1987¹, destacando, a atuação da CONESP, que consolidou a padronização em um sistema de construção de escolas e foi sucedida pela Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE) como órgão responsável pelas construções escolares no estado de São Paulo.

f) Sexto Período: a partir de 1990 até os dias atuais (2007), destacando a criação (em 1987) e a atuação da FDE, que propõe uma nova reforma estrutural da educação no Estado (FDE, 1998a).

2.2 O Primeiro Período (1890-1920)

Para Brito Cruz e Carvalho (2004) desde a época do Brasil-Colônia a educação esteve sob responsabilidade da Igreja ou de instituições religiosas, com poucos registros no que se refere à arquitetura e à pedagogia. Este período destaca-se pela organização do serviço de inspeção de escolas e pelas primeiras tentativas de construir prédios para fins exclusivamente escolares. As edificações escolares no Estado de São Paulo foram construídas para abrigar

¹ O quinto período para Buffa e Almeida Pinto (2002) refere-se apenas à década de 1970 em diante, ressaltando as novas perspectivas da educação a partir de então. A data limite referida de 1987 foi considerada para este trabalho, considerando o ano de criação da Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE), Órgão da Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, que desde então assumiu o planejamento dos estabelecimentos de ensino públicos no Estado, estabelecendo novas diretrizes de projeto, implantação e serviços prestados à Educação. Então, o período de 1987-2007 considerar-se-á, neste trabalho o “Sexto Período” da arquitetura escolar paulista.

Grupos Escolares e Escolas Normais. Os programas de projeto eram baseados em modelos educacionais franceses, somente voltados para a área pedagógica. A arquitetura era consequência destes programas: áreas divididas entre setores masculinos e femininos, inclusive pátio de recreação e alguma preocupação com a higiene e separação de alas por sexo (masculino, feminino), exigências do regimento escolar da época. Os partidos arquitetônicos eram semelhantes, adaptando-se apenas aos diferentes tipos de terrenos através do porão alto usado para ventilar assoalhos de madeira, caracterizando-se em “projetos-tipos” ou “padrões”.

De acordo com Ramalho e Wolff (1986), a utilização de projetos-tipo atendia às necessidades de construir com rapidez um grande número de edifícios em curtos prazos e a baixo custo. Para estas autoras, o que de fato identificava cada tipo de grupo escolar era: *“essencialmente seu tamanho (número de salas de aula), sua distribuição espacial (o esquema da circulação adotado) e a opção formal por uma fachada específica.”* (RAMALHO; WOLFF, 1986, p.67).

Buffa e Almeida Pinto (2002) ressaltam a sensação de quando se entra numa escola pública paulista construída na época da Primeira República (1890-1920) é possível perceber a importância que era atribuída à educação através do estilo e da imponência de seus edifícios, apontando o entrelaçamento harmonioso entre projeto arquitetônico e pedagógico.

2.2.1 As Escolas Normais (1890-1920)

Os edifícios construídos para abrigar as Escolas Normais destacam-se por sua grandiosidade, com programas arquitetônicos mais complexos e o objetivo de torná-los marcantes e imponentes na paisagem urbana. Além dos ambientes comuns aos grupos escolares (salas de aula e ambientes administrativos), as Escolas Normais possuíam também biblioteca, anfiteatros e laboratórios.

Segundo Corrêa, Neves e Mello (1991) até 1920, o Governo do Estado de São Paulo havia construído 9 prédios específicos para abrigar escolas normais, destacando-se: a Escola Normal da Capital (1890); Escola Normal de Itapetininga (1895); Escola Normal de Pirassununga (1912); Escola Normal de São Carlos (1913); Escola Normal de São Carlos (1913); Escola Normal de Piracicaba (1913); Escola Normal de Botucatu (1913); Escola

Normal de Guaratinguetá (1918); Escola Normal de Campinas (1919); Escola Normal de Casa Branca (1919).

Entre estas, destacar-se-á a Escola Normal da capital paulista considerada pioneira e exemplo para as demais, e, posteriormente, a Escola Normal de Campinas. A Escola Normal da Capital funcionava desde 1846 em prédio não projetado para fins escolares. Em 1894, através da autorização do então governador da província de São Paulo, Sr. Francisco Rangel Pestana, foi dado início à construção de uma edificação para fins educacionais. Projetado em 1890 e de autoria de Ramos de Azevedo, o novo edifício foi inaugurado em 1894 na atual Praça da República, no centro de São Paulo e foi considerado um dos primeiros registros sobre a edificação escolar paulista para fins exclusivamente educacionais, abrigando a então Escola Normal da Capital, conforme mostra a Figura 2.2.



Figura 2.2: Edifício da “Escola Normal da Capital”, construído em 1895, inicialmente com dois pavimentos, na atual Praça da República, no centro de São Paulo.

Fonte: BRITO CRUZ; CARVALHO (2004, p.3).

Para se adequar às novas necessidades de ensino foram efetuadas sucessivas intervenções no prédio da Escola Normal da Capital, sendo a mais significativa em 1933, com a implantação de mais pavimentos. A Figura 2.3 mostra a edificação em 1940, já com um pavimento a mais (BRITO CRUZ; CARVALHO, 2004, p.2).



Figura 2.3: Edifício da “Escola Normal”, já com três andares, datado de 1940. Foto: crédito de Hildegard Rosenthal.

Fonte: BRITO CRUZ; CARVALHO (2004, p. 3).

A Figura 2.4 mostra as plantas baixas do pavimento térreo e do superior em três momentos da Escola Normal da Capital. As plantas não são cotadas, permitindo apenas a observação da predominância do formato retangular para as salas.

Ao longo dos anos, a antiga Escola Normal da Capital foi transferida para outros locais da cidade até se estabelecer no bairro da Aclimação com a denominação de Escola Estadual de Primeiro e Segundo Grau (EEPSG) Caetano de Campos, atual EE Caetano de Campos. Em 1978, o prédio da Praça da República foi adaptado e restaurado pela CONESP, quando passou a funcionar a Secretaria Estadual de Educação de São Paulo, conforme mostra a Figura 2.5.

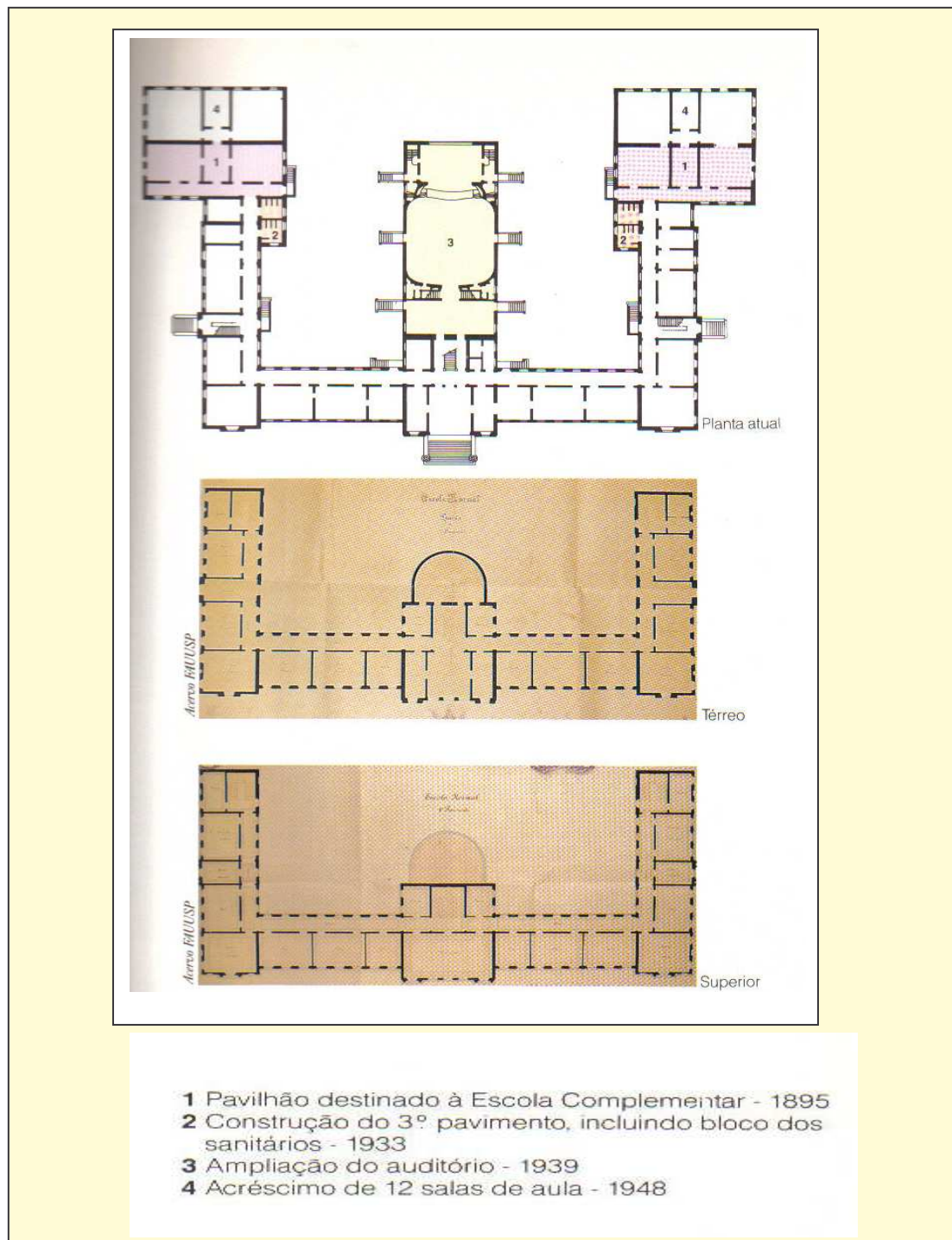


Figura 2.4: “Escola Normal da Capital”: vista da plantas baixas originais e atualizadas até 1991.

Fonte: CORRÊA; NEVES; MELLO (1991, p.125).



Figura 2.5: Edifício da Secretaria Estadual de Educação de São Paulo, antiga “Escola Normal da Capital”.
Fonte: CORRÊA; NEVES; MELLO (1991, p.123).

2.2.2 Os Grupos Escolares (1890-1920)

Segundo Corrêa, Neves e Mello (1991) o programa arquitetônico dos grupos escolares era composto basicamente das salas de aula e de ambientes administrativos. As edificações caracterizavam-se pela simetria da planta, o que contribuía para a separação dos ambientes masculinos e femininos (exigência que era rigorosamente obedecida), através das alas distintas para cada sexo, inclusive nos ambientes destinados ao recreio e aos exercícios de ginástica.

A maioria dos projetos obedecia aos dispositivos do Código Sanitário de 1894². Porém, não consideravam a orientação das salas de aula, quanto à insolação, e, embora sendo um fator relevante quanto ao conforto ambiental, o próprio Código Sanitário não fazia menção específica a esse respeito.

² O Código de 1894 foi o primeiro Código Sanitário de São Paulo. Até então, o que havia era o Código de Posturas de 1886, que estabelecia a obrigatoriedade do alinhamento do lote; a obrigatoriedade do porão, pois nem todos os lotes eram nivelados; e a conveniência de corredor lateral descoberto que permitisse a iluminação direta dos cômodos. O Código de 1894 trouxe, pela primeira vez, uma sistematização de exigências ligadas tanto às questões da urbanização quanto à largura da rua e relações entre essas e a altura dos edifícios, ou relacionadas à salubridade das construções, das espessuras mínimas das paredes, impermeabilizações combatendo a umidade emanada do solo, ar e luz diretos para todos os cômodos e outras providências. Entretanto, o Código trazia vícios de redação, pois exigia certas medidas, mas não as regulamentava, exigia ar e luz, porém, não especificava como deviam ser arejados ou iluminados os cômodos, o que dava margem a muitas interpretações (LEMOS, 1999).

Em 1893, na Avenida Tiradentes no Bairro da Luz, capital paulista, é iniciada a obra para a instalação do primeiro edifício projetado para escola primária, a “Escola Modelo da Luz”, de autoria do arquiteto Ramos de Azevedo, denominada mais tarde de Grupo Escolar “Prudente de Moraes”.

O registro fotográfico da fachada da “Escola Modelo da Luz”, atribuída ao “*Álbum de construções do escriptório técnico do Engenheiro Architecto F.P Ramos D’ Azevedo*”, mostra a imponência e arquitetura eclética da época, como mostra a Figura 2.6, extraída de Corrêa, Neves e Mello (1991, p.3).



Figura 2.6: Edifício da Escola Modelo da Luz (1897) denominada posteriormente de “Grupo Escolar Prudente de Moraes”.

Fonte: D’ AZEVEDO (1897 apud CORRÊA; NEVES; MELLO, 1991, p.3).

A planta da Escola Modelo da Luz foi reproduzida através de alguns registros originais, cujos desenhos foram copiados ou reproduzidos através do levantamento no local, efetuado pela DOP, entre 1930-1933, havendo somente registros físicos nas plantas, sem indicação da ocupação dos respectivos ambientes.

As plantas baixas não são cotadas, permitindo apenas observar as 12 salas de aula em formato retangular, com janelas voltadas para duas das fachadas. As dimensões das salas são de 9,5x7,00m, extraídas a partir do texto do Anuário de Ensino do Estado de Paulo, que fornece algumas informações transcritas a seguir (SÃO PAULO, 1907/08 apud CORRÊA; NEVES; MELLO, 1991).

“O edifício tem 40ms, 20 de frente por 20ms, 20ms de fundo e oferece um aspecto verdadeiramente bello, situado no centro de uma área de forma rectangular, medindo 6.772m²,50” (...) “Compreende o edifício três pavimentos- O superior e o médio tem 6 salas cada uma medindo 9m,5 x 7m. As condições indispensáveis e essenciaes de ar e luz foram plenamente satisfeitas nas salas de aula. Todas apresentam capacidade para manter uma atmosphaera suficientemente pura, de mais de 20 metros cúbicos de ar por hora, para cada alumno. “(...)” (SÃO PAULO, 1907/08 apud CORRÊA; NEVES; MELLO, 1991).

Moreira Pinto (1979 apud Corrêa, Neves e Mello, 1991, p.3) acrescenta alguns dados a respeito do uso do porão. Segundo o autor, nesse pavimento funcionavam 3 salas de aula, oficinas de marceneiro e torneiro, de modelagem em gesso e arrecadação do batalhão escolar. Em 1932 o prédio foi destruído por um incêndio. Por volta de 1950 é edificada uma nova escola no local, construída pela Prefeitura e entregue ao Estado para administrá-la, quando foi denominado de Grupo Escolar “Prudente de Moraes”.

No Período de 1890-1920, além das Escolas Normais e da Escola Modelo da Luz, a arquitetura escolar paulista foi marcada por diversas construções públicas constituídas de Grupos Escolares e classificados por tipologias. A Figura 2.7 ilustra as plantas originais Escola Modelo da Luz, não cotadas e sem a indicação dos ambientes (CORRÊA; NEVES; MELLO, 1991, p.3).

Para os demais grupos escolares, Corrêa, Neves e Mello (1991) apresentam tipologias adotadas correspondendo-as aos projetos que apresentam mesmo partido arquitetônico, tratando-se de “projetos-padrões”, que, com plantas idênticas ou pequenas variações, foram implantados em diversos municípios paulistas. Quanto à nomenclatura das referidas tipologias as autoras basearam-se nas Listas de Documentos do DOP, ou na existência destes, optaram pela denominação da tipologia relacionando-a ao nome do primeiro município onde fora implantado o “projeto-tipo” ou o mesmo “partido arquitetônico”.

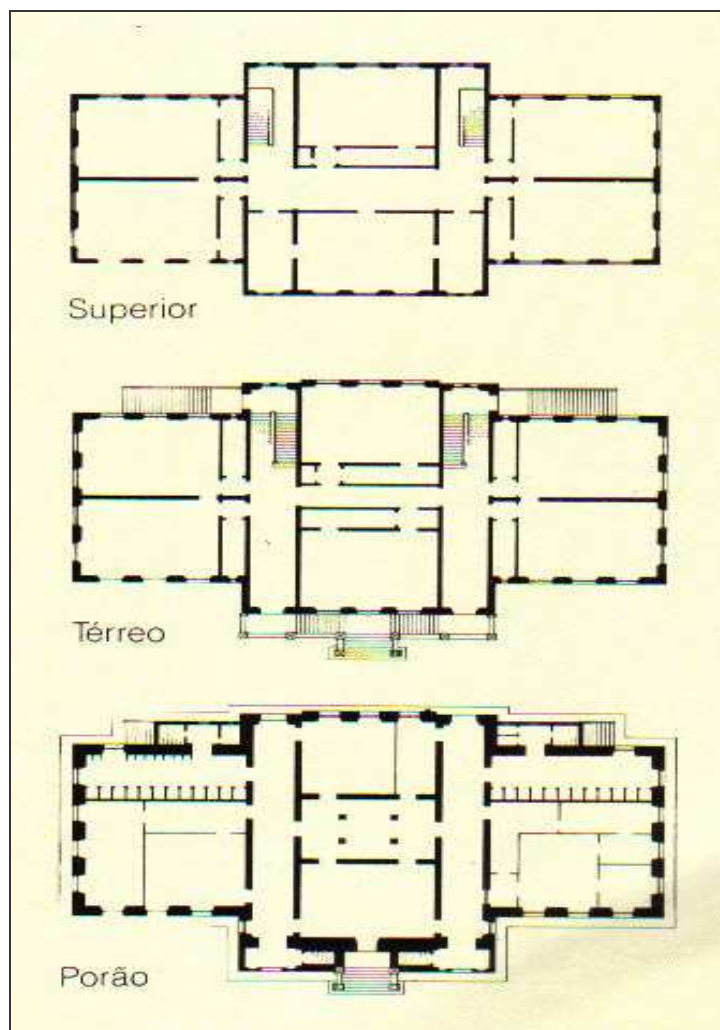


Figura 2.7: Escola Modelo da Luz: plantas baixas originais, do porão, térreo e pavimento superior.

Fonte: CORRÊA, NEVES; MELLO (1991, p.3).

As tipologias arquitetônicas adotadas por Corrêa, Neves e Mello (1991) para os edifícios escolares paulistas implantados (ou com sua construção iniciada), entre 1890-1920 são: Grupo Escolar de Jundiahy (1894); Tipologia Botucatu (1895), onde se enquadra o Primeiro Grupo Escolar de Campinas; Grupo Escolar do Braz (1895); Grupo Escolar de Santos (1895); Grupo Escolar de Guaratinguetá (1896); Tipologia Itapira (1896); Grupo Escolar de Jahú (1901); Tipologia Mogy Mirim (1897); Tipologia Avaré (1901); Tipologia São João da Boa Vista (1902); Tipologia Caçapava (1905); Tipologia Ribeirão Preto (1908); Tipologia Iguape (1909); Tipologia São Pedro (1909); Tipologia Mogy Guassú (1910); Grupo Escolar de Palmeiras (1909); Grupo Escolar de Penha da França (1911); Grupo Escolar de Porto Ferreira (1911); Grupo Escolar de

Pitangueiras (1911); Grupo Escolar e Queluz (1911); Tipologia Faxina (1910); Tipologia Bariry (1911); Grupo Escolar de Cunha (1911); Grupo Escolar de Agudos (1911); Tipologia Lorena (1911); Tipologia Braz (1911); Grupo Escolar de Barra Funda (1911); Grupo Escolar da Mooca (1911); Tipologia Guaratinguetá (1911); Grupo Escolar do Carmo (1911); Tipologia Amparo (1911); Tipologia Ribeirão Branco (1912); Tipologia Joanópolis (1912); Grupo Escolar de Caconde (1912); Escolas Reunidas de Cordeiro (1917); Grupo Escolar de Pederneiras (1917); Tipologia Villa Mariana (1917) e Tipologia Aparecida (1919).

Alguns Grupos Escolares não se enquadram nas tipologias e foram denominados apenas de “Grupo Escolar” ou “Escolas Reunidas”.

Segundo Buffa e Almeida Pinto (2002), ao fim dos anos de 1919 havia na capital 16 (dezesseis) grupos escolares funcionando em edificações construídas especificamente para esta finalidade e 6 (seis) funcionando em prédios pertencentes ao Estado e adaptados para escolas. Já no interior do estado havia 92 grupos escolares em funcionamento (SÃO PAULO, 1936 apud BUFFA; ALMEIDA PINTO, 2002).

Então na primeira era republicana, em termos de propostas de projetos arquitetônicos para estabelecimentos de ensino pode-se destacar o aproveitamento de uma tipologia construtiva para diversos municípios, com a preocupação em modificações e detalhamentos das fachadas e ornamentos, mantendo a imponência e austeridade. Porém, para Buffa e Almeida Pinto (2002), as obras foram insuficientes em relação à quantidade de vagas e material didático, além da falta de qualidade quanto aos programas de ensino.

2.3 O Segundo Período: de 1921 a 1950

A partir de 1912, coincidindo com o período da Primeira Guerra Mundial, existiu uma interrupção na produção de projetos arquitetônicos. Neste período a elaboração de projetos para Grupos Escolares fora praticamente paralisada, porém, alguns projetos para Escolas Normais foram retomados. A produção de projetos e uma nova fase de construções de escolas em massa que só irá se intensificar no decorrer dos anos 1920 (CORRÊA; NEVES; MELLO, 1991).

Para Vilanova Artigas (1999) a partir de 1911 e ao longo dos 25 anos seguintes, a produção de edifícios escolares na capital paulista fora de apenas dezesseis prédios; e o segundo período na história da edificação escolar paulista corresponde ao das escolas executadas entre 1934 e 1937, durante o Governo de Armando de Salles de Oliveira.

Já para Buffa e Almeida Pinto (2002), entre os anos de 1920 e 1934, foram construídos 32 prédios para grupos escolares em cidades médias e pequenas do interior paulista. No início dos anos 1920 foram construídos edifícios para grupos escolares com utilização de projetos-tipo de autoria do engenheiro e arquiteto Mauro Álvaro de Souza Camargo, o qual publicou um livro intitulado de *“Projetos para grupos escolares reunidas e rurais”*.

Segundo Wolff (1992), o livro de Mauro Camargo era uma espécie de manual, com diretrizes e modelos que serviriam para a construção de vários grupos escolares. Os projetos de Camargo apresentaram duas inovações: do ponto de vista espacial pela inserção dos sanitários dentro do edifício e, do ponto de vista técnico, pelo uso das lajes de concreto e simplificação das formas, sem muita ornamentação, devido às razões financeiras.

Na década de 1930, época do pós-guerra mundial e idéias de modernização, iniciadas na década anterior (visto a ocorrência da Semana de Arte Moderna de 1922, em São Paulo), o crescimento da cidade de São Paulo implica numa maior demanda de vagas nas escolas e ampliações se fizeram necessárias (VILANOVA ARTIGAS, 1999).

As construções escolares paulistas passaram a retratar o crescimento político, social e econômico que a educação tomava no país. Com a finalidade de modernização, formavam-se equipes de professores, médicos, pedagogos, arquitetos e outros profissionais, que contribuiriam para o estabelecimento de parâmetros para projetos, e eram subordinados à Secretaria da Educação e Saúde (FDE, 1998a).

Em 1933, o então Diretor Geral da Instrução Pública de São Paulo, Fernando Azevedo empreendeu uma reforma do ensino e instituiu o “Código de Educação do Estado”, com o objetivo de unificar toda a legislação escolar. No que se refere à edificação, entre outras providências, foi designada a formação de uma Comissão Permanente que se responsabilizou pelas condições higiênico-pedagógicas dos prédios, pela organização, fiscalização e execução

de um plano para resolver os problemas das construções escolares (BUFFA; ALMEIDA PINTO, 2002).

Neste período implementa-se a definição de critérios de projetos, com a consolidação do Código de Saboya de 1934, desempenhando o papel de norma técnica (mas reproduzia o antigo Código de Posturas de 1886) e que impunha algumas regras, dentre elas algumas mais relevantes em relação às salas de aula, transcritas por Vilanova Artigas (1999, p.92):

“Art. 435 - As escolas terão um pavimento apenas, sempre que possível, e caixa de ar de cinquenta centímetros, no mínimo, convenientemente ventilada.

Art. 436 - As escadas das escolas serão de lance reto e seus degraus não terão mais de 16 centímetros de altura nem menos de vinte e oito de largura.

Art. 437- As dimensões das salas de classes serão proporcionais ao número de alunos; estes não excederão de quarenta em cada sala e cada um disporá, no mínimo de um metro [sic] de superfície, quando duplas as carteiras, e de um metro e trinta e cinco decímetros [sic], quando individuais.

Art. 438 - A altura mínima das salas de classe será de quatro metros.

Art. 439 - A iluminação das salas de classe será de unilateral esquerda, tolerada, todavia, a bilateral esquerda direita diferencial.

Art. 440 - A iluminação artificial preferida será a elétrica, tolerada, todavia, a iluminação a gás ou álcool quando convenientemente estabelecida.

Art. 441 - As janelas das salas de classe serão abertas na altura de um metro, no mínimo, sobre o assoalho e se aproximarão do teto tanto quanto possível.

Art. 442- A superfície total das janelas de cada sala de classe corresponderá, no mínimo, à quinta parte da superfície do piso.

Art. 443 - A forma retangular será a preferida para as salas de classe e os lados do retângulo guardarão a relação de dois para três.

Art. 444 - Haverá uma latrina para cada grupo de vinte alunas ou de trinta alunos e um lavabo para cada grupo de trinta alunos ou alunas.” (SÃO PAULO, 1934 apud VILANOVA ARTIGAS, 1991, p.92).

Verifica-se, portanto, que desde 1934 já havia alguma preocupação na padronização das salas de aula e questões de conforto ambiental, principalmente na tentativa de garantir ventilação e iluminação mínimas e número máximo de ocupantes (alunos) por sala, limitando as suas dimensões. A preocupação com o conforto à acessibilidade, na determinação do projeto das escadas também merece destaque.

Novos ideais de educação começaram ser considerados na concepção dos projetos, tal como a idéia de se estabelecer um “programa”, visando contemplar um conjunto de

necessidades. Entre os pontos relevantes deste programa arquitetônico, destaca-se que as salas de aula deveriam ser amplas e claras e bem ventiladas, com dimensões de seis metros por oito metros (6mx8m), e com pé-direito de 3,60m; pintadas entre o creme e o verde claro; dependências de trabalho; um auditório; sala de educação física, jogos, canto, cinema educativo, sala de festas, de reunião; biblioteca, instalações para assistência médica, dentária e higiênica (FDE, 1998a). Foram considerados outros aspectos técnicos como ventilação, pisos, larguras de corredores e escadas, quadro negro, vestiário e instalações de água potável e sanitária. Quanto ao estilo dos prédios, a Comissão optou pela arquitetura moderna dos anos 30, estilo predominante da época (BUFFA; ALMEIDA PINTO, 2002).

Silva Neves, um dos arquitetos que compunham a Comissão propôs a construção de edifícios escolares sem nenhuma referência a estilos históricos, utilizando-se de formas geométricas simples e adotando o concreto armado que permite a estrutura independente da vedação, pátios internos sob pilotis e grandes aberturas envidraçadas. A diferença fundamental entre os edifícios construídos na primeira república e os construídos nos anos 1930 está na liberdade da sua implantação (BUFFA; ALMEIDA PINTO, 2002).

Entre os registros dos grupos escolares construídos neste segundo período destacar-se-á: o Grupo Escolar Visconde de Congonhas do Campo (1937), no atual bairro do Tatuapé; outro para o Grupo Escolar Godofredo Furtado (1936), no atual bairro de Pinheiros, na capital paulista. As plantas, em geral, em forma de “L” ou “U”, agrupam os conjuntos de salas de aula, administração e auditório. O ensino constitui o volume principal caracterizado pelas aberturas horizontais e regulares das salas de aula, contrastando com as formas verticais das escadas (FDE, 1998a).

Para o Grupo Escolar Visconde de Congonhas do Campo foram propostos dois tipos de projeto. O último, datado de 1936, e efetivamente construído, tem autoria do arquiteto José Maria da Silva Neves. Apresenta uma articulação dos corredores de dois pontos de inflexão, permitindo o isolamento dos dois corpos das salas de aula (6 salas de aula por pavimento, num total de doze salas) dispostos em apenas uma das faces do corredor, apoiadas sob pilotis criando um espaço de recreação no térreo. O volume central permite o acesso ao bloco de concentração das atividades administrativas e de apoio pedagógico e outros compartimentos como museu e biblioteca, salas de leitura, auditório, conforme ilustra a Figura 2.8.

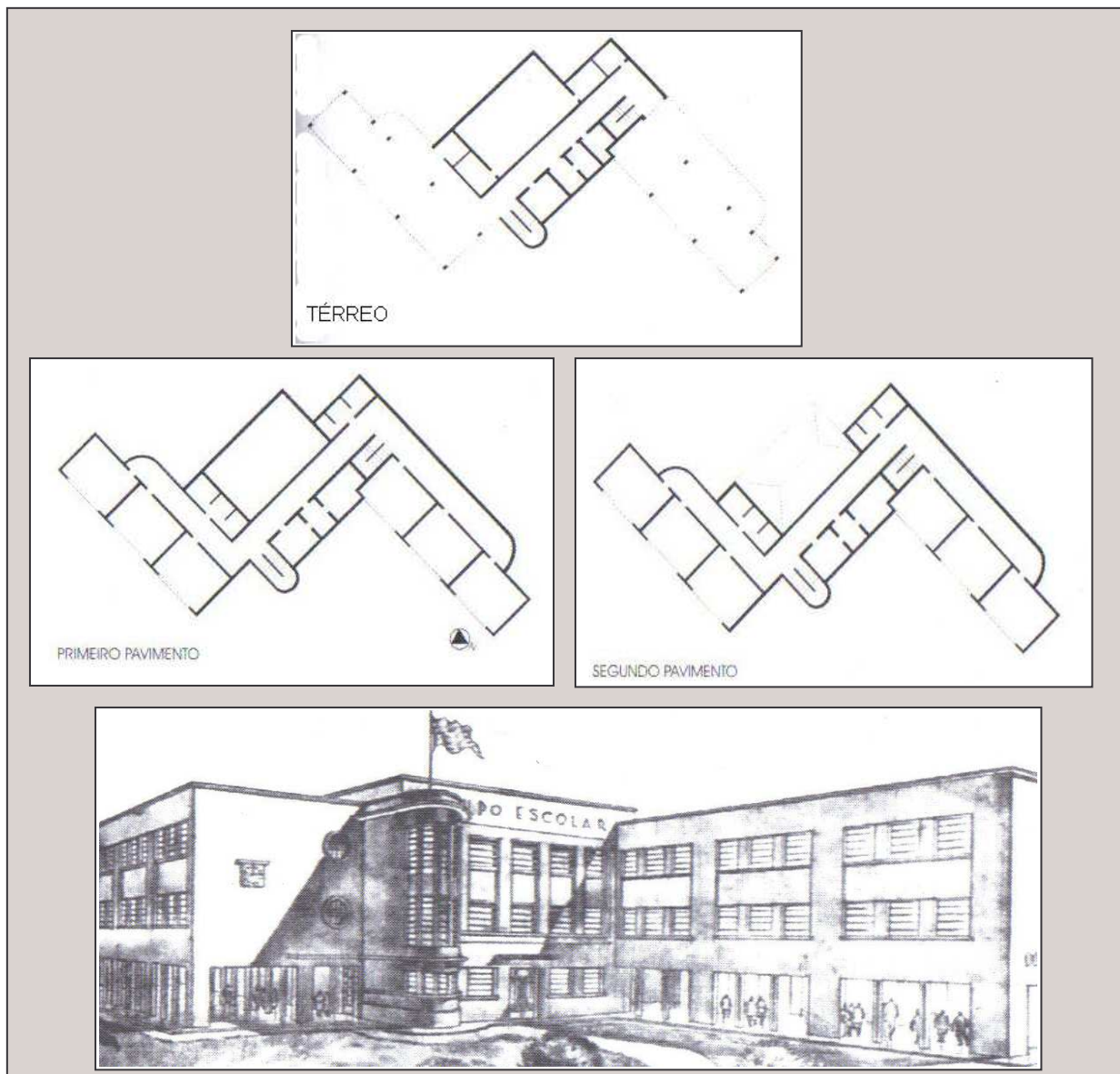


Figura 2.8: Plantas dos três pavimentos e perspectiva artística da fachada do Grupo Escolar Visconde Congonhas do Campo; autoria de José Maria da Silva Neves (1936).

Fonte: BUFFA ; ALMEIDA PINTO (2002, p.85).

Para o Grupo Escolar Godofredo Furtado (construído no bairro de Pinheiros, na capital paulista), José Maria da Silva Neves propôs em projeto com hall de entrada situado no centro do edifício que é composto de três blocos interligados por um corredor que descrevem uma figura em forma de “L”. As doze salas de aula (seis por pavimento) foram situadas em apenas uma das faces voltadas para um quadrante de insolação intensa. Este tipo de solução privilegia as questões de insolação, por outro lado encarece o custo e diminui o número de salas de aula projetadas no pavimento superior.

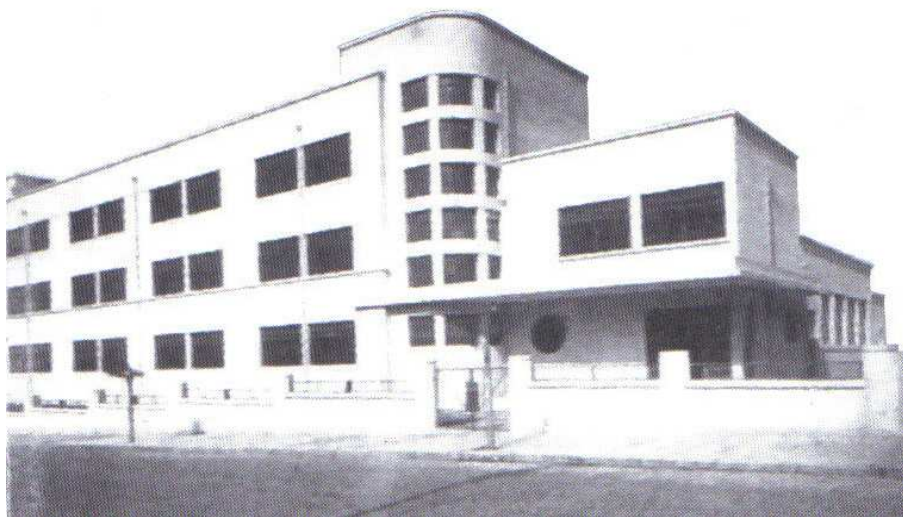


Figura 2.9: Ilustração da fachada do Grupo Escolar Godofredo Furtado, no bairro de Pinheiros, na capital paulista. Autoria de José Maria da Silva Neves (1937).

Fonte: BUFFA; ALMEIDA PINTO (2002, p.82).

A Figura 2.9 mostra a foto da fachada do Grupo Escolar Godofredo Furtado, destacando o formato da planta em “L” e as salas de aula situadas numa das faces da edificação, com aberturas (janelas) voltadas para o logradouro público.

Na década de 1940 São Paulo já era o mais importante pólo industrial do país, e, diante de uma demanda sócio-econômica era necessário acompanhamento da modernização, inclusive na construção de escolas. Então, em 1949 foi criado o “Convênio Escolar”, estabelecido entre as administrações do Estado e do Município de São Paulo, dando início ao um novo período na história da arquitetura escolar paulista (FDE, 1998a).

2.4 O Terceiro Período: a década de 1950

O período dos anos 1950 foi marcado principalmente pela atuação da Comissão Técnica formada pelo Convênio Escolar (1949-1954), estabelecido entre as administrações do Estado e do Município de São Paulo. A equipe de arquitetura formada pela Comissão do Convênio Escolar, sob a coordenação do arquiteto Hélio Duarte e com o auxílio do educador Anísio Teixeira (ex-Secretário de Educação do Estado da Bahia), propôs uma nova filosofia no ensino básico para São Paulo e a visão de que a escola poderia representar uma fonte de integração

com a comunidade, destacando-se projetos inspirados no que havia de mais atual na Europa e Estados Unidos, como salas de aula baseadas no quadrado, circulações através de rampas, jardins internos e a introdução de quebra-sóis (*"brise-soleil"*) (ORNSTEIN; BORELLI NETO, 1995).

Após realizar uma análise nas escolas, a Comissão chegou à conclusão de que o projeto do edifício escolar depende do projeto pedagógico. Para isso, era necessário incorporar a linguagem e elementos arquitetônicos da composição da arquitetura moderna, o que se consolidou nesta década.

Durante os anos 1950, a industrialização em São Paulo, incrementada pela política desenvolvimentista do Presidente Juscelino Kubistchek, acelerava a urbanização e o mercado de trabalho necessitava de pessoal escolarizado. Havia então, a necessidade de se edificar a curto prazo e com poucas verbas para custeá-lo, comprometendo a qualidade das obras. A falta ou deficiência de detalhamento ou mesmo ausência de especificações dos materiais de acabamento foram características constantes dos projetos (ORNSTEIN; BORELLI NETO, 1995).

Para representar a construção das escolas públicas deste período da arquitetura paulista, destacar-se-á duas escolas, construídas no início da década de 50: o Grupo Escolar Visconde de Taunay e o Grupo Escolar Pandiá Calógeras, ambas localizadas na capital paulista.

Para o Grupo Escolar Visconde de Taunay, no bairro do Limão, o arquiteto Hélio Duarte propôs em edifício composto por três blocos independentes interligados através de um pátio. De um conjunto de 12 blocos, um com dois andares constitui o maior edifício. No centro do bloco localiza-se o corredor que distribui as salas e a caixa da escada, ficando três salas de aula de um lado e três do outro. O pavimento superior é semelhante e em cada extremidade do conjunto de salas de aula, dois blocos menores abrigam outros setores como: biblioteca, assistência social, dentista, administrativos, vestiários, cozinha e dependências para serviços gerais. Os pátios de recreação e prática de esportes eram separados dos blocos, sendo interligados por passadiços cobertos.

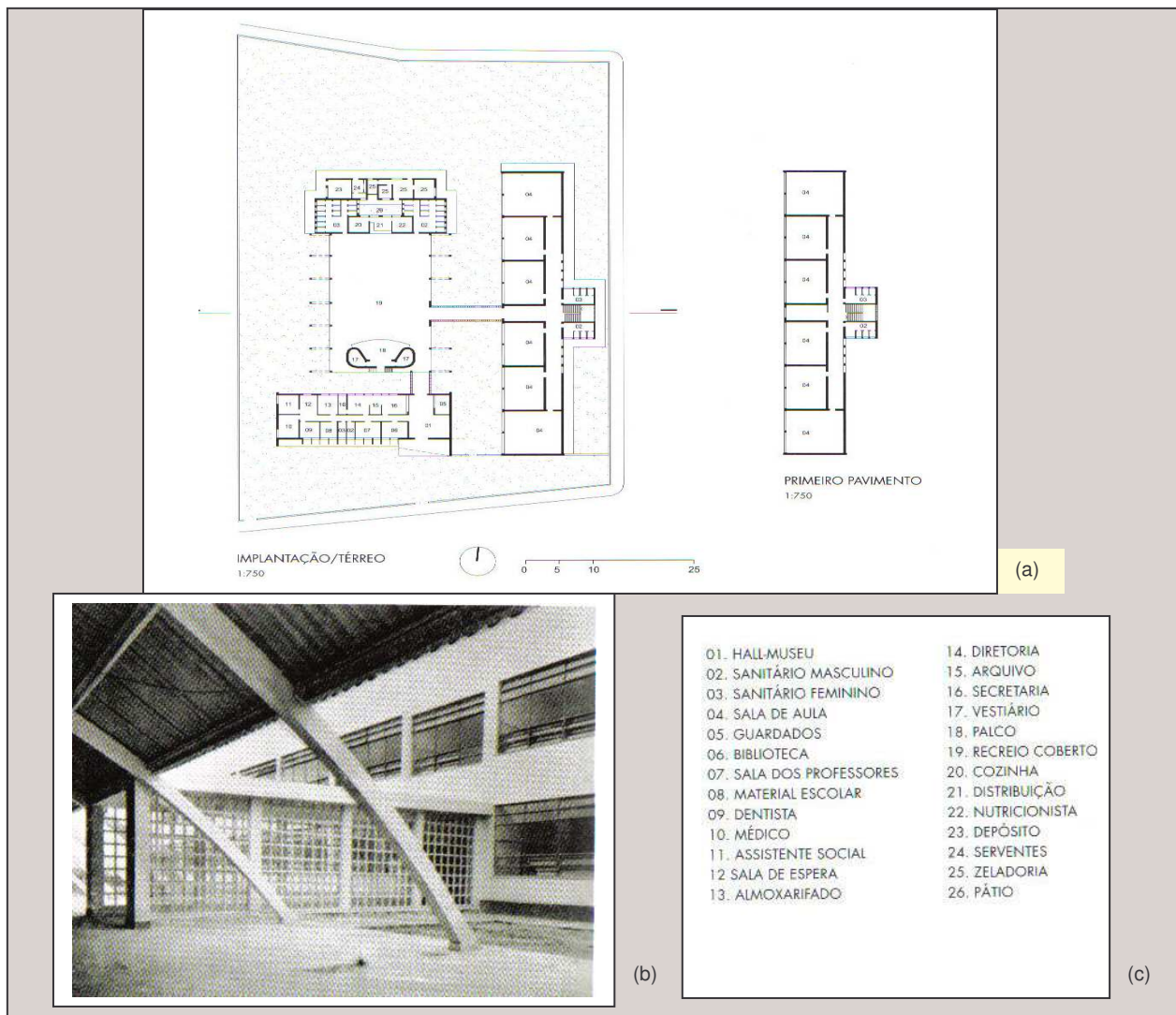


Figura 2.10: Grupo Escolar Visconde de Taunay (1951), de autoria de Hélió Duarte. Em (a): da plantas baixas do pavimento térreo e superior; (b): foto da fachada; (c): legenda.

Fonte: FDE (2006a, p. 110).

As plantas baixas indicam a projeção de 6 salas de aula no pavimento térreo todas de formato retangular, com dimensões de 6,0mx8,0m, e de 6 salas de aula no pavimento superior, com mesmas dimensões sendo que as duas locadas nas extremidades da planta são de dimensões maiores (9,0mx8,0m), adaptando-se à projeção do pavimento. O pé-direito indicado em corte é de 3,0m. Esta configuração de sala de aula é semelhante às da EE Adalberto Nascimento avaliada neste trabalho.

O edifício do Grupo Escolar Pandiá Calógeras foi inaugurado em 1951 para abrigar o antigo “Grupo Escolar da Mooca”, é modulado construído de materiais simples, destacando seus elementos em concreto armado e telhado de fibrocimento. Em 1956 foi anexado ao edifício o ginásio estadual do Jardim Sapobemba, tornando-se a EEPSG (atual EE) Pandiá Calógeras, na Avenida Paes de Barros, no bairro da Móoca.

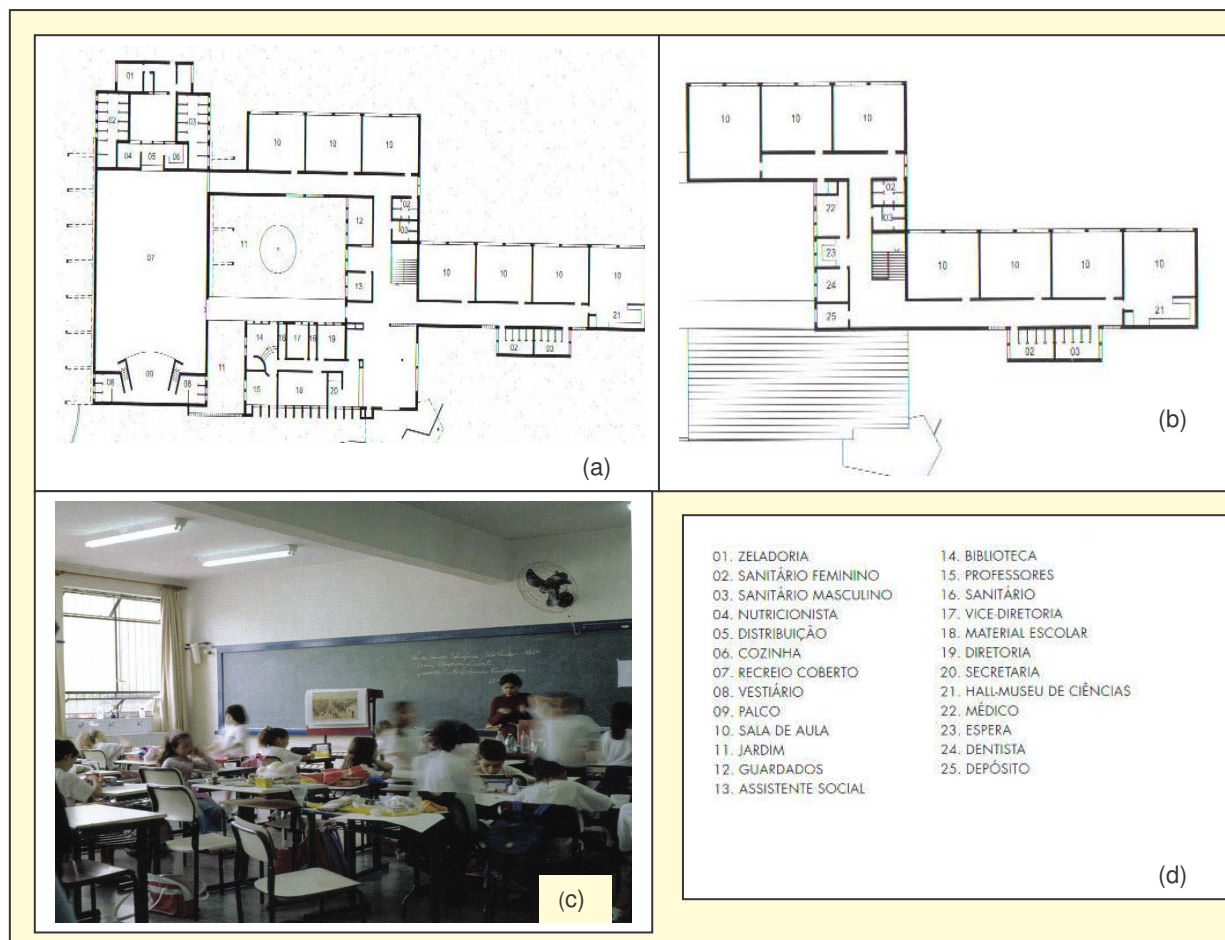


Figura 2.11: Grupo Escolar Pandiá Calógeras (1951) de autoria de Hélio Duarte. Em (a): da planta baixa do pavimento térreo; (b): planta baixa do pavimento superior; (c): foto de uma sala de aula; (d): legenda. Atual EE Pandiá Calógeras.

Fonte: FDE (2006a, p.106-109).

As plantas baixas indicam a projeção de 7 salas de aula no pavimento térreo, todas de formato retangular, com dimensões 6,0mx,80m, e de 7 salas de aula no pavimento superior com mesmas dimensões, sendo que uma delas, locada na extremidade da planta apresenta dimensão maior (8,0mx9,0m), adaptando-se à projeção do pavimento. O pé-direito indicado é de 3,00m.

Durante os anos 1950, a arquitetura externa representava a consolidação da modernidade, através das formas geométricas simples e o concreto aparente, implantação de ruas e pátios internos. Porém, certos detalhes importantes foram negligenciados, como por exemplo, a locação da biblioteca entre salas de aula, sanitários distantes das salas, assim como, quesitos de conforto térmico, acústico e iluminação muitas vezes eram preteridos em função da forma.

Em 1959, os arquitetos Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi propuseram o projeto e implantação da primeira escola com pátio de recreio coberto para a cidade de Itanhaém, no litoral sul paulista, dando início a novos rumos na arquitetura escolar paulista.

2.5 O Quarto Período: a década de 1960

Na visão de Vilanova Artigas (1999), a situação vivida pelo Brasil no final da década de 50 e início dos anos 1960 exigia uma nova concepção na arquitetura. Então, propôs a produção de prédios educacionais aplicando-se novas técnicas construtivas, como os elementos pré-fabricados, por exemplo.

Neste período, destacam-se as escolas executadas pelo Fundo Estadual de Construções Escolares (FECE) e pelo IPESP, que desde 1957 (pós a extinção do Convênio Escolar em 1954) atuou provisoriamente como construtor de escolas.

Para Buffa e Almeida Pinto (2002), nos anos 1960 as referências arquitetônicas já estavam consolidadas com os preceitos da arquitetura moderna. O processo construtivo dos edifícios era o da estrutura de concreto independente, destacando-se o *pilotis* (pavimento sem fechamentos- área livre- que funcionavam como pátios de recreação). Os fechamentos eram do tipo alvenaria de tijolos, as coberturas de telhas de fibrocimento sobre lajes pré-fabricadas, ora aparentes, ora posterior à platibanda. Na falta do telhado a laje era impermeabilizada, as quais se estendiam na forma de marquises de acesso e proteção de entradas e circulações externas (FDE, 1998a).

Nos ambientes internos, os pisos eram tacos de madeira; ladrilhos cerâmicos para os sanitários e circulações, escadas de concreto revestidas de granilite; o galpão era cimentado; as janelas eram de caixilhos metálicos (ferro) e, na tentativa de ventilação cruzada nas salas

de aula, aplicava-se de tubos circulares de cimento amianto embutidos nas paredes do lado oposto às janelas. As portas eram de madeira do tipo embuia envernizadas (FDE, 1998a).

Como exemplo de escola paulista dos anos 1960, pode-se citar a Escola de Guarulhos, projetada por Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi, em 1962 (atual EE Conselheiro Crispiniano).

Através das plantas baixas Escola de Guarulhos, ilustradas na Figura 2.12, observa-se 4 salas de aula com formato quadrado, separadas de outro bloco contendo outras 12 salas com formato retangular e voltadas para o pátio de recreação coberto. No pavimento superior verifica-se mais 8 salas de formato retangular, mesmo estando projetadas no mesmo bloco e sobre as quatro salas de formato quadrado. O pavimento inferior contém apenas setores de serviço.

As quadras de esporte foram locadas em bloco paralelo ao bloco das doze salas de aula e entre eles foram locados: o auditório, a biblioteca, o pátio e demais dependências para atendimento pedagógico e administrativo.

Outros exemplos da arquitetura escolar paulista dos anos 1960 serão apresentados no Item 2.9, por se referir especificamente às escolas implantadas na cidade de Campinas.

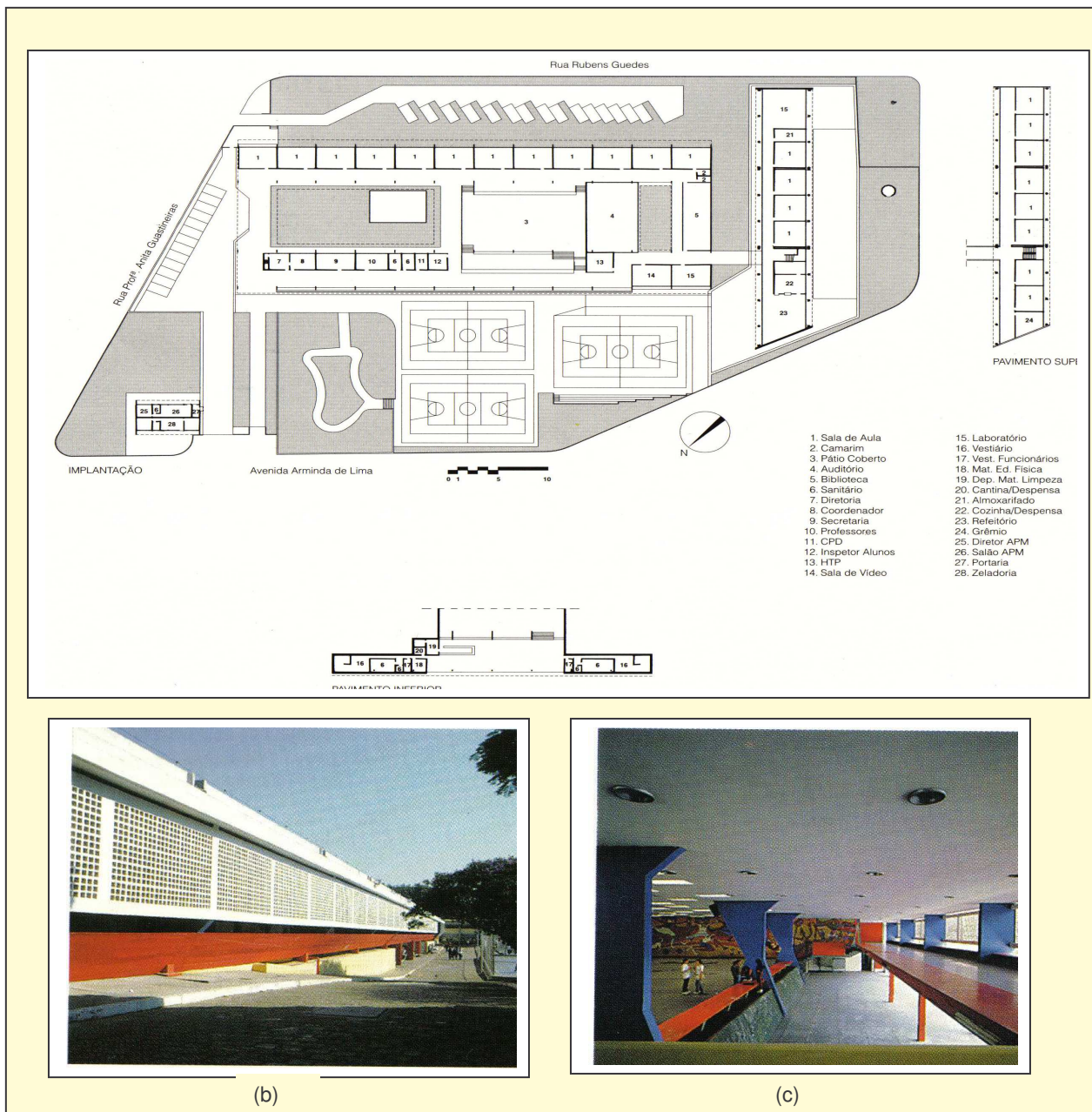


Figura 2.12: Escola de Guarulhos (1962), autoria de Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi. Em (a): plantas baixas térreo, dos pavimentos superior e inferior; (b): vista da fachada; (c): vista do pátio interno.

Fonte: FDE (1998a, p.218, 33 e 222).

2.6 O Quinto Período: as décadas de 1970 e 1980

A Lei de Diretrizes e Bases (Lei nº 5.692, de 11 de agosto de 1971), que norteou o sistema educacional a partir de 1971, atribuiu ao Estado a responsabilidade pelo ensino fundamental. A questão da demanda escolar era cada vez mais crítica no Estado de São Paulo. Não era fácil pensar numa rede de escolas, definir quantas, onde serão e a quem atenderão. Também era preciso saber quanto custariam, pois a verba era limitada, assim, um sistema de construções escolares começou a ser engendrado. Estas questões estavam presentes nas preocupações dos arquitetos que planejaram a rede de ensino na década de 1970 (BRITO CRUZ; CARVALHO, 2004).

Como exemplos de projeto arquitetônico escolar dos anos 1970, apresentar-se-á um projeto elaborado para a Escola Estadual do Jardim Santo Afonso, em 1975 na cidade de Guarulhos.

O projeto de autoria de Ubyrajara Gilioli, caracteriza-se por um partido que rompe com esquemas convencionais. O programa arquitetônico simples é distribuído em um grande corredor que dá acesso às dependências escolares. As paredes são de alvenaria de blocos aparentes de concreto; o teto é de laje pré-moldada, com cobertura de telhas de fibrocimento. A modéstia dos materiais empregados é consequência da política governamental da época, que visava diminuir custos e prazos de construção (XAVIER; LEMOS; CORONA, 1983).

Conforme mostra a Figura 2.13, o edifício é constituído em um único pavimento de planta simples, contendo 6 salas de aula com formato quadrado, com dimensões de aproximadamente 6,50mx6,50m. A altura não está indicada em planta.

Em 1976, já no Governo de Paulo Egydio Martins, foi criada a CONESP, que tinha como proposta básica a sintetização e itemização das principais informações necessárias aos projetistas para a elaboração dos projetos. Para tanto, foram elaboradas normas estabelecidas para cada etapa, baseados em catálogos de componentes de serviços, conjuntos funcionais e seus ambientes, além das normas para apresentação dos projetos e para a composição da estrutura funcional das escolas. Os escritórios de arquitetura eram contratados para este tipo de prestação de serviços, agilizando a implementação das edificações e propiciando concorrências públicas (ORNSTEIN; BORELLI NETO, 1995).

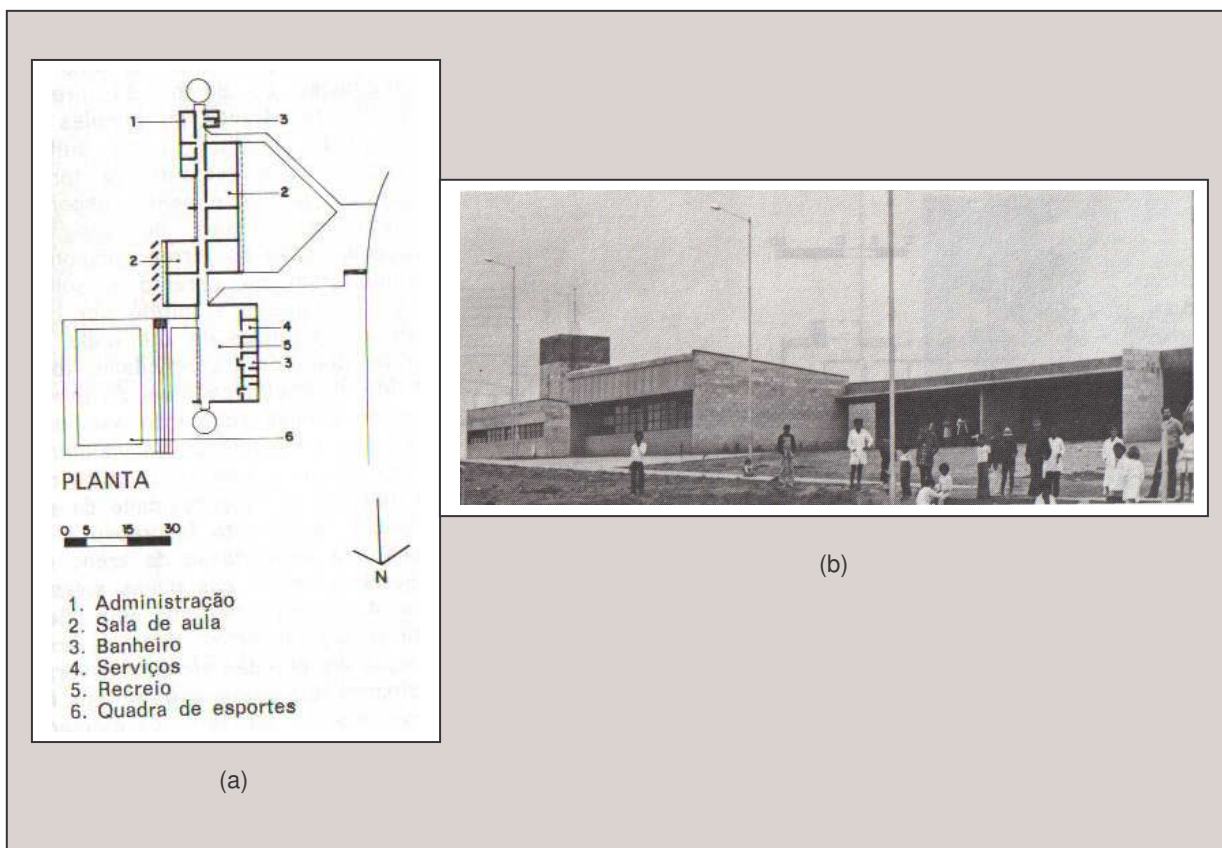


Figura 2.13: Escola Estadual do Jardim Santo Afonso (1975), na cidade de Guarulhos. Autoria de Ubyrajara Gilioli. Em (a): Planta baixa; (b): fachada.

Fonte: XAVIER; LEMOS; CORONA (1983, p.185).

A racionalização era, de fato, a única maneira de suprir a demanda. Em vez de optar pela aplicação de um “projeto-padrão”, que poderia até parecer mais fácil, os responsáveis na CONESP preferiram seguir por um outro caminho, mais difícil, porém, mais eficiente. O processo de projeto assimilou a normatização de componentes e geometrias do prédio e seus ambientes.

As diretrizes de projeto propostas pela CONESP (1985) refere-se à uma modulação de 90cmx90cm em planta baixa, permitindo facilidade na articulação entre os módulos. Para a modulação vertical recomendava-se um multimódulo de projeto igual a 20cm. Os programas arquitetônicos definem a quantidade dos ambientes e respectivas áreas construídas, que deveriam ser múltiplas de 0,81m². O dimensionamento das salas deveria ser efetuado em função da capacidade de atendimento e foi estabelecida em 51,84m² de área construída para as salas de aula comum ou multiuso, e de 77,76m² para as salas de aula prática. As

dimensões em planta propostas para as salas comuns são de 7,20mx7,20m, cotadas de eixo a eixo, conforme mostra a Figura 2.14 (CONESP, 1985).

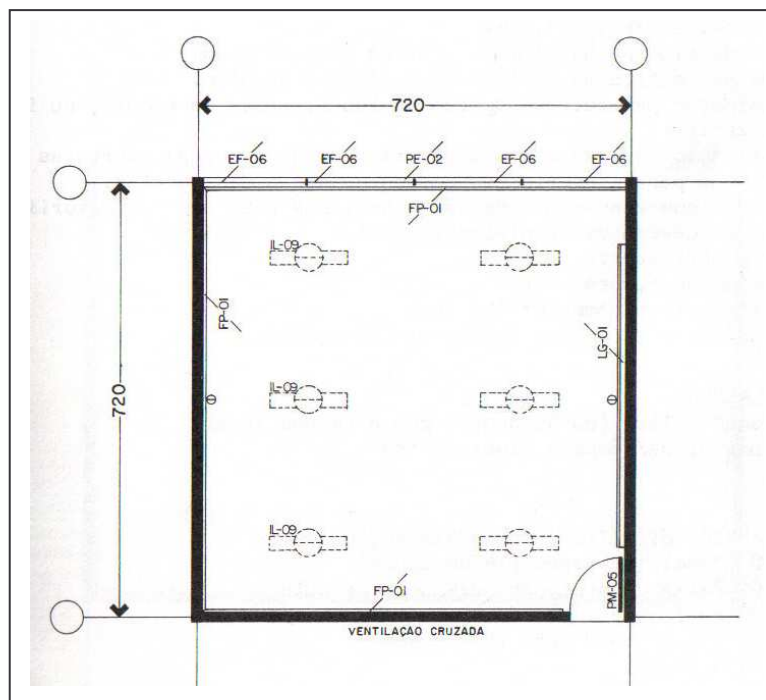


Figura 2.14: Planta baixa das salas de aula comuns, conforme Especificações técnicas da Superintendência de Projetos da CONESP.

Fonte: CONESP (1985, p. ficha 020-1/2).

Estabeleceu-se, ainda, o pé-direito mínimo e que uma sala de aula deve ter uma área específica de iluminação natural para garantir condições de leitura e estudo em seu interior. Os arquitetos procuravam soluções adequadas a cada local e a cada situação, sempre levando em consideração o sistema de padronização, que definia não só dimensões, mas também processos e materiais.

Desde 1987 a Fundação para o Desenvolvimento da Escola (FDE) é órgão da Secretaria de Estado da Educação de São Paulo e responsável pela produção da arquitetura escolar oficial paulista, desenvolvendo trabalhos com a finalidade de aprimorar premissas básicas para o ensino público, tanto em propostas pedagógicas como na construção de estabelecimentos de ensino, representando um novo marco na história das escolas paulistas.

2.7 O Sexto Período: a partir de 1990 até os dias atuais (2007)

A Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE) foi criada em 1987 e desde então, as edificações escolares foram planejadas de acordo com padrões pré-estabelecidos pela “cartilha” ou Manual de Recomendações, o qual vem sendo revisto e complementado com o intuito de orientar os arquitetos quanto à concepção arquitetônica (SERAPIÃO, 2004).

Nos anos 1990 a FDE, com auxílio de pesquisadores e colaboradores realizou um diagnóstico da situação das escolas públicas no estado de São Paulo. A partir de então, a FDE investiu na restauração, preservação e ampliação de escolas, bem como em propostas pedagógicas fundamentais, especialmente na reorganização escolar das novas escolas projetadas a partir de 1995. Em 1998 tinham sido construídas (ou em fase de conclusão) 3690 salas de aula no Estado de São Paulo, conforme mostra a Figura 2.15 (FDE, 1998b).

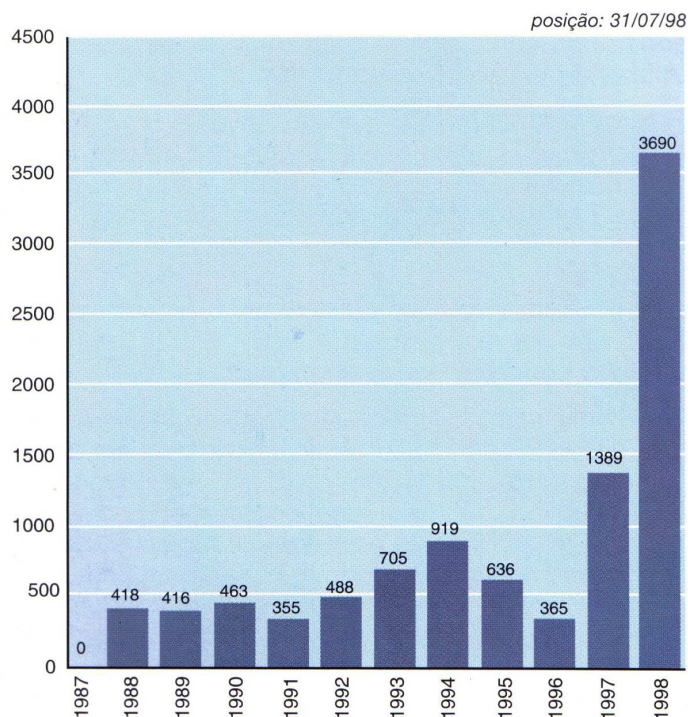


Figura 2.15: Estatística das salas de aula no Estado de São Paulo, administradas pela FDE no período de 1987 a 1998 (posição até 31/07/98).

Fonte: FDE (1998, p.30).

Ao observar as plantas baixas das escolas construídas entre 1995-1998 (FDE, 1998b), verifica-se a projeção de salas de aula com dimensões internas de 7,00x7,00m. Esta padronização foi herdada das especificações da CONESP (1985). As edificações apresentam partido arquitetônico com edificação de três pavimentos, constituindo um bloco monolítico. Para a elaboração do projeto eram contratados escritórios de arquitetura o que permitia originalidades na implantação e principalmente no tratamento das fachadas.

A Figura 2.16 ilustra um exemplo de arquitetura escolar típica dos anos 1990: o projeto da EEPSPG (atual EE) Professor Jesus José Attab (1995-1998), no município de Parelheiros, com autoria do escritório Ferro, Lieders & Talaat Arquitetura S/C Ltda. Através das plantas baixas verifica-se a projeção das salas de aula nos pavimentos superiores (2.º e 3.º), com um total de 12 salas de aula comuns, cada uma contendo as dimensões de 7,0x7,0m. O pé-direito indicado em corte é de 3,50m.

A partir dos anos 2000, o sistema construtivo de estruturas pré-moldadas vem sendo planejado e implantado pela FDE, com o objetivo de garantir melhor qualidade, durabilidade, menor custo e manutenção e redução de prazos de viabilização da obra. Algumas experiências feitas em estrutura mostraram-se inviáveis pelo alto valor da obra. As peças pré-dimensionadas da estrutura pré-fabricada possibilitam a produção em fábrica (FDE, 2006b).

Os projetos são elaborados por escritórios particulares de arquitetura, contratados pelo Governo do Estado através da FDE. Alguns projetos apresentam aspectos arquitetônicos além do convencional estabelecido, tal como a proposta de novos fechamentos utilizando-se venezianas industriais translúcidas e telas metálicas.

Após uma época de construção de escolas padronizadas, os projetos atuais são diferenciados, onde foram estabelecidas apenas as modulações-padrão (10,80x7,20m), limitações de áreas construídas e as especificações nas instalações e dos materiais construtivos. Destaca-se o retorno da quadra de esportes coberta, proposta pioneira de Vilanova Artigas, possibilitando o uso compartilhado por alunos, família e comunidade, cujo idealismo já fora vivenciado na década de 1940.

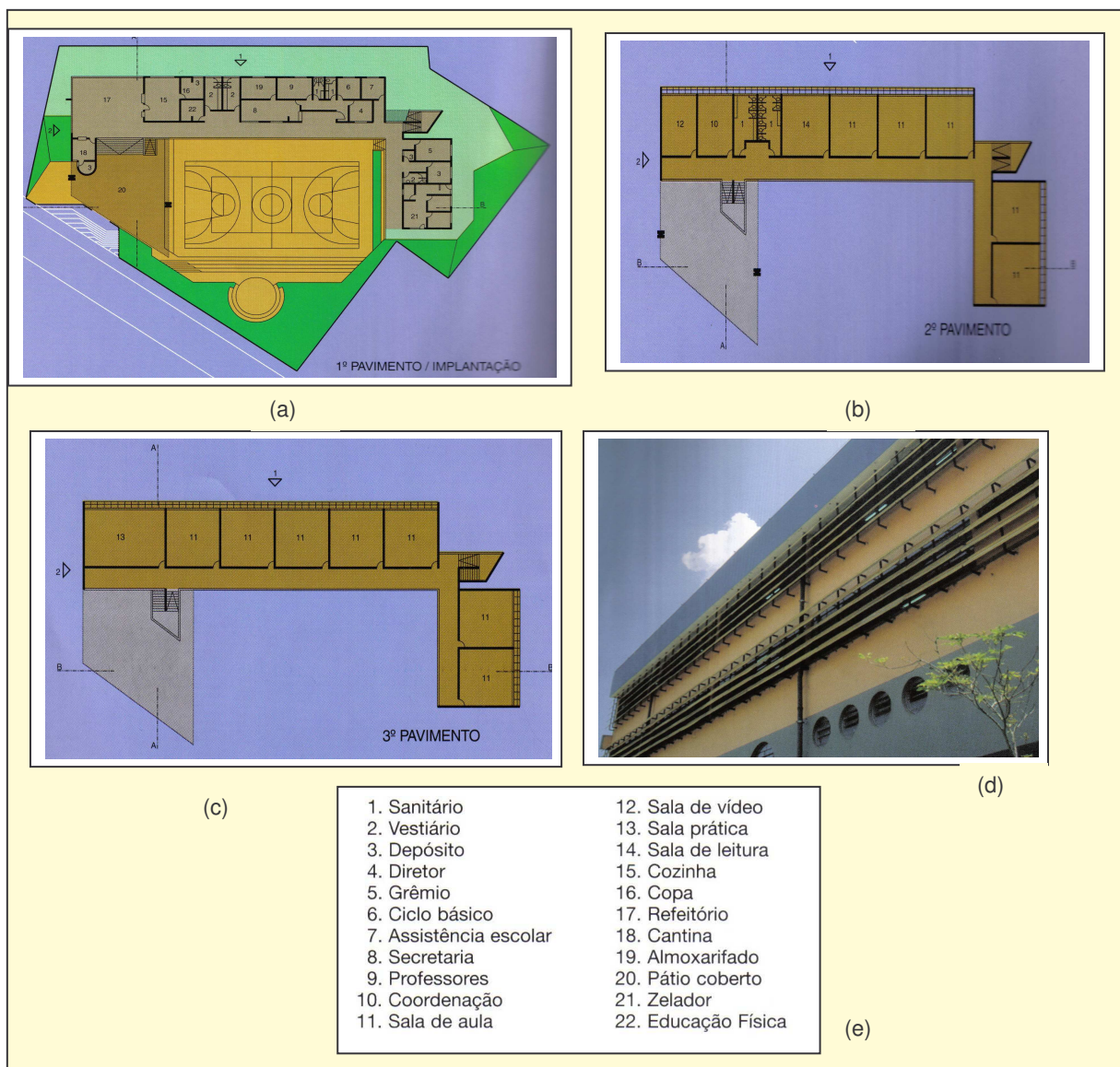


Figura 2.16: EE Professor Jesus José Attab (1995-1998), em Parelheiros, São Paulo. Em (a): planta baixa do 1.º pavimento e implantação; (b): planta baixa do 2.º pavimento; (c): planta baixa do 3.º pavimento; (d) fachada; (e) legenda.

Fonte: FDE (1998b, p.127-128).

Segundo Serapião (2004), a incorporação das salas ambientes de informática e da quadra de esportes amplia as funções do prédio e incentiva a sua maior utilização. No caso das quadras ainda, ao estar ligadas ou próximas aos ambientes de vivência-recreio, cozinha, refeitório, cantina e sanitários, permite que atividades de jogos, festas e reuniões sejam constantes, o que gera uma mudança significativa do partido arquitetônico nos projetos apresentados, dando novo valor a esse espaço, inclusive com a utilização aos fins de semana pela comunidade, devido ao Projeto Escola da Família.

Esta incorporação da quadra de esportes coberta junto ao prédio das salas representa uma decisão contrária às recomendações quanto ao conforto acústico. É uma afronta à idealização da construção de edificações escolares com menor influência do ruído externo, principalmente quanto à locação das salas de aula, estudo e biblioteca. A quadra locada junto aos demais compartimentos da escola proporciona incômodo acústico intermitente, fato que se agrava durante as aulas de educação física.

O mais agravante ocorre quando os sanitários são locadas em apenas um dos pavimentos, contribuindo para o constante trânsito de alunos nas escadas, na quadra de esportes e demais circulações, como ocorre atualmente em escola recentemente projetada e construída em Campinas.

Outro fato que merece atenção e revisão dos projetistas de escolas quanto às quadras de esportes é a locação desta sobre laje das salas de aula, isto é, locação de quadras no pavimento imediatamente superior a uma sala de aula. Apesar das recomendações da FDE de se prever o tratamento acústico entre pavimentos para evitar a transmissão do ruído de impacto, há reclamações dos usuários, como ocorre na escola Telêmaco Paioli, em Campinas (avaliada neste trabalho).

As diretrizes de projeto da FDE são apresentadas em dois catálogos que auxiliam no desenvolvimento pelos arquitetos contratados. O catálogo de componentes disponibiliza o projeto básico, no qual estão contidos o anteprojeto de arquitetura, o pré-dimensionamento das peças estruturais e especificações técnicas da estrutura, fundações, instalações hidráulicas e elétricas, além dos subsídios, os componentes e serviços estabelecidos.

Entre as diretrizes de projeto estabelecidas pela FDE (2003) destaca-se o que foi denominado de “programas arquitetônicos”. Não representa um programa de necessidades, pois determina apenas três modelos de escolas (módulos com 4 a 7 salas, com 8 a 11 salas e com 12 a 15 salas) e os principais ambientes que deve conter cada uma, de acordo com o grau de ensino que ela disponibilizará (Ensino Fundamental – Ciclo I ou Ensino Fundamental Ciclo II e Médio). Determinou-se também a quantidade de cada ambiente e respectivas áreas mínimas, constituindo um quadro de áreas, apresentado na Figura 2.17, que corresponde ao Ensino Fundamental-Ciclo I (1.^a a 4.^a séries) e na Figura 2.18, que corresponde ao Ensino Fundamental Ciclo II (5.^a a 8.^a séries) e Médio.

Ambientes		Programas Arquitetônicos					
		ENSINO FUNDAMENTAL - Ciclo I (1ª a 4ª séries) Módulos 1 a 3					
Ciclo I	Ambientes Pedagógico	M1 4 a 7 salas		M2 8 a 11 salas		M3 12 a 15 salas	
		Quant.	Área Unit. (m²)	Quant.	Área Unit. (m²)	Quant.	Área Unit. (m²)
	Sala de Aula	4/7	51,84	8/11	51,84	12/15	51,84
	Sala de Reforço	1	25,92	2	25,92	2	25,92
	Uso Múltiplo	1	77,76	1	77,76	1	77,76
	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
	Depósito	1	12,96	1	12,96	1	12,96

Figura 2.17: Recomendações (parciais) para ambientes escolares do Ensino Fundamental-Ciclo I.

Fonte: FDE (2003).

Programas Arquitetônicos						Ambientes	
ENSINO FUNDAMENTAL - Ciclo II (5ª a 8ª séries) E ENSINO MÉDIO Módulos 4 a 6							
Ciclo II / E.M.	M4 4 a 7 salas		M5 8 a 11 salas		M6 12 a 15 salas		
	Quant.	Área Unit. (m²)	Quant.	Área Unit. (m²)	Quant.	Área Unit. (m²)	
	4/7	51,84	8/11	51,84	12/15	51,84	
	1	25,92	2	25,92	2	25,92	
	-	-	1	77,76	1	77,76	
	1	77,76	1	77,76	1	77,76	
	1	77,76	1	77,76	1	77,76	
	1	12,96	1	12,96	1	12,96	
						Ambientes Pedagógico	
						Sala de Aula	
						Sala de Reforço	
						Uso Múltiplo	
						Centro de Leitura	
						Informática	
						Depósito	

Figura 2.18: Recomendações (parciais) para ambientes escolares do Ensino Fundamental-Ciclo II e Médio.

Fonte: FDE (2003).

A partir das Figuras 2.17 e 2.18, observa-se que, independente dos tipos de módulos (número de salas projetadas para a edificação) ou o tipo pedagógico determinado (Ensino Fundamental- Ciclo I e II e Ensino Médio), as seguintes diretrizes de projeto para dimensões de salas de aula são:

a) Salas de aula comuns: área total construída de 51,84m². A FDE (2003) não se refere à área útil interna das salas. Considerando a modulação de um dos lados com 7,20m e paredes com 15cm de espessura, trata-se de uma sala com dimensões de 7,05mx7,05m, e de área útil interna de 49,70m².

b) Salas de aula de reforço: área total construída de 25,92m², constituindo a metade da sala de aula comum. As dimensões internas são de 3,45mx7,05m, com área útil de 24,32m².

c) Salas de uso múltiplo: área total construída de 77,76m². Considerando a modulação-padrão de área construída de 10,80mx7,20m, as dimensões internas são de 10,60mx7,05m, com área útil de 74,73m².

As salas de aula comuns foram padronizadas quanto às dimensões em planta. A determinação da área construída de 51,84m², permitem dimensões para salas de aula quadradas de 7,00m ou 7,05m de largura e 7,00m ou 7,05m de comprimento.

Do ponto de vista dos materiais de acabamento foi especificado o piso cerâmico, vinílico de 2,5 milímetros e de placas alta resistência (tipo granilite). O uso de “*brise-soleil*” foi retomado nas salas de aula utilizando materiais metálicos, como chapas perfuradas e elementos de PVC.

As especificações de altura ou pé-direito não estão explícitas nas recomendações da FDE. No levantamento realizado nas escolas verificou-se a “não padronização” desta dimensão, ou seja, foram constatadas diferentes dimensões para as alturas das salas, tais como: 3,13m e 2,92m para salas de 7,05mx7,05m, com mesmas características construtivas.

Os elementos vazados também estão presentes permitindo maior iluminação e ventilação naturais dos ambientes. Questiona-se aqui se há estudo dos parâmetros de conforto ambiental, uma vez que a FDE permite livre escolha do projetista contratado, quanto à altura da sala e aberturas.

Outro fato relevante observado nas novas escolas estaduais (inauguradas no ano de 2003, em Campinas) refere-se à distribuição do espaço e ao uso das salas de reforço e multiuso. Várias das salas de aula projetadas para reforço são utilizadas para outros fins como: copa, sala de professores e depósito de materiais didáticos e/ou mobiliário ou de limpeza.

Caso semelhante ocorre com as salas projetadas para multiuso onde estão sendo “subdivididas” improvisadamente pelas diretorias, transformando-as em dois ambientes sem estudos técnicos necessários. Por exemplo, há salas de estudo transformadas em duas, de multimídia e estudos, através da instalação de painéis de divisória em madeira compensada. Não existe estudo do conforto ambiental para esta nova situação. Verifica-se, portanto, que há necessidade ainda do diálogo entre projetistas e pedagogos/ administradores de escolas para se chegar a um consenso no planejamento das escolas.

Além disso, os programas deveriam ser padronizados prevendo-se o uso do ambiente para diferentes metodologias, conforme a própria FDE (2003) sugere nos seus catálogos técnicos.

A Figura 2.19 ilustra as diversas possibilidades de uso do ambiente da sala de aula, recomendados pela FDE e contidos nos Catálogos técnicos (FDE, 2003), que são: Sala de aula (arranjo diagonal/grupos de 4 alunos); Sala de aula (arranjo centralizado); Sala de aula (arranjo para grupos de 8 alunos); Sala de aula (arranjo com móveis empilhados); sala de aula (arranjo para grupos heterogêneos); Salas Multiuso (educação artística).

A leitura dos projetos das escolas dos anos 2000 permite identificar quatro tipos de tipologias dominantes: escolas compactadas e verticalizadas; escolas horizontais com a quadra em seu centro; escolas dispostas em mais de um volume e escolas longitudinais (FDE, 2006b), conforme um exemplo apresentado a seguir.

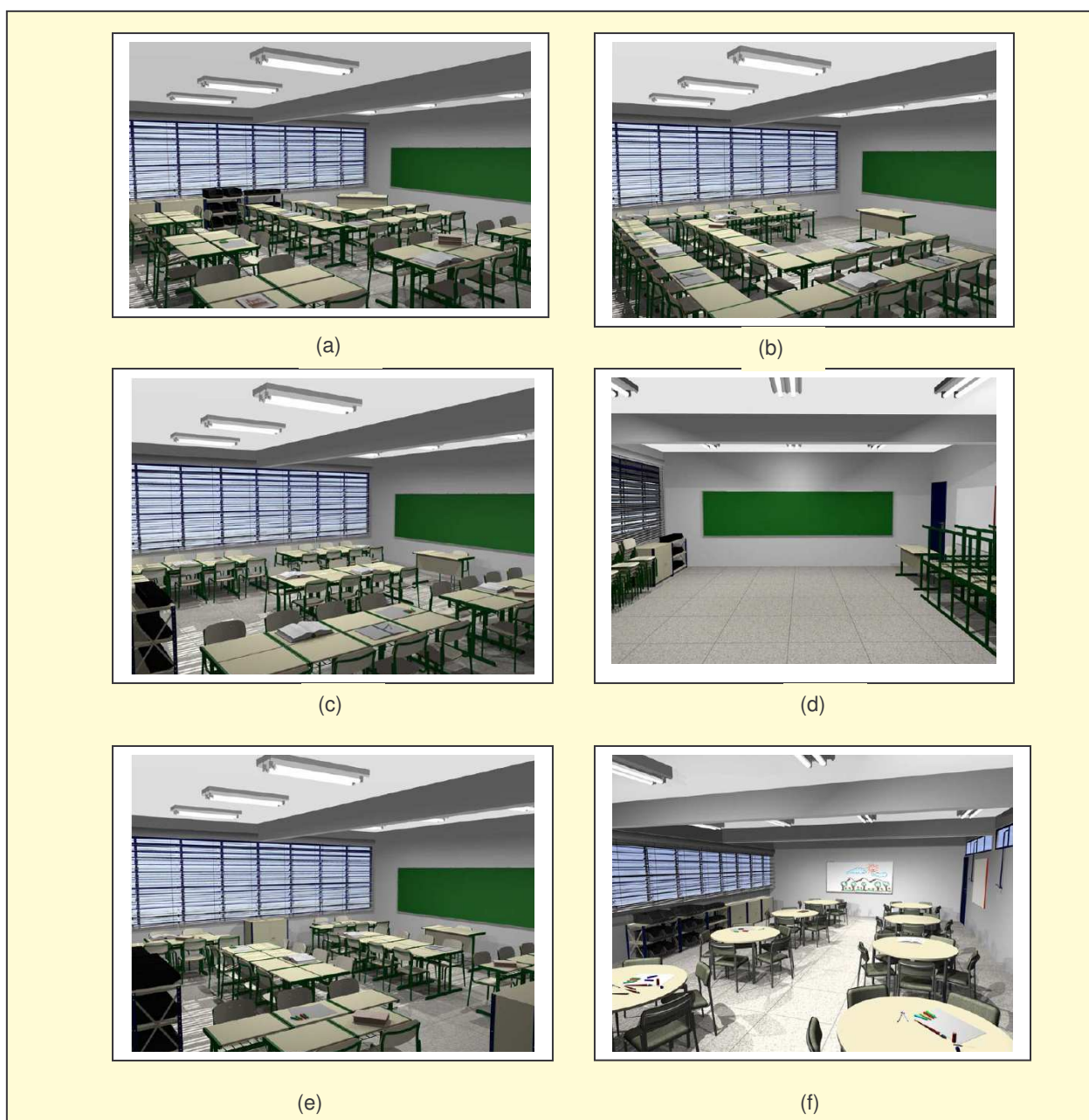


Figura 2.19: Ilustração dos tipos de uso do ambiente da sala de aula, propostos pela FDE. (a): Sala de aula (arranjo diagonal/grupos de 4 alunos); (b): Sala de aula (arranjo centralizado); (c): Sala de aula (arranjo para grupos de 8 alunos); (d): Sala de aula (arranjo com móveis empilhados); (e): sala de aula (arranjo para grupos heterogêneos); (f): Salas Multiuso (educação artística).

Fonte: FDE (2003).

A partir da visualização das plantas baixas da EE Jardim São João (localizada no bairro de Campo Limpo, capital paulista) e mostradas na Figura 2.20, é possível verificar a simetria das salas de aula e a tipologia longitudinal, envolvendo blocos únicos e resultando num volume compacto, em função do terreno. A edificação é composta de três pavimentos e um vazio central com iluminação zenital. A quadra de esportes em pé-direito triplo foi implantada no térreo em continuidade ao edifício.



Figura 2.20: EE São João, bairro Campo Limpo (2003). Em (a): planta baixa térreo e implantação; (b): planta baixa 1.º pavimento (c): planta baixa 2.º pavimento; (d): planta baixa 3.º pavimento; (e): corte transversal; (f): fachadas.

Fonte: FDE (2006b, p.117-121).

Outros projetos que apresentam concepções arquitetônicas e padrões semelhantes à EE São João foram executados em Campinas e em outras cidades do Estado de São Paulo, assim como outros projetos que estão em fase de licitação e já em construção (FDE, 2006b).

No âmbito municipal, o processo da presença das escolas das grandes cidades, além de crítico e até contraditório, mostra uma outra proposta ainda em fase de implantação: os Centros de Educação Unificados (CEU's), da Prefeitura Municipal de São Paulo (BRITO CRUZ; CARVALHO, 2004). Os CEU's foram criados prioritariamente em regiões da capital paulista desprovidas de infra-estrutura e serviços. Com a finalidade de integralização da escola com a comunidade, a proposta visa a reunião de ações educativas em um só local, otimizando equipamentos e serviços (BRITO CRUZ; CARVALHO, 2004). O conceito pedagógico toma como referência o modelo escolar idealizado pelo educador baiano Anísio Teixeira, na década de 50, da construção de escolas-parque (MELENDEZ, 2003).

O projeto arquitetônico dos CEU's é elaborado em conjunto com a FDE. A concentração dos serviços oferecidos faz-se através de blocos de edifícios para atender os ensinos de educação infantil e fundamental, complementados por blocos para instalação de creches, telecentros, padarias, centro comunitário, teatros, bibliotecas, salas de música e dança, rádio comunitário, orquestras, ginásio coberto, quadras poliesportivas, pista de *skate* e piscinas (BRITO CRUZ; CARVALHO, 2004).

A Figura 2.21 mostra a vista aérea do CEU Rosa da China, localizado no bairro de Sapopemba, zona leste paulistana, desenvolvido pela Divisão de Projetos de Edificações (Edif) da Prefeitura Municipal.



Figura 2.21: Vista do CEU Rosa da China.

Fonte: MELENDEZ (2003, p. 65).

No âmbito federal, além da tentativa do Centro Brasileiro de Construções e Equipamentos Escolares (CEBRACE), subordinado ao Ministério da Educação e Cultura (MEC, 1976), da elaboração de cadernos técnicos na década de 1970, há o trabalho desenvolvido pelo atual MEC.

O documento publicado Ministério da Educação (MEC), por intermédio do Programa “Fundo de Fortalecimento da Escola- FUNDESCOLA”, intitulado de “Cadernos Técnicos: “Subsídios para Elaboração de Projetos e Adequação de Edificações Escolares- Volumes 1-4”, apresenta diretrizes e recomendações técnicas para construções e adequações de escolas públicas (MEC, 2002),

Estas recomendações foram elaboradas, a princípio para atender as Regiões Norte-Nordeste e Centro-Oeste do país, consideradas mais carentes quanto à qualidade do Ensino Público (segundo pesquisas realizadas pelo próprio MEC), mas com a finalidade de se estender para as demais regiões do país (MEC, 2002).

O trabalho do MEC (2002), foi sintetizado em forma de fichas técnicas, onde é determinado o que se denomina de “Padrão-Mínimo” para aplicação na avaliação das escolas já existentes e adequações possíveis, bem como apresenta “Recomendações” a serem observadas na elaboração de novos projetos de estabelecimentos de ensino. As fichas contêm os condicionantes ambientais, tais como: área útil por aluno, dimensões mínimas e parâmetros ambientais, visando assegurar o mínimo de conforto térmico, lumínico, acústico e funcional.

As ações pertinentes ao Programa FUNDESCOLA são concentradas em estabelecer diretrizes para execução e assistência financeira suplementar aos projetos educacionais, considerando-se a situação de Estado/Município, através do FNDE- Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação (MEC, 2002).

2.8 A arquitetura escolar de Campinas

Na primeira década do século XX, a cidade de Campinas vivia um período de reconstrução, pois o crescimento da população e a vida da cidade haviam sido duramente afetados por uma epidemia de febre amarela, que se estendeu entre 1889 e 1896, e conseqüentemente, provocou o despovoamento da cidade até a disseminação da epidemia em 1897.

Na virada dos séculos XIX e XX a economia campineira cresceu; dois terços dos cafezais brasileiros estavam em municípios paulistas sob a liderança de Campinas, que acumulou capital e consolidou-se num importante pólo comercial e de serviços, além de um parque industrial cada vez mais sólido e favorecido pela implantação do sistema ferroviário. Campinas foi um dos principais pólos de atração de imigrantes europeus durante o processo de substituição da mão-de-obra escrava no final do século XIX (PINHEIRO, 2003).

Em relação à educação, a cidade tinha um importante complexo educacional instalado. No final do século XIX haviam sido fundados alguns estabelecimentos educacionais importantes para o cenário campineiro, tais como: Colégio Florence (1863), Colégio Internacional (1872), Culto à Ciência (1874), transferido para o poder público e Primeiro Grupo Escolar (público), depois denominado Grupo Escolar “Francisco Glicério” (projetado em 1895 e inaugurado em 1897). Os dois primeiros, porém, sofreram duros golpes com os surtos de febre amarela e tiveram de interromper suas atividades em Campinas, transferindo-se para outras cidades (PINHEIRO, 2003).

Novos estabelecimentos foram criados nas décadas de 1900-1919: Colégio Progresso Campineiro (1900), Segundo Grupo Escolar (público), depois denominado Grupo Escolar ‘Doutor Quirino dos Santos’(1900), posteriormente anexado à Escola Normal; Escola Complementar (1903); Colégio São Benedito (1902); Externato Tiradentes (1904); Colégio Sagrado Coração de Jesus (inaugurado em 1909); Externato São João (1909); Terceiro Grupo Escolar ‘Artur Segurado’ (1910); e Escola Técnica de Comércio ‘Bento Quirino’ (1910). Em 1911 foi fundado o Colégio “Cesário Mota” e em 1915 começou a funcionar o Colégio Diocesano.

Durante o Primeiro Período da história arquitetura escolar paulista (1890-1920), a arquitetura escolar da cidade de Campinas seguiu as tipologias atribuídas à arquitetura paulista, destacando-se alguns registros apresentados a seguir para: Colégio Culto à Ciência (1874);

Primeiro Grupo Escolar de Campinas (1895); Segundo Grupo Escolar de Campinas (1900); Terceiro Grupo Escolar de Campinas e Escola Normal de Campinas e Grupo Escolar de Campinas. Não foram localizadas na literatura registros de escolas construídas na cidade de Campinas durante os Segundo e Terceiro Períodos da história (1921-1950).

Apresentar-se-á também exemplos de escolas construídas na cidade de Campinas, a partir do Quarto Período (anos 1960) da história da arquitetura, destacando as características mais relevantes e quanto às salas de aula projetadas.

2.8.1 O “Colégio Culto à Ciência” (1874)

O Colégio “Culto à Ciência”, inaugurado em 1874, corresponde ao Primeiro Período da história arquitetura escolar paulista e representa um dos primeiros registros de escolas campinenses. O colégio era inicialmente dirigido pela sociedade maçônica, passando para o poder público em 1892. O nome da escola é uma referência aos ideais positivistas da época, em que “... *cultuar a ciência era cultuar a razão...*” (AFFONSO; PINTO, 1986, p.15). A Figura 2.22 mostra a ilustração da fachada do Colégio Culto à Ciência.



Figura 2.22: Edifício do “Colégio Culto à Ciência”, inaugurado em 1874, em Campinas, SP.

Fonte: SÃO PAULO (1907/08 apud AFFONSO ; PINTO, 1986, p.15).

Em 1895, o Colégio Culto à Ciência passou a ser oficialmente o “Ginásio de Campinas”, e em 1942, por motivos de alterações ocorridas na política pedagógica, foi denominado de “Colégio Estadual de Campinas”. No ano em que comemorou seus 50 anos de existência como instituição oficial, por motivos políticos, o colégio passou a ser denominado de “José Bonifácio”, seguido de “Colégio Estadual Culto à Ciência”.

Esta edificação permanece até os dias atuais, e mantém o estilo da arquitetura clássica francesa do século XVIII, ainda que tenha passado por algumas reformas (AFFONSO; PINTO, 1986). O Colégio Culto à Ciência foi tombado pelo Conselho de Defesa do Patrimônio Cultural de Campinas (CONDEPACC). Atualmente a escola está instalada na Rua Culto à Ciência, n.º 422, no Bairro Botafogo e oferece o Ensino Médio.

2.8.2 O Primeiro Grupo Escolar de Campinas (1895)

O Colégio “Primeiro Grupo Escolar”, inaugurado em 1895, também corresponde ao Primeiro Período da história arquitetura escolar paulista e foi instalado em edificação própria do poder público estadual em 1897. Essa edificação foi constituída de corpo central em tijolos de barro à vista, com relógio ornamentando o frontão da fachada, conforme mostra a Figura 2.23 (AFFONSO; PINTO, 1986).



Figura 2.23: Edifício do “Primeiro Grupo Escolar de Campinas (1895-1897), atual EE Francisco Glicério.

Fonte: SÃO PAULO (1913 apud AFFONSO; PINTO, 1986, p.15).

Segundo Corrêa, Neves e Mello (1991) os aspectos arquitetônicos do Primeiro Grupo Escolar de Campinas correspondem à nomenclatura da Tipologia de Botucatu (1895). Várias escolas apresentavam fachadas de tijolos aparentes com emolduramentos de argamassa e tetos íngremes, recriando o estilo francês.

A Tipologia “Botucatu” é caracterizada por apresentar uma só planta baixa considerada “padrão” distribuindo 8 salas de aula em dois pavimentos, sendo o térreo destinado aos meninos e o pavimento superior às meninas. As modificações são representadas pelas diferentes fachadas elaboradas para grupos escolares, implantados em 9 municípios do Estado de São Paulo, entre eles, o município de Campinas (CORRÊA; NEVES; MELLO, 1991). Apesar do programa arquitetônico restringir-se praticamente às salas de aula, em alguns edifícios, parte dos corredores centrais era destinada aos vestiários.

A “padronização” é explícita para as salas de aula, conforme informações contidas num trecho do texto do Anuário de Ensino do Estado de Paulo 1908/09 transcrito a seguir e extraídos de São Paulo (1908/09 apud Corrêa, Neves e Mello, 1991, p.7): *“Cada sala de aula deve medir 50m² e ter como dependência uma vestiária guarnecida de cabides, em que os alunos guardem seus chapéus e lunchs.”* Esses espaços eram constituídos de anteparos de madeira com altura até 1,50m, sendo que em Campinas os vestiários constituíam-se de ambientes fechados, conforme a planta original publicada no Relatório da Secretaria da Agricultura, Comércio e Obras Públicas de 1895. A Figura 2.24 mostra a planta baixa da Tipologia “Botucatu” (CORRÊA, NEVES; MELLO, 1991).

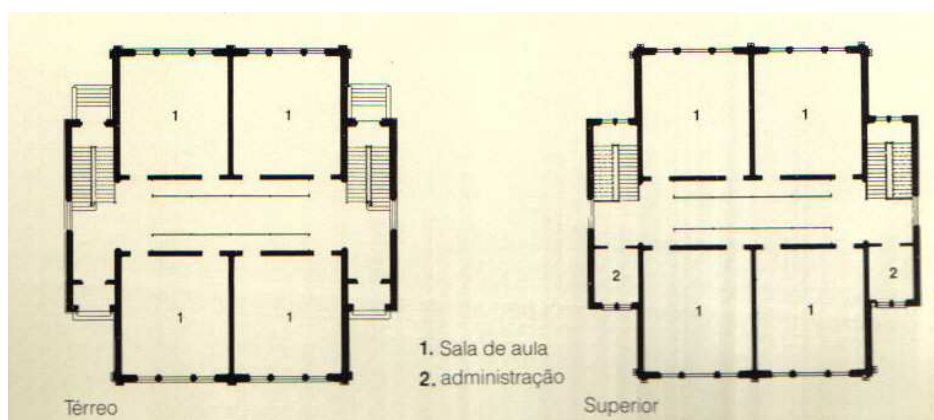


Figura 2.24: Planta baixa “padrão”, da Tipologia “Botucatu” (1895).

Fonte: SÃO PAULO (1908/09 apud CORRÊA; NEVES; MELLO, 1991, p.6).

Além da edificação principal, são encontrados dois corpos laterais independentes, em um pavimento, alinhados, recuados ou à frente do prédio principal, geralmente destinados às salas de aula. A Figura 2.25 mostra a planta baixa do Grupo Escolar de Campinas (1895), semelhante aos padrões da “Tipologia Botucatu”.

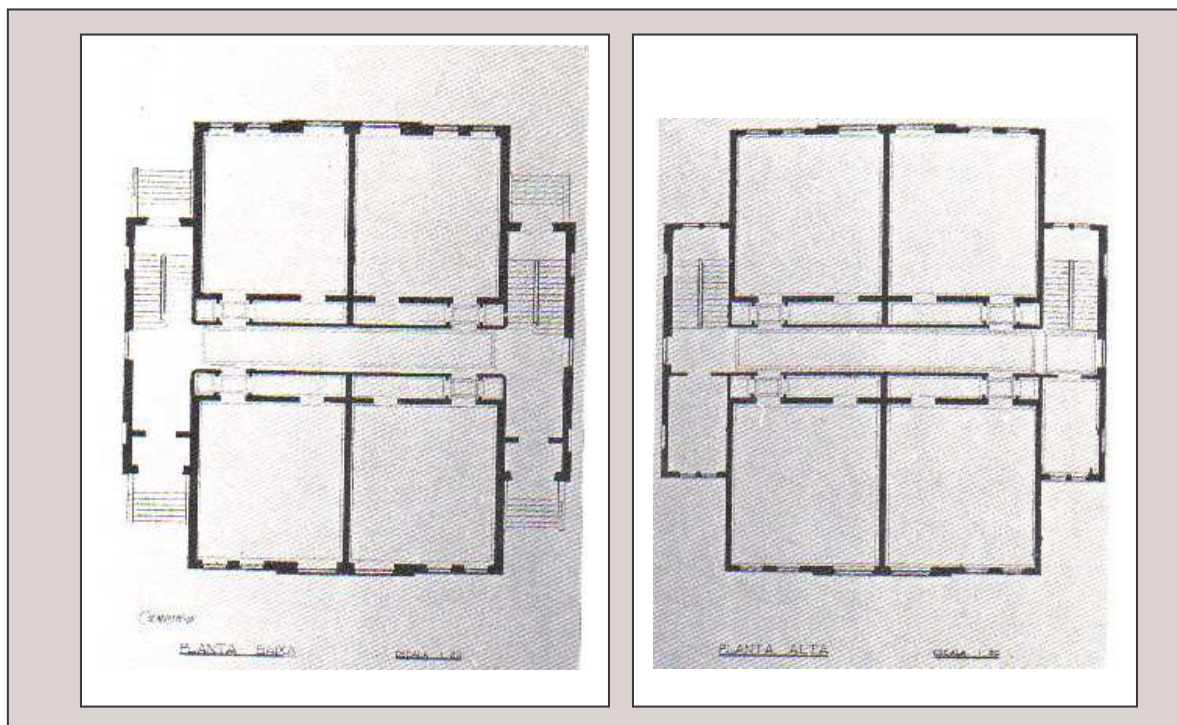


Figura 2.25 : Ilustração da planta baixa original do Primeiro Grupo Escolar de Campinas. À esquerda, o pavimento térreo e à direita, o superior.

Fonte: SÃO PAULO (1908/09 apud CORRÊA; NEVES; MELLO, 1991, p.19).

Os ginásios e sanitários eram implantados afastados da edificação, geralmente no fundo do terreno ou nas laterais (dependendo das dimensões do lote) e ligados ao prédio principal por passadiços. Diferente de outros projetos de Grupos escolares que pertencem à mesma tipologia com autorias conhecidas de Victor Dubugras, José Van Humbeeck e Ramos de Azevedo, o projeto do Primeiro Grupo Escolar de Campinas não tem autoria comprovada.

Em 1917 o primeiro Grupo Escolar de Campinas passou a ser denominado de “Grupo Escolar Francisco Glicério” e, em 2002, devido ao seu valor histórico na evolução educacional do Estado, seu prédio foi tombado pelo Conselho do Patrimônio Histórico, Arqueológico, Artístico e Turístico do Estado de São Paulo (CONDEPHAAT), juntamente com outras 122 escolas públicas da capital e do interior.

A atual “EE Francisco Glicério” está situada na Rua Dr. Moraes Salles, n.º 988, no Centro de Campinas e oferece o Ensino Fundamental e Médio. A Figura 2.26 mostra a imagem da fachada da Escola Francisco Glicério.



Figura 2.26: Vista da fachada do Primeiro Grupo Escolar de Campinas (1895), atual EE “Francisco Glicério”.

Fonte: SÃO PAULO (1908/09 apud CORRÊA; NEVES; MELLO, 1991, p.19).

2.8.3 O Segundo Grupo Escolar de Campinas (1900)

Inaugurado no Primeiro Período da história da arquitetura escolar paulista, em 1900, o Segundo Grupo Escolar de Campinas funcionou durante sete anos na Rua Marechal Deodoro, em prédio particular alugado. Em 1907 foi transferido para outro prédio, na Rua Dr. Costa Aguiar, quando foi denominado de Segundo Grupo Escolar Dr. Quirino dos Santos.

Essa edificação era constituída de 10 (dez) salas de aula, bem iluminadas e de um salão de festas. A Instituição foi extinta e atualmente é ocupada por estabelecimento comercial (AFFONSO e PINTO, 1986). A Figura 2.27 ilustra a fachada do Segundo Grupo Escolar de Campinas em 1900.



Figura 2.27: Edifício do “Segundo Grupo Escolar”, em Campinas, SP. A escola foi extinta.

Fonte: SÃO PAULO (1913 apud AFFONSO; PINTO, 1986, p.15).

2.8.4 A Escola Complementar de Campinas (1903)- Escola Normal de Campinas (1919)

Inaugurada em 1903, a Escola Complementar de Campinas funcionava em um sobrado alugado na Rua Treze de Maio. Em 1911, foram anexados à instituição um grupo escolar (o Grupo Escolar Modelo “Doutor Quirino dos Santos”), uma escola isolada masculina e uma escola isolada feminina, quando seu nome foi alterado para “Escola Normal Primária de Campinas” até o ano de 1936.

Para Corrêa, Neves e Mello (1991), a Escola Normal de Campinas foi inaugurada em 1919. Como outros arquitetos da época, César Marchisio utilizou o mesmo projeto de outras escolas de Guaratinguetá e Casa Branca, modificando apenas os aspectos construtivos da fachada. A edificação possui ornamentos que permitem a classificação de arquitetura eclética e aspectos da neoclássica, predominante no começo do século, repetindo a presença do relógio e do gradil na entrada principal.

A partir da observação da planta baixa original, mostrada na Figura 2.28, verifica-se salas de aula com dimensões variadas e com repetições, mantendo o ritmo e certa simetria, a partir de uma escada central e com as portas das salas de aula voltadas para circulações internas. As salas de aula do primeiro pavimento apresentam as seguintes dimensões em planta (largura x comprimento): 4 salas de 5,70x8,60m; 2 salas de 6,00x 9,00m; 4 salas de

5,40x8,10m e 4 salas de 5,40x8,00m. Apesar da apresentação dos desenhos das fachadas, não há indicação de alturas da edificação ou dos pavimentos.

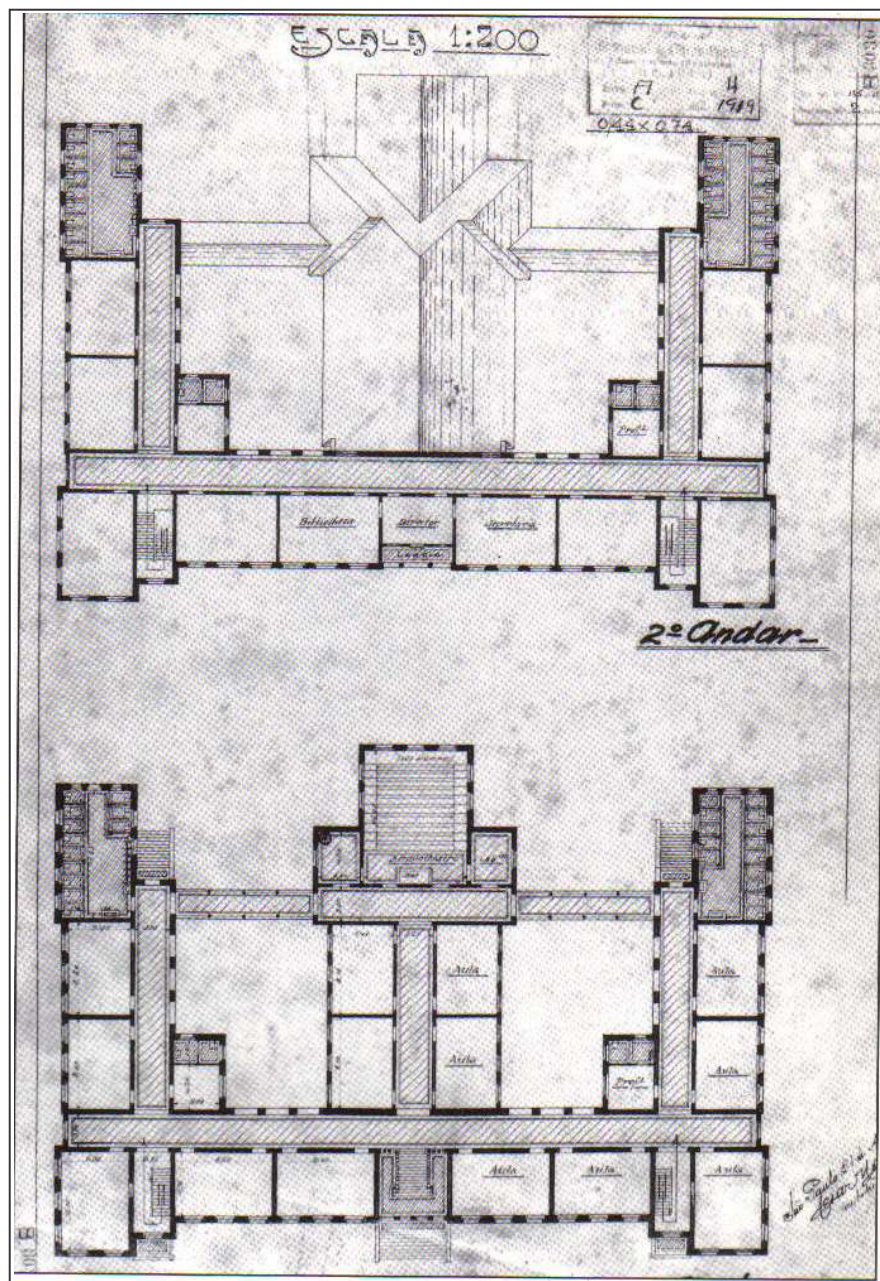


Figura 2.28: Planta baixa original da ‘Escola Normal de Campinas’, datada de 1919. Atual EE Carlos Gomes
Fonte: CORRÊA; NEVES; MELLO (1991, p.143).

Segundo Pinheiro (2003), a instituição passou a ser denominada em 1936 de Escola Normal Carlos Gomes, em homenagem ao um dos maiores compositores campineiros da época. Esta denominação foi alterada para “Escola Normal e Ginásio Estadual Carlos Gomes”, em 1942. Atualmente é denominada de EE Carlos Gomes e oferece o Ensino Fundamental e

Médio, o Ensino Profissionalizante e o Ensino Especial (para alunos portadores de necessidades especiais). Desde 1982, seu prédio (situado na Avenida Anchieta, n.º 80, no centro de Campinas) foi tombado pelo CONDEPHAAT, devido ao seu valor histórico e cultural. A Figura 2.29 ilustra a fachada da atual EE “Carlos Gomes”, na Avenida Anchieta.



Figura 2.29: Edifício da atual EEPSPG “Carlos Gomes”.
Fonte: CORRÊA; NEVES; MELLO (1991, p.142).

2.8.5 O Terceiro Grupo Escolar de Campinas (1910)

Inaugurado em 1910, também no Primeiro Período da história da arquitetura escolar paulista, o Terceiro Grupo Escolar de Campinas correspondeu a uma escola instalada em prédio particular localizado na Rua Barreto Leme, onde permaneceu até 1952 quando fora demolido. Este Grupo escolar era constituído de 10 salas de aula com capacidade para 208 alunos, chegando a uma média de 354 alunos matriculados e freqüentes (SÃO PAULO, 1913 apud AFFONSO; PINTO, 1986). A Figura 2.30 mostra a ilustração da fachada do Terceiro Grupo Escolar em 1910. De 1952 a 1959 funcionou provisoriamente no prédio da Escola Estadual Francisco Glicério, na Avenida Moraes Sales, centro de Campinas. Em 1960 passou a funcionar em terreno que pertencia à Fazenda Santa Elisa, na Avenida Brasil. Atualmente a escola é denominada de EE “Artur Segurado” e oferece o Ensino Fundamental e o Ensino Especial (para alunos portadores de necessidades especiais).

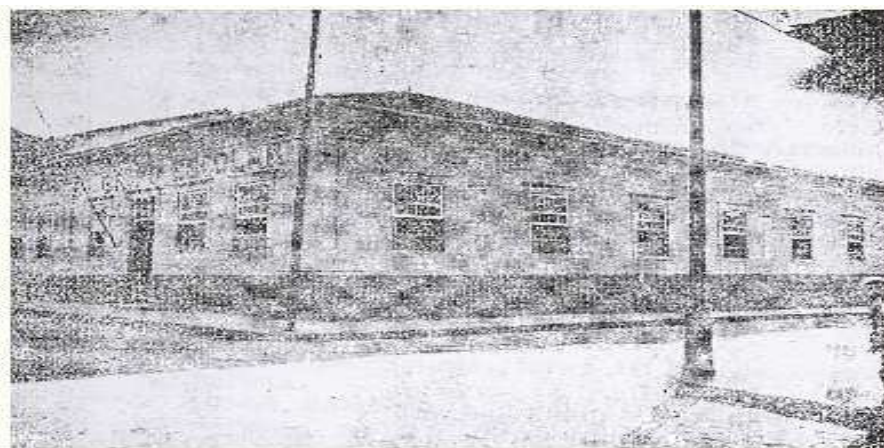


Figura 2.30: Edifício onde era instalado o “Terceiro Grupo Escolar de Campinas”, desde 1910 e demolido em 1952.

Fonte: SÃO PAULO (1913 apud AFFONSO; PINTO, 1986, p.15).

A Figura 2.31 mostra a fachada da edificação o Terceiro Grupo Escolar de Campinas em 1960.



Figura 2.31: Edifício do “Terceiro Grupo Escolar de Campinas”, em 1960. Atual “EE Artur Segurado”

Fonte: Acervo da Escola apud AFFONSO e PINTO (1986, p.15).

Segundo os documentos fornecidos pela Diretoria de Ensino da Regional Leste de Campinas, a EE Artur Segurado possui dois pavimentos, e contém 9 salas de aula, com dimensões de 5,00mx8,00m (área de 40,00m²) e 2 salas com dimensões de 6,00mx9,00m (área de 54,00m²) para uso de informática e biblioteca.

2.8.6 O Grupo Escolar de Campinas (1921) da Tipologia Amparo (1911)

Durante o Primeiro Período da arquitetura escolar paulista, em 1911, o arquiteto Sabater elaborou o projeto para um novo grupo escolar no município de Amparo. Em 1921 o arquiteto Carlos Rosencrantz retomou esta planta e, a partir desta, idealiza um novo grupo escolar para Campinas dando ao prédio um novo tratamento ao estilo “*art nouveau*”³. Os beirais dos telhados são interrompidos para dar lugar a um frontão central e dois nas extremidades, ornamentados por detalhes florais. A edificação principal foi implantada no centro do terreno, e, devido às dimensões do lote, foi locada sem recuo de frente e com pequenos recuos laterais, conforme ilustra a Figura 2.32.



Figura 2.32: Fachadas principal (a) e lateral (b) do Edifício do Grupo Escolar de Campinas (1921) Atual EE “Orosimbo Maia”.

Fonte: CORRÊA, NEVES; MELLO (1991, p.107-108).

A partir da planta genérica da “Tipologia Amparo” observa-se a edificação constituída de dois pavimentos idênticos, mantendo uma distribuição simétrica dos compartimentos. Cada pavimento contém 6 salas de aula e demais dependências de apoio, conforme ilustrado na Figura 2.33. Atualmente nesta edificação, situada na esquina das Avenidas Benjamin Constant e Orosimbo Maia, no Centro de Campinas, funciona a atual EE Orosimbo Maia.

³ **Art Nouveau:** do francês, arte nova, chamado Arte Nova em Portugal, foi um estilo estético essencialmente de *design* e arquitetura que também influenciou o mundo das artes plásticas. Era relacionado com o movimento *arts & crafts* e que teve grande destaque durante a *Belle époque*, nas últimas décadas do século XIX e primeiras décadas do século XX. Relaciona-se especialmente com a 2ª Revolução Industrial em curso na Europa com a exploração de novos materiais (como o ferro e o vidro, principais elementos dos edifícios que passaram a ser construídos segundo a nova estética) e os avanços tecnológicos na área gráfica, como a técnica da litografia colorida que teve grande influência nos cartazes. Devido à forte presença do estilo naquele período, este também recebeu o apelido de *modern style* (do inglês, estilo moderno). O nome surgiu de uma loja parisiense (capital internacional do movimento), chamada justamente *Art nouveau* e que vendia mobiliário seguindo o estilo. Caracteriza-se pelas formas orgânicas, escapismo para a Natureza, valorização do trabalho artesanal, entre outros. O movimento simbolista também influenciou o *art nouveau*. No Brasil, teve fundamental participação na divulgação e realização da *art nouveau* o Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo. Um dos maiores nomes desse estilo, no Brasil, é o artista e *designer* Eliseu Visconti, pioneiro do *design* no país (BARILLI, 1991).

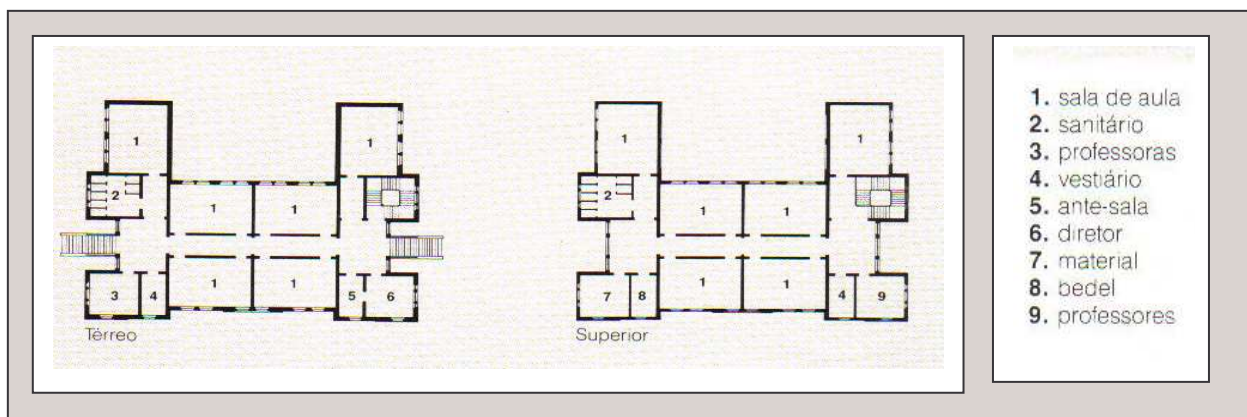


Figura 2.33: Ilustração das plantas genéricas ou “padrão” da Tipologia Amparo (1911).

Fonte: CORRÊA, NEVES; MELLO (1991, p.107).

2.8.7 EE Professor Milton de Tolosa (1961)

Não obtendo-se registros históricos da arquitetura escolar pública de Campinas, especificamente no período entre os anos de 1920 e 1960, destacar-se-á a seguir a arquitetura dos anos 1960.

Na publicação da FDE (2006a) são apresentadas três escolas cujos projetos foram implantados na cidade de Campinas nos anos 1960, que são: EE Professor Antonio Vilela Júnior (1960); EE Milton de Tolosa (1961) e EE Guido Segalho (1961).

Como exemplo de escola campinense dos anos 1960, destacar-se-á o projeto da EE Milton de Tolosa, de autoria do arquiteto Adolpho Rúbio.

A atual Escola Estadual Milton de Tolosa localizada na Rua Salvador B. de Oliveira, n.º84, no Jardim Leonor Morales e apresenta arquitetura típica paulista da época, caracterizada por estrutura de pórticos de geometria e volume compactos, uso do concreto em partido e programa arquitetônico distribuído em 2 pavimentos, para aproveitamento da topografia do terreno. As aberturas ou esquadrias das salas são ritmadas, conforme se verifica na Figura 2.32 (c). As salas de aula de formato retangular são distribuídas em dois pavimentos, sendo 7 unidades no pavimento térreo, com dimensões de 6,00mx8,00m (48,00m²) e 5 no pavimento inferior, com mesmas dimensões, totalizando 12 salas de aula. Figura 2.34 mostra as plantas baixas e a elevação noroeste da EE Milton de Tolosa.

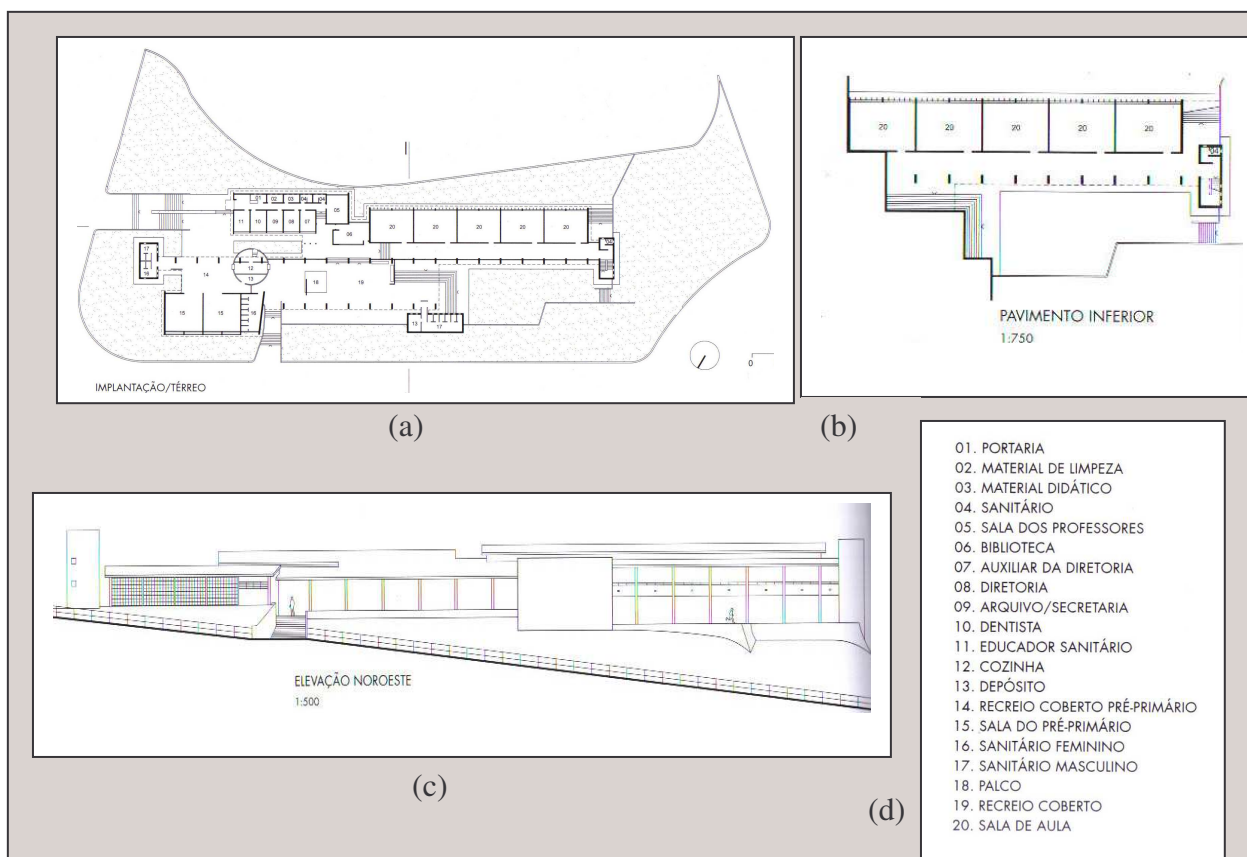


Figura 2.34 : Escola Estadual Milton de Tolosa (1961), em Campinas, SP. (a): planta baixa da implantação e pavimento térreo; (b): planta baixa do pavimento inferior; (c): elevação ou fachada noroeste; (d) Legenda.

Fonte: FDE (2006a, p.194).

2.8.8 EE Disney Francisco Scornienchi (1995-1998)

A antiga EEPSC Disney Francisco Scornienchi (1995-1998) está situada no Parque Jambeiro, em Campinas e apresenta configurações de salas de aula semelhantes às demais escolas construídas na mesma década sob a supervisão da FDE.

Através das plantas baixas verifica-se a projeção das salas de aula nos pavimentos superiores (2.º e 3.º), com um total de 12 salas de aula comuns, com dimensões de 7,15mx7,15m. O pé-direito indicado em corte é de 3,50m. A Figura 2.35 ilustra as plantas baixas e fachada da escola.

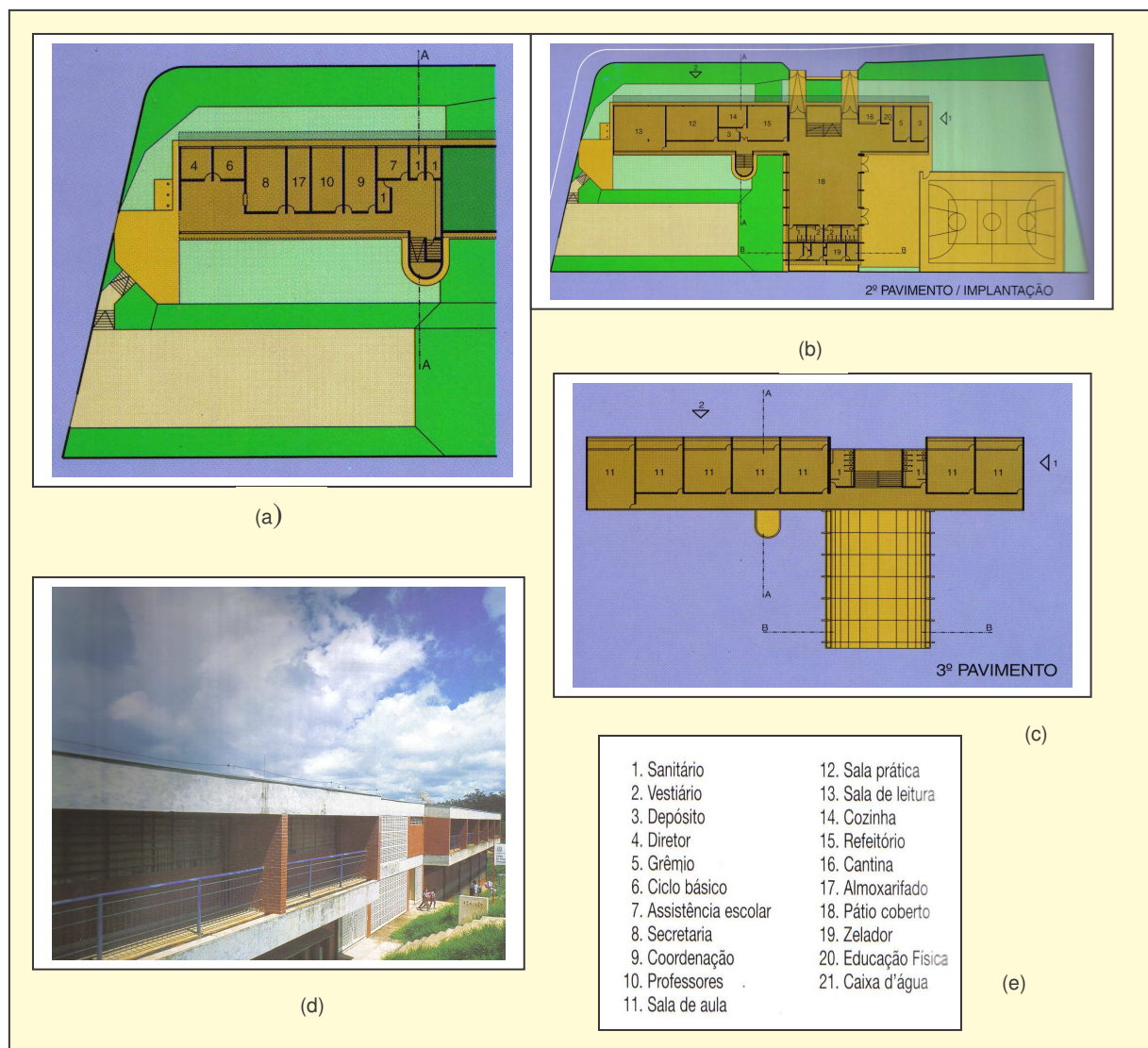


Figura 2.35: Escola Disney Francisco Scornienchi (1995-1998) implantada em Campinas, SP. (a): planta baixa da implantação e pavimento térreo; (b): planta baixa do 2.º pavimento; (c): planta baixa do 3.º pavimento; (d): vista da fachada; (e) legenda.

Fonte: FDE (2006a, p.194).

2.8.9 EE Conjunto Habitacional Campinas F1 (2003)

Nos últimos quatro anos, para atender a demanda de um conjunto habitacional, a cidade de Campinas foi escolhida para implantar as quatro primeiras escolas projetadas por escritórios contratados, de acordo com as recomendações mais atualizadas da FDE e das próprias concepções de projeto.

Inicialmente foram projetadas e implantadas quatro escolas em Campinas a título de protótipo, nas quais foram experimentadas alternativas para equacionar problemas arquitetônicos. Integraram-se nesse projeto piloto as escolas: EE Dr. Telêmaco Paioli Melges; EE Conjunto Habitacional Campinas E1-B; ambas no bairro San Martin; EE Conjunto Habitacional Campinas F-1 e EE Jornalista Roberto Marinho, estas duas últimas no bairro Nova Aparecida (FDE, 2006b). Com relação às salas de aula especificamente observa-se a permanência da forma geométrica quadrada, heranças de especificações anteriores como as da CONESP (1985).

A Escola Estadual Conjunto Habitacional Campinas F1, está localizada no Bairro Nova Aparecida, periferia da cidade, próximo ao entroncamento das Rodovias Anhanguera e Dom Pedro I. A edificação pertence à tipologia “horizontal com quadra no centro” e o partido arquitetônico apresenta forma regular. Os acessos verticais foram projetados em forma de rampas e escadas. O elevador previsto para atender portadores de necessidades especiais, conforme exigências normativas da norma NBR 9050 (ABNT, 2004) é o único volume anexo que quebra a regularidade da planta. A estrutura é do tipo pré-fabricada de concreto armado e os elementos de vedação são de alvenaria convencionais. A cobertura de estrutura em treliças e telhas metálicas é composta também por telhas translúcidas, permitindo maior luminosidade interna FDE (2006b).

O espaço interno é o destaque deste projeto, que apresenta fechamentos de alvenaria e elementos vazados de concreto. A topografia do terreno, constituída de pequeno desnível, contribuiu para a criação de dois grandes pisos, um para o convívio e administração, inclusive com quadra esportiva e outro de salas de aula. Demais itens do programa foram distribuídos em piso intermediário. A Figura 2.36 mostra as plantas baixas dos três pavimentos EE Conjunto Habitacional Campinas F1, assim como a vista interna de uma das salas de aula comuns e da escola e seu entorno.

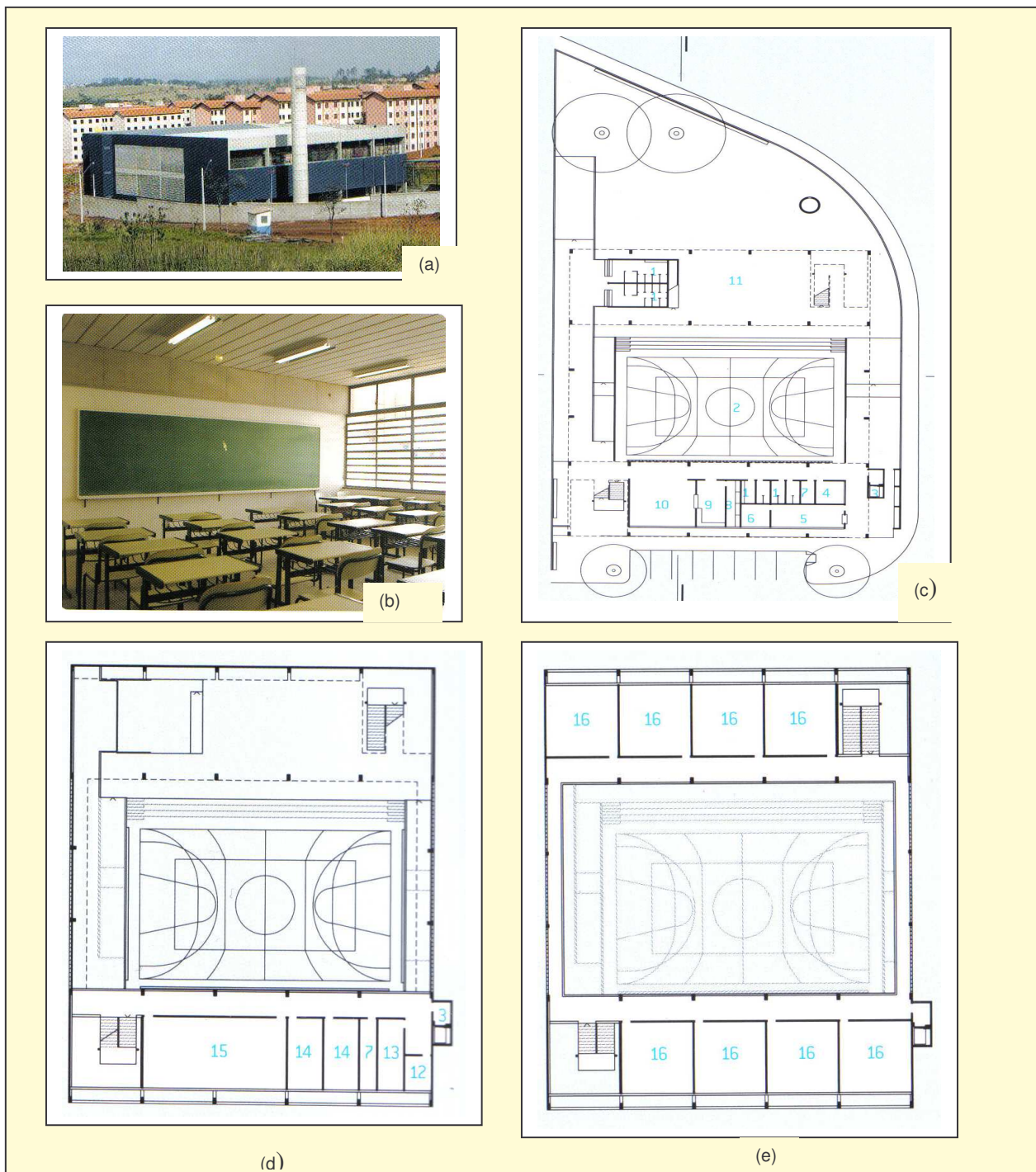


Figura 2.36: EE Conjunto Habitacional Campinas F1, projeto do escritório MMBB Arquitetos, para a cidade de Campinas, SP. (a): vista da escola e seu entorno; (b): vista interna da uma das salas de aula; (c): planta baixa da implantação/térreo; (d): planta baixa do 1.º pavimento; (e): planta baixa do 2.º pavimento.

Fonte: FDE (2006b, p.68).

O programa, determinado pela FDE juntamente com o escritório UNA Arquitetos Associados, é constituído de 8 salas de aulas e foi acomodado em dois setores de modulação padrão (cinco módulos de 7,20m por um vão de 10,80m), separados por um vazio central da quadra de esportes coberta, envolta pela circulação de acesso às salas de aula no piso superior. Desta forma têm-se as salas de aula comuns de formato quadrado, com dimensões em planta de 7,05mx7,05m. O pé-direito é de 3,13m.

Conforme comentado anteriormente (Item 2.7), a quadra de esportes incorporada à edificação, formando um só bloco, contribui para o aumento do ruído de fundo, que se agrava durante as aulas de educação física. Não foram previstos sanitários no pavimento das salas de aula, o que aumenta o trânsito de alunos nas escadas, circulações e na quadra e, conseqüentemente, elevando os níveis de ruído de fundo e o incômodo.

Conforme apresentado neste Capítulo, a história da arquitetura escolar paulista retrata as preocupações dos órgãos responsáveis pelo planejamento do ensino no estado com relação à elaboração de diretrizes básicas de projeto, visando principalmente a otimização e redução de custos das edificações. Porém, não se baseiam em pesquisas técnicas-científicas para determinação das especificações. Utilizam-se de experiências reais, implantando primeiramente as escolas e posteriormente verificam o retorno quanto aos recursos técnicos utilizados, bem como o comportamento da comunidade, como foi o caso das 4 escolas construídas em Campinas nos anos de 2003 e 2004.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E EXPERIMENTAL

O estudo da acústica arquitetônica necessita de fundamentação teórica que apresenta parâmetros de referência para estabelecer as relações entre os fenômenos físicos e subjetivos com as particularidades que compõem o espaço arquitetônico.

Este Capítulo refere-se à apresentação dos conceitos fundamentais da acústica que se fazem necessários para compreensão dos fenômenos que ocorrem numa sala de aula, realizar procedimentos experimentais (medições) e analisar os resultados, a partir de recomendações de normas brasileiras e/ou internacionais.

Assim, serão abordados os seguintes temas: características do som; propagação do som no interior de uma sala; importância da geometria na acústica de salas e métodos de medição acústica.

3.1 Características do som

O som é produzido por vibrações denominadas ondas. Na definição apresentada por Metha, Johnson e Rocafort (1999), som é a resposta do ouvido humano, devido às pressões flutuantes no ar causados por objetos vibrantes.

Qualquer fenômeno que causa ondas de pressão no ar é considerado uma fonte sonora. Ao sofrer um estímulo (vibração) as partículas do ar são submetidas a sucessivas compressões e rarefações, provocando vibrações nas demais partículas resultando na propagação sonora. A Figura 3.1 representa a propagação da onda num meio.

A onda na natureza contém mais de uma ondulação durante um intervalo de tempo constante. O número de ondulações (ciclos) gerado na unidade de tempo é denominado de **freqüência (f)**. A unidade de medida da freqüência no Sistema Internacional (SI) é o Hertz (Hz). As freqüências mais altas, com maior número de oscilações temporais, correspondem aos sons mais agudos, enquanto as freqüências mais baixas, com menor número de oscilações temporais, aos sons mais graves.

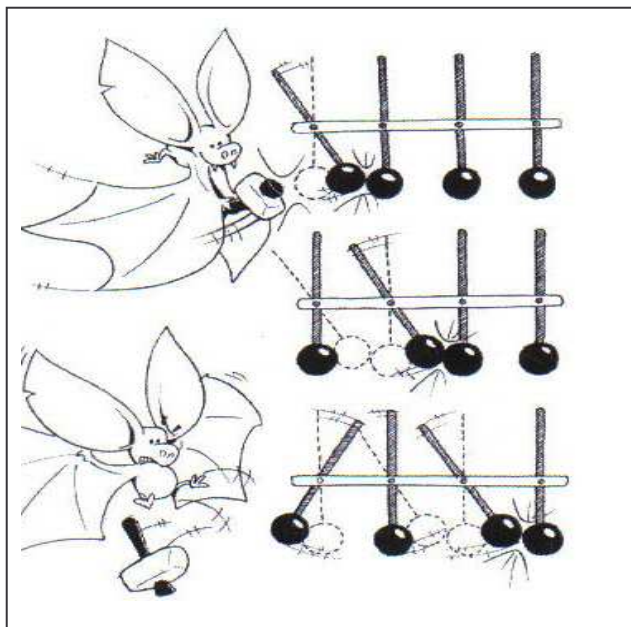


Figura 3.1: Propagação da onda sonora.

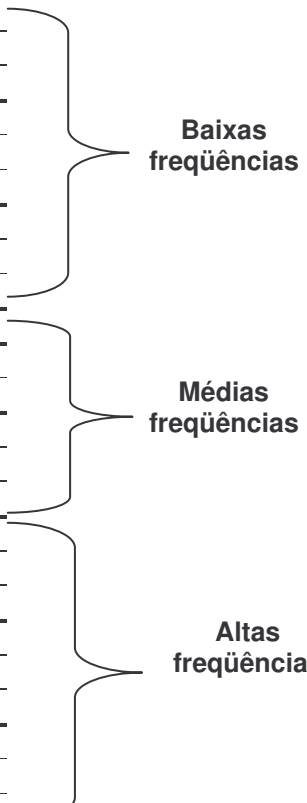
Fonte: SOUZA, ALMEIDA; BRAGANÇA (2003, p.25).

Quando uma vibração é produzida por uma única frequência tem-se um “tom puro”, porém, a maioria dos sons são complexos, compostos de pressões que variam ao longo do tempo (EGAN, 1988).

Em razão dos sons complexos, as frequências sonoras são divididas em seções chamadas de bandas de frequência. Cada banda é identificada pela frequência central. As bandas de frequência utilizadas em Acústica são 1/1 de oitava e 1/3 de oitava, cujos valores centrais principais estão apresentados na Tabela 3.1 (METHA; JOHNSON; ROCAFORT, 1999).

As bandas de 1/3 de oitava são utilizadas para obter informações mais detalhadas do espectro sonoro (SEEP et al, 2000).

Tabela 3.1- Bandas de freqüências e indicações de níveis

Frequências (Hz)		
Bandas de oitava		
1/1 oitava	1/3 oitava	
63	50	
	63	
	80	
125	100	
	125	
	160	
250	200	
	250	
	315	
500	400	Médias frequências
	500	
	630	
1000	800	
	1000	
	1250	
2000	1600	Altas frequências
	2000	
	2500	
4000	3150	
	4000	
	5000	
8000	6300	
	8000	
	10000	

Fonte: Adaptado de METHA, JOHNSON; ROCAFORT (1999, p.8).

Segundo Russo e Behlau (1993), em indivíduos adultos otologicamente normais, o ouvido humano detecta sons dentro de uma faixa audível entre as freqüências de 20Hz e 20.000 Hz. Para freqüências sonoras com valores abaixo de 20 Hz, o som é classificado como “infra-som” e acima de 20.000 Hz, como “ultra-som” (METHA; JOHNSON; ROCAFORT, 1999).

A **velocidade (c)** do som representa o espaço relativo ao **comprimento de onda (λ)**, percorrido no intervalo de tempo de um período. A velocidade independe da freqüência e da amplitude da onda, mas depende das características do meio em que se propaga: pressão, umidade, temperatura e do próprio meio (materiais). O comprimento de onda pode ser obtido através da equação 3.1, como consta em várias referências, por exemplo, de Saliba (2000).

$$c = \lambda \cdot f \quad (\text{m/s}) \quad (3.1)$$

Onde:

λ : comprimento de onda, em m;

c : velocidade do som, em m/s, (valor de 344m/s, no ar, a 20 °C);

f : freqüência, em Hz.

O som percebido pelo ouvido humano é caracterizado pelo **nível de pressão sonora (NPS ou L_p)**, expresso em dB (METHA, JOHNSON e ROCAFORT, 1999). O nível de pressão sonora é calculado através da equação 3.2.

$$L_p = 10 \log \left(\frac{p}{p_{ref}} \right)^2 \quad (\text{dB}) \quad (3.2)$$

Onde:

L_p : nível de pressão sonora, em dB;

p : pressão sonora, em Pa;

p_{ref} : pressão de referência, no valor de 2×10^{-5} N/m², que corresponde ao limiar de audibilidade, na freqüência de 1000Hz.

O ouvido humano não é igualmente sensível em relação às freqüências, dependendo do nível de pressão sonora. Conforme estudos psicoacústicos de níveis de audibilidade e no desenvolvimento das curvas isofônicas realizados por Fletcher e Munson (1933) foram criados filtros de ponderação ou circuitos de compensação padronizados e classificados internacionalmente como A, B, C e D. Os filtros ponderadores representam a sensibilidade do ouvido humano. O filtro ponderador mais utilizado para medição de nível de pressão sonora ambiental é o circuito de compensação "A", baseado na atenuação similar do ouvido, quando este suporta níveis de pressão sonora de baixos níveis de freqüência distintas (SALIBA, 2000).

Através da Figura 3.2, observa-se que nas baixas freqüências a curva de ponderação "A" atenua de forma significativa. A atenuação vai diminuindo à medida que se aproxima dos 1.000 Hz, onde o valor na curva "A" é zero. Quando o nível de pressão sonora é medido com a correção de curva "A", é denominado dB(A) e denominado de L_A .

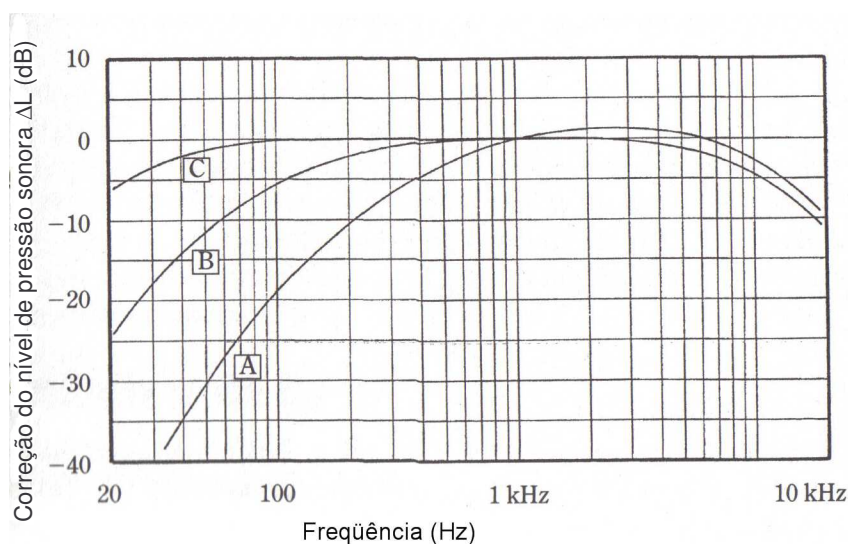


Figura 3.2: Correção do nível de pressão sonora, de acordo com as curvas de ponderação “A”, “B”, “C”.

Fonte: Adaptado de EVEREST (2001, p. 39).

O ruído é um som indesejável que causa vários efeitos sobre o ser humano, destacando-se: interferência na comunicação oral, distúrbios do sono, perturbação do descanso e das atividades de lazer, perturbações de concentração e perda de eficiência nos estudos e no trabalho, stress, danos e perda auditiva. Um ruído que provoca incômodo é analisado através da medição do nível de pressão sonora, do espectro, das características temporais, das atividades das pessoas, do período do dia, do tempo de exposição e das atitudes individuais.

3.2 Propagação do som no interior de uma sala

No interior de uma sala, inicialmente, o som se propaga chocando-se com as paredes limites e/ou com outros obstáculos na sua trajetória. O som emitido por uma fonte pode atingir um ouvinte diretamente (som direto) ou após ter se chocado com as paredes, o piso e o teto do recinto ou, seja, após refletir pelas superfícies (som refletido ou reverberante). O som direto e o refletido podem ou não atingir o ouvinte simultaneamente. Devido às essas reflexões, o nível sonoro na sala é superior ao nível sonoro correspondente no campo livre.

Segundo Alvarenga (2003), para o estudo da acústica em ambientes fechados é necessário observar que a distribuição sonora gera dois tipos de campos sonoros: um direto e outro indireto (refletido ou reverberante).

A Figura 3.3 exemplifica uma situação típica em sala de aula, onde há um orador emitindo som para os demais receptores.

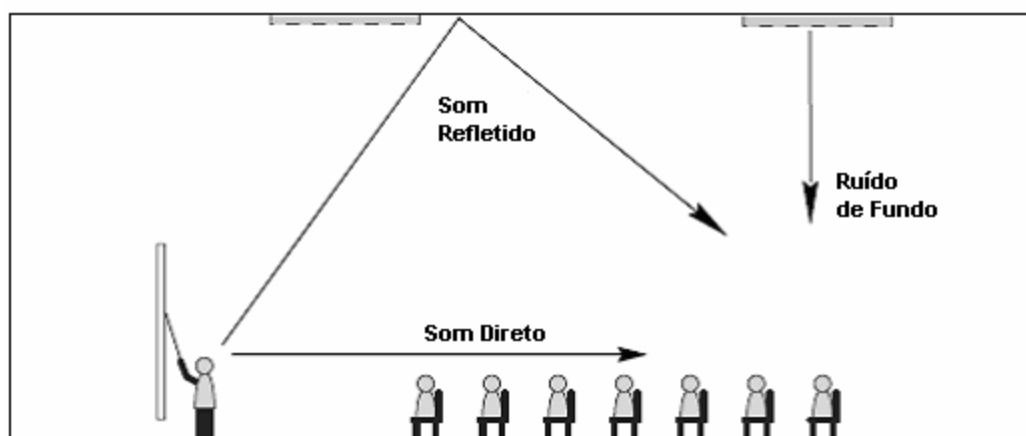


Figura 3.3: Situação típica de sala de aula.

Fonte: Adaptado de Brüel & Kjaer (2005, p.13).

Para Gerges (2000) o campo direto obedece à lei da propagação do campo livre e decai 6dB cada vez que a distância da fonte sonora ao ouvinte é duplicada. Já no campo reverberante as ondas que atingem o ouvinte são provenientes de todas as direções.

O som refletido pode chegar ao ouvinte com um determinado atraso, quando o som direto já esteja quase se extinguindo. Ou seja, após cessada a fonte sonora o decaimento do som é gradual e depende da quantidade, tipo e posição dos materiais de acabamento (superfícies de absorção) da sala. Este fenômeno é chamado de reverberação do som. A reverberação representa a quantidade de absorção do ambiente e depende diretamente da forma (volume) dos materiais de acabamento e da ocupação da sala. Na avaliação de salas a reverberação é analisada através do tempo de reverberação (TR). O TR é o tempo necessário para o nível de pressão sonora decair em 60dB. Cada tipo de sala tem um tempo de reverberação ótimo que deve ser previsto no projeto da sala.

Fusco (1996) adverte que a reverberação do som é um fenômeno muito importante para avaliação de ambientes fechados, pois o som emitido se propaga em todas as direções devido aos obstáculos e duraria indefinidamente se não houvesse a absorção na sala.

A Figura 3.4 ilustra a variação do nível de pressão sonora em função do tempo. O som direto (L_d) é aquele que se propaga sem nenhum tipo de obstáculo desde a fonte até o ponto de recepção. As primeiras reflexões (L_{re}) ocorrem no trecho entre as paredes e a fonte sonora e influenciam nas proporções em relação às dimensões da sala, causando ou evitando perturbações sonoras (como o eco e ecos flutuantes). A parcela de som posterior às reflexões primárias é a reverberação (L_r).

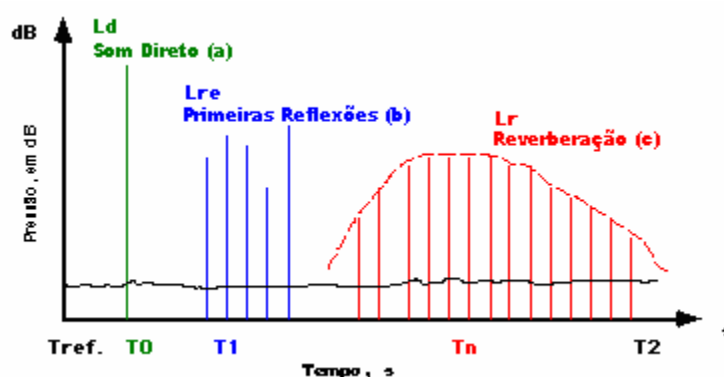


Figura 3.4: Estrutura final de um campo sonoro.

Fonte: Adaptado de BASNETT (1991).

No encontro de obstáculos, como as paredes da sala, as ondas se dividem de acordo com o meio de propagação, resultando parcelas de som refletido, som transmitido e som absorvido, conforme mostra a Figura 3.5. Como consequência, durante esta propagação são produzidos os seguintes fenômenos sonoros: transmissão; reflexão; difusão (ou reflexão difusa); difração e absorção descritos a seguir.

A parcela de som transmitido através da superfície de incidência depende da quantidade de energia sonora que o meio deixou de absorver e de refletir. A quantidade de transmissão sonora é determinada pelo coeficiente resultante da razão entre a parcela da energia sonora transmitida e a energia sonora incidente.



Figura 3.5: Propagação do som no obstáculo.

Fonte: Adaptado de METHA; JOHNSON; ROCAFORT (1999, p.39).

O fenômeno da reflexão consiste na mudança da direção da propagação da energia sonora, através do retorno da energia incidente em direção à região de onde origem, após entrar em contato com uma superfície. A reflexão pode ser especular ou difusa. A reflexão especular ocorre quando as ondas encontram superfícies lisas, formando com a normal, ângulos de incidência iguais aos ângulos de reflexão (Lei da Reflexão sonora); ou que no caso de existir alguma rugosidade esta tenha comprimento menor do que o comprimento da onda incidente (λ). A Figura 3.6 mostra a situação onde o comprimento de onda (λ) é maior que as dimensões (H) e (B) da rugosidade da superfície.

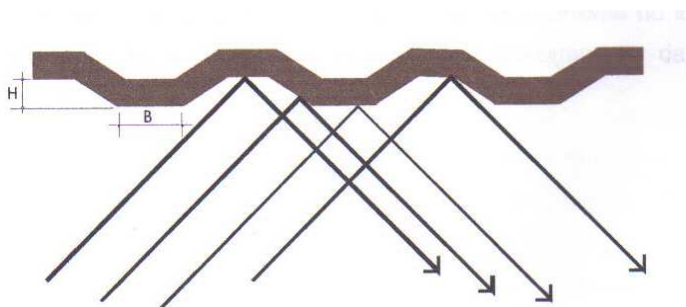


Figura 3.6: Reflexão especular.

Fonte: Adaptado de METHA, JOHNSON;e ROCAFORT (1999, p.49).

A reflexão difusa ou difusão sonora ocorre quando as ondas encontram superfícies rugosas e o som incidente é refletido em várias direções; isto ocorre porque o comprimento de onda (λ) é menor que as dimensões (H) e (B) da superfície rugosa. Na prática, existe a mistura de ambos os tipos de reflexão fazendo com que haja reflexão mista. A Figura 3.7 mostra o fenômeno da reflexão difusa. A reflexão sonora é determinada pelo coeficiente resultante da razão entre a parcela de energia sonora refletida pela superfície incidente e a energia sonora incidente.

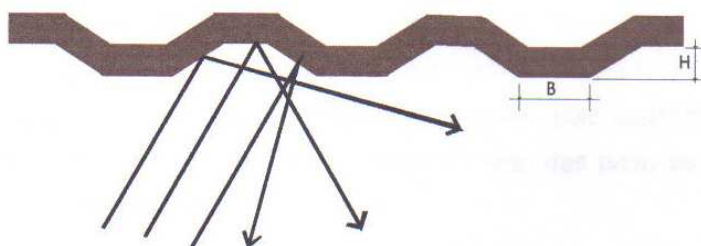


Figura 3.7: Reflexão difusa ou Difusão sonora.

Fonte: Adaptado de METHA, JOHNSON; ROCAFORT (1999, p.49).

Em Bistafa e Bradley (2000a) é apontado que a relação entre os valores de energia sonora e a inteligibilidade da fala emprega conceitos derivados dos resultados experimentais no início dos anos 50 realizados por Haas (1972). Estes resultados, usando sons da fala, mostram que as reflexões que chegam no ouvinte com atraso, contanto que até 40 ms após o som direto, não é percebido como ecos.

O ouvinte percebe um aumento no volume, uma modificação agradável da qualidade do som, e uma ampliação espacial aparente da fonte sonora. Estas circunstâncias são consideradas úteis para a inteligibilidade da fala, pois fornecem sustentação à fonte. As reflexões, que chegam mais tarde, são julgadas subjetivas como a reverberação ou ecos uniformes, nos casos os mais desfavoráveis. A reverberação e os ecos e o ruído são prejudiciais na comunicação através da fala.

A partir do Efeito Haas (1951) demonstra-se a relação entre a diferença do valor do decaimento sonoro final e do nível sonoro inicial, em função do tempo de decaimento sonoro

na sala, obtendo-se “zonas” de avaliação sonora, significando uma interferência acústica e situação indesejável para salas (EGAN, 1988). A Figura 3.8 apresenta a gráfico de “Haas”.

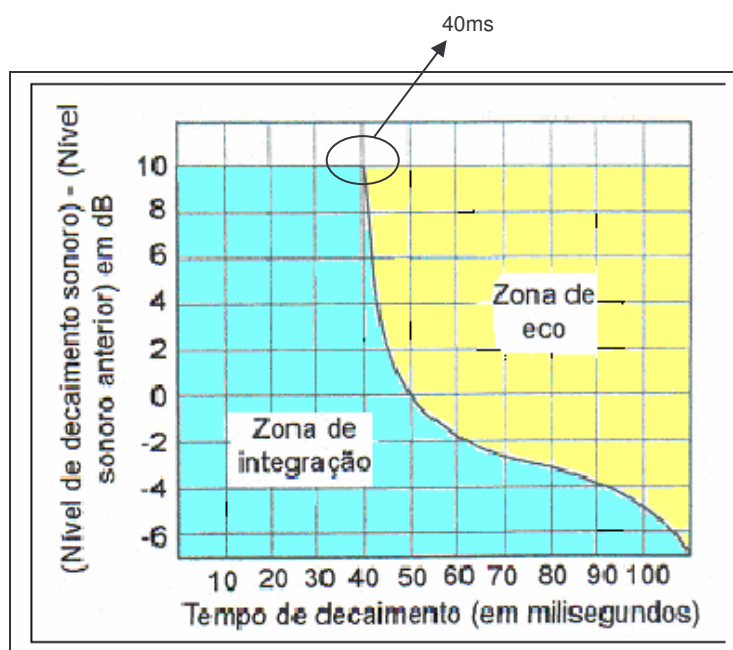


Figura 3.8: Zonas de integração e zona de eco para um som decaído.
Fonte: Adaptado de METHA, JOHNSON; ROCAFORT (1999, p. 32).

Como fenômenos indesejáveis destaca-se o eco e o eco flutuante. O eco é a repetição nítida e distinta de um som direto que após refletido chega aos ouvidos em intervalo acima de 1/15 de segundo de tempo. Considerando-se a velocidade do som no ar, em 345m/s, o objeto que causa essa reflexão no som deve estar a uma distância de 23m ou mais (EGAN, 1988).

A difração sonora ocorre quando há o desvio das ondas sonoras por estas encontrarem um obstáculo ou uma abertura de tamanho igual ao seu comprimento de onda (λ). Se a largura do obstáculo for menor do que λ , o som continua a se propagar, rodeando o obstáculo e atravessando a abertura, sem sofrer nenhuma variação. Se a largura for maior do que λ , há distorção da onda sonora. No obstáculo aparece uma zona de sombra atrás da superfície receptora e parte da energia sonora é refletida e absorvida. O grau de curvatura do som (difração) em torno do obstáculo depende da frequência. Quanto maior a frequência, menor a difração e vice-versa, conforme representado na Figura 3.9.



Figura 3.9: Difração de sons de alta e de baixa frequência.

Fonte: Adaptado de METHA, JOHNSON e ROCAFORT (1999, p.40).

O fenômeno da absorção ocorre quando a superfície absorve a energia das ondas sonoras incidentes na superfície. A quantificação de absorção sonora é obtida pelo coeficiente (α). O coeficiente de absorção (α) é a relação entre a intensidade sonora absorvida por uma superfície (I_a) e uma intensidade sonora qualquer (I_o) que atinge esta superfície, ou seja:

$$\alpha = I_a / I_o \quad (3.3)$$

Onde:

α : coeficiente de absorção sonora;

I_a : energia sonora absorvida;

I_o : energia sonora incidente.

Este coeficiente de absorção sonora é geralmente menor que a unidade ($\alpha < 1$), e pode ser expresso em porcentagem (ISO, 1985). A absorção depende das propriedades do material e da frequência sonora. Contrariamente aos materiais de isolamento, os materiais de absorção são materiais leves (baixa densidade), fibrosos ou de poros abertos, como por exemplo: espumas de poliéster de células abertas, fibras cerâmicas e de vidro, tecidos e carpetes.

As espumas de poliestireno (expandido ou extrudado) têm características de isolamento térmico, porém não são recomendados em acústica. A cortiça é um produto orgânico e não apresenta resultados acústicos, somente problemas de higiene e deterioração.

Os valores dos coeficientes de absorção dos materiais de revestimentos são fornecidos pelos fabricantes e encontrados na literatura. A norma brasileira NBR 12179: “tratamento acústico em recintos fechados” (ABNT, 1992) também apresenta alguns coeficientes de absorção para as frequências na banda de 1/1 de oitava.

A Tabela 3.2 apresenta os coeficientes de absorção típicos de alguns materiais que são comumente encontrados em salas de aula.

Tabela 3.2- Coeficientes de absorção sonora (α , em m^2 . Sabine) dos principais materiais e mobiliário encontrados em salas de aula (por $1m^2$ de material), em função da frequência.

Tipo de material	Frequência (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
Alvenaria de blocos aparentes pintados ⁽¹⁾	0,01	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Alvenaria de tijolos rebocada ⁽¹⁾	0,02	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03
Assoalho de tábua corrida sobre contrapiso ⁽¹⁾	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Concreto ou cimentado liso e desempenado ⁽¹⁾	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Concreto aparente, tratado e polido ⁽¹⁾	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Placas de gesso (parede ou teto) ⁽²⁾	0,25	0,15	0,08	0,06	0,04	0,04
Cerâmica, mármore ou granito polido ⁽¹⁾	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Plástico/ PVC (piso ou teto) ⁽²⁾	0,14	0,10	0,06	0,05	0,04	0,03
Fibra de vidro ⁽²⁾	0,70	0,85	0,75	0,85	0,90	0,90
Cortinas de tecido leve, esticada em contato com a parede ⁽¹⁾	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortinas de tecido médio, drapeada em 50% da área ⁽¹⁾	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Cortinas de tecido pesado, drapeada em 50% da área ⁽¹⁾	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65
Vidro comum montado em caixilho ⁽¹⁾	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Porta de madeira comum pintada ⁽¹⁾	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10
Quadro negro/lousa ⁽²⁾	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Carteira escolar, vazia ⁽¹⁾	0,02	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Cadeira de madeira, simples, vazia, ou pequena mesa ⁽¹⁾	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05

Fontes: (1): Adaptado de BISTAFA (2006, p. 236-237).

(2): Adaptado de BRÜEL & KJAER (1978, p.37).

3.3 A importância da forma geométrica na acústica de salas

Bistafa (2005) relata que as características construtivas da sala (tamanho e forma, materiais de revestimento de paredes e teto, o arranjo dos assentos, etc.) determinam a sua “acústica”; isto é, influenciam nos resultados dos sinais gerados por uma fonte sonora.

No conceito de “forma” pode se considerar que é um termo amplo e com vários significados. Para Ching (1999, p.34), no estudo da arquitetura: “a forma sugere referência tanto à estrutura interna e ao perfil exterior quanto ao princípio que confere unidade ao todo”.

Ao longo da história da arquitetura, o estudo da forma sempre representou uma polêmica na concepção do projeto arquitetônico, pois as decisões geram entre outros fatores, a economia, a funcionalidade, a praticidade, a facilidade construtiva e a estética. Estes fatores, segundo Brandão (2006), são questões que a arquitetura procura resolver simultaneamente, sem privilegiar um aspecto sobre o outro, mas equilibrando-os dentro das exigências estreitamente conexas a ela requeridas.

A forma geométrica é utilizada não só na concepção de projetos de salas, mas também em auditórios, teatros e casas de espetáculos, onde admite-se, para fins de acústica, que todo som que atinge a platéia deve ser imediatamente absorvido por ela, proporcionando qualidade na compreensão (CARVALHO, 1967).

Segundo Ching (1999), a forma inclui um sentido de massa ou volume tridimensional e contém propriedades essenciais que determinam sua aparência. As propriedades da forma que interferem na acústica no interior de uma sala são: o formato, o tamanho (dimensão), e a textura. O formato refere-se ao contorno característico ou configuração da superfície de uma forma particular. A forma é classificada e identificada através do seu formato. As dimensões físicas de comprimento, largura e profundidade de uma forma determinam suas proporções. A escala da forma é determinada pelo seu tamanho relativo a outras formas de seu contexto. A representação da orientação da forma, segundo um plano cartesiano tridimensional, com eixos X,Y e Z, está ilustrada na Figura 3.10, onde L_y é o comprimento, L_x é a profundidade ou largura e L_z é a altura.

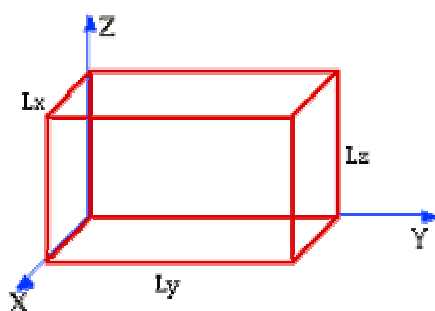


Figura 3.10: Forma geométrica do tipo “*shoe box*” ou “caixa de sapato” (forma retangular).

A textura representa a qualidade visual e tátil de uma superfície pelo tamanho, formato, disposição e proporção das partes. Ela determina o grau em que as superfícies de uma forma refletem ou absorvem ondas sonoras. A textura é um fator importante na absorção dos materiais, implicando na propagação sonora.

Os parâmetros arquitetônicos como o volume, as dimensões e a forma contribuem para a composição do espaço da sala de aula. As atividades desenvolvidas em sala de aula envolvem muito mais que escutar e escrever. Por isso, a forma geométrica deve ser projetada de maneira a atender um maior número de atividades, sem comprometer a comunicação entre professor e aluno. No âmbito internacional, há estudos de implementação de outras formas geométricas para salas de aula (com formatos do tipo “L” e “Z”, por exemplo), na busca de maior flexibilidade na ocupação e assim adequá-las às novas metodologias de ensino, tal como a inserção do uso da informática. Os formatos retangular e quadrado são os mais utilizados na projeção das salas de aula brasileiras.

O estudo de Lang (2003) destaca o comportamento dos alunos diante do espaço da sala de aula e de como a forma geométrica influencia no processo de aprendizagem, baseado no número de alunos e nas atividades desenvolvidas. O formato do tipo “L” permite que diversas atividades ocorram simultaneamente, sem comprometer a visualização. A Figura 3.11 demonstra alguns tipos de formato de salas de aula estudados por Lang (2003).

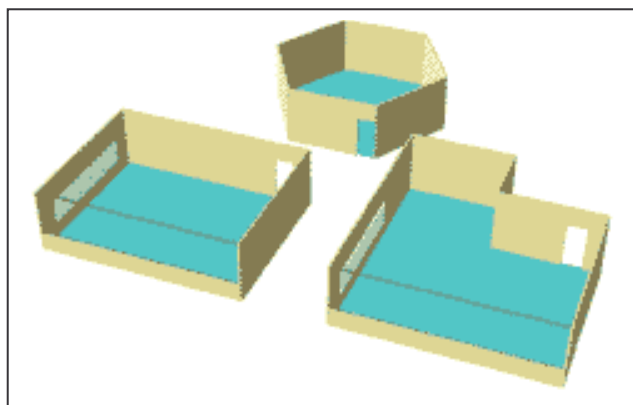


Figura 3.11: Alguns formatos de salas de aula estudados por Lang (2003).

Fonte: LANG (2003, p.1).

Diante de vários estudos sobre o processo de aprendizagem que sugerem que o espaço da sala de aula favoreça não só o desenvolvimento de atividades individuais como também em pequenos grupos ou em grupo único, o Ministério da Educação da Nova Zelândia, através de um manual de instruções para elaboração projetos escolares, recomenda algumas formas para as salas de aula, destacando-se o formato do tipo “Z”. Os autores, Sutton, Wait e Benseman (2001) alertam que a tradicional sala de aula com formato do tipo retangular não atende adequadamente à esta nova demanda de atividades e especificam que as salas de aula devem ter formato do tipo quadrado, “Z” ou “L”. Defendem as salas com o formato do tipo “Z”, pois estas favorecem a adaptação do espaço de acordo com a necessidade de uso e permitem que alunos desenvolvam atividades do lado externo da sala, sem prejuízo da integração. O centro da sala permanece como tradicional para a exposição da aula pelo professor, com atendimento individual ou em grupos. As paredes podem ser adaptadas com painéis móveis (dotados de alto falantes, projetores) de maneira a controlar a luminosidade e sombreamento e a acústica no interior da sala. As extremidades do “Z” podem ser utilizados como área reservada ao professor, para estudos individuais ou instalação de computadores. O formato também permite ajustes entre mais de uma sala. Um bloco formado por 4 salas de formato do tipo “Z”, dotadas de paredes internas removíveis pode se transformar em outras salas maiores ou menores, e os espaços excedentes nas extremidades podem servir de salas para pesquisas, conferências ou outras atividades. A Figura 3.12 mostra um esboço de 4 salas com formatos do tipo “Z”, formando um bloco.

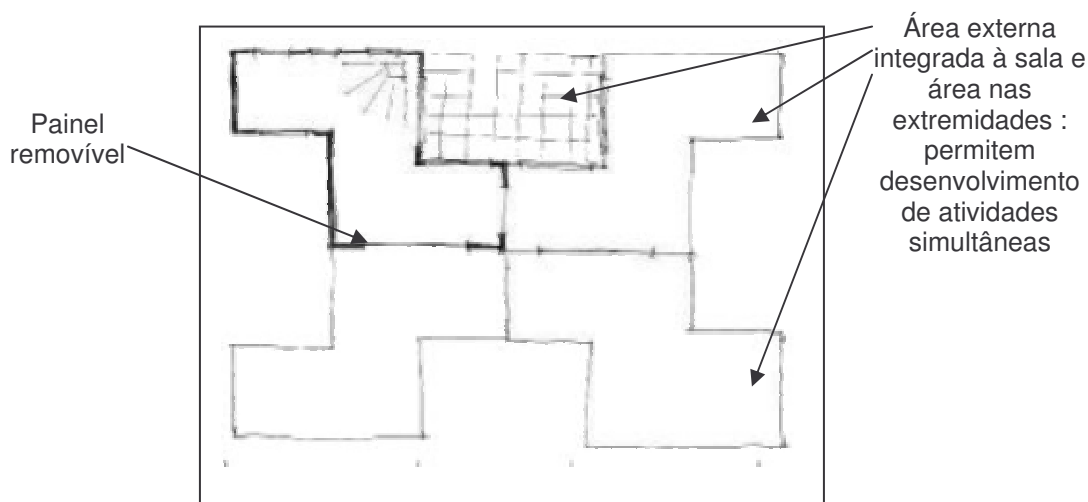


Figura 3.12: Salas com formato do tipo "Z".
Fonte: SUTTON; WAIT; BENSEMAN (2001, p.117).

O projeto de salas de aula com formas diferentes requer estudos além dos didáticos, principalmente quanto ao conforto ambiental. Em relação ao conforto acústico, a determinação da forma deve ser previamente estudada para garantir qualidade.

No estudo do comportamento acústico de salas Gerges (2000) adverte que o uso da teoria de geometria ou do raio acústico é inadequado, pois esta considera valores médios e ignora as frequências características das salas. A teoria da análise modal (ondas acústicas) é a mais adequada, pois a sala pode ser tratada como um ressonador complexo tendo vários modos acústicos, cada um com sua frequência característica de ressonância livre de amortecimento.

Egan (1988) define as ondas estacionárias como aquelas resultantes da superposição de duas ondas de mesma frequência, mesma amplitude, mesmo comprimento de onda, mesma direção e sentidos opostos. Quando as ondas sonoras se atingem as paredes e se refletem, retornando com sentido de deslocamento contrário ao anterior, as perturbações se superpõem às outras que estão chegando à parede, originando o fenômeno das ondas estacionárias. As ondas estacionárias geram no espaço, pontos onde sua amplitude é nula (pontos conhecidos como nós) e pontos que vibram com a amplitude máxima (pontos conhecidos como ventres).

Segundo Gerges (2000) as ondas estacionárias em salas retangulares são de três tipos: axial, tangencial ou oblíqua. Conseqüentemente, há na sala três tipos das freqüências de ressonância modal: axial, tangencial e oblíqua. O cálculo geralmente é feito para a freqüência de até 300 Hz e é obtido através da equação 3.4.

$$f = \left(\frac{v}{2}\right) \sqrt{\frac{p^2}{L^2} + \frac{q^2}{W^2} + \frac{r^2}{H^2}} \quad (\text{Hz}) \quad (3.4)$$

Onde:

f : freqüência de ressonância, em Hz.

v : é a velocidade de som (344 m/s);

L, W, H : são comprimento, largura e altura da sala;

p, q, r : são números inteiros (0, 1, 2, 3....).

A separação entre freqüências é dada em função de p, q, r : quando dois deles forem iguais a zero, o modo é axial e significa que as ondas (axiais) se movem paralelas a um dos eixos (X ou Y ou Z). O modo tangencial ocorre quando um deles for igual a zero, isto é, as ondas se movem paralelas a um plano (XY ou YZ ou ZX). Quando os três forem diferentes de zero, o modo é oblíquo, e significa que as ondas (oblíquas) se movem nas três direções (X, Y e Z) (GERGES, 2000). Os modos de ressonância também são calculados através de programas computacionais. A Figura 3.13 exemplifica os três modos acústicos.

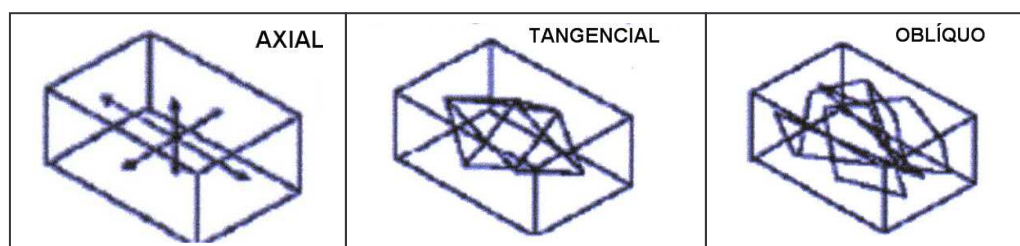


Figura 3.13: Representação dos modos acústicos: axial, tangencial e oblíquo.

Fonte: Adaptado de TOOLE (2002 apud BISTAFÁ, 2002, p.6).

Portanto, as dimensões de comprimento, largura e altura influenciam nos modos acústicos da sala, que implicam em ressonâncias indesejáveis, caso não sejam distribuídos uniformemente. O paralelismo de paredes corresponde a uma situação que propicia ecos flutuantes ou palpitantes. O eco flutuante é geralmente causado por reflexões repetitivas da energia sonora entre paredes opostas e paralelas ou em superfícies côncavas (EGAN, 1988).

A maioria dos problemas de difusão sonora e de ressonâncias indesejáveis ocorre em salas pequenas e nas baixas frequências (EVEREST, 2001). Acusticamente, considera-se salas pequenas aquelas cujas dimensões são muito próximas do comprimento de onda (λ) relativo às frequências comuns dos ambientes. Em Viveiros (2000) as salas com volumes de até 300m³ são consideradas pequenas ou de pequeno volume.

Para a avaliação deste tipo de sala é necessário o estudo da frequência de ressonância ou teórica. A frequência de ressonância é uma frequência natural de vibração determinada pelos parâmetros físicos do objeto vibrante. Algumas características das frequências de ressonância são: é fácil de fazer um objeto vibrar nas suas frequências de ressonância, difícil de fazer ele vibrar nas outras frequências; a maioria de objetos tem múltiplas frequências de ressonância (BERG; STORK, 1995).

Everest (2001) destaca ainda que as salas retangulares são comuns devido à economia na construção e apresentam vantagens acústicas, pois permitem que os modos de ressonância (axial, tangencial e oblíquo) possam ser calculados e sua distribuição estudada. O estudo das proporções relativas ao comprimento, largura e altura em ambiente é mais importante para a acústica de salas pequenas, pois permite a escolha das dimensões de maneira os modos de ressonância se distribuam igualmente pelo espectro sonoro. As salas cúbicas são exemplos mais comuns. Há na literatura várias suposições quanto às proporções estatísticas que indicam maneiras de distribuição dos modos de ressonância, visando qualidade acústica. Nenhum deles é o correto ou afirma ser “absolutamente ótimo” (EVEREST, 2001).

Na concepção geométrica de uma sala, Losso (2003) ressalta a importância de se evitar a formação de ondas estacionárias. Essas ondas afetam a distribuição sonora da sala, prejudicando o entendimento por parte dos ouvintes. Assim, é necessário evitar superfícies rígidas e paralelas, que levam a múltiplas reflexões e formam ondas estacionárias. Deve-se também maximizar as reflexões iniciais e evitar o aumento da energia tardia, projetando-se formas geométricas acusticamente favoráveis.

Bolt (1946) produziu desenhos gráficos baseando-se na distância por meio das frequências de ressonâncias experimentais realizadas em salas retangulares e para as baixas frequências. O Diagrama de Bolt (1946) representa numa só figura as “áreas” correspondentes às proporções das dimensões de uma sala. As proporções mais conhecidas que se situam na

escala de Bolt (1946), ou seja, pertencem à zona de proporção (altura, largura e comprimento) no Diagrama são $2:3:5$ e $1: 2^{1/3} : 4^{1/3}$ (FLOODY, 2006, p.2). A Figura 3.14 representa o Diagrama de Bolt (1946 apud EVEREST, 2001).

Para o uso do diagrama de Bolt é necessário conhecer a relação $1 : X : Y$. A menor dimensão deve corresponder ao valor unitário e as demais dimensões calculadas na proporção desta. A dimensão “Y” deverá corresponder ao maior valor entre as demais dimensões. No caso de salas de aula, os parâmetros X e Y representam a largura (L) e o comprimento (C, maior dimensão entre as 3, se houver), normalizados pela altura (H, menor dimensão entre as 3) do ambiente. O valor unitário refere-se à altura (a menor das dimensões) normalizada (altura dividida por ela mesmo). Assim X representa a razão entre a largura e a altura, enquanto Y representa a razão entre o comprimento e a altura. Entrando-se como os valores de X e Y no gráfico da Figura 3.14, localiza-se um ponto e verifica-se se este pertence ou não a área de Bolt (área azul da figura). Por exemplo, considerando uma sala de 10,0m de comprimento, 8,0m de largura e 4,0m de altura, as dimensões serão normalizadas pela altura (4,0m). Calculado os valores de X e Y, a relação $1 : X : Y$ para esse ambiente será $1 : 2 : 2,5$. Esses valores de X e Y indicam que as coordenadas de um ponto não está contido na “Área de Bolt”.

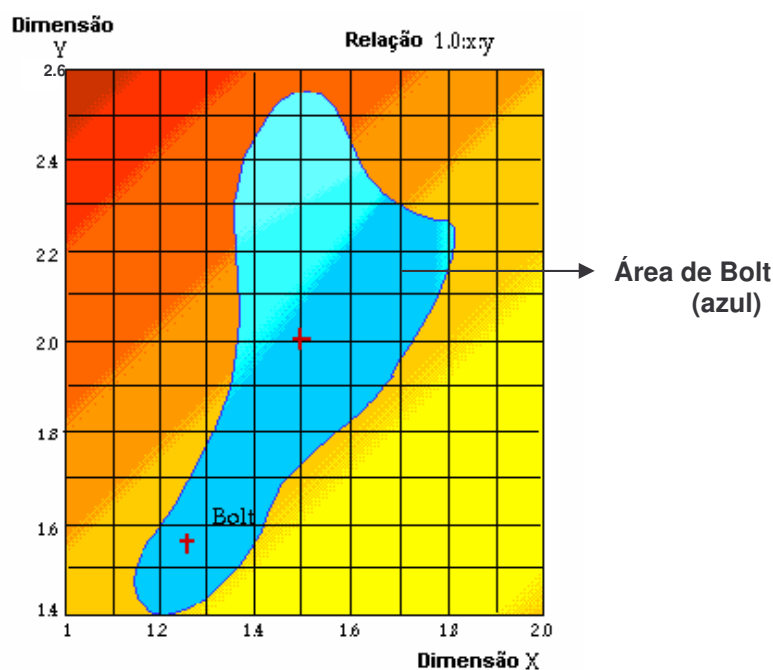


Figura 3.14: Diagrama de Bolt (1946).
Fonte: Adaptado de EVEREST (2001, p.276).

No diagrama, os pontos em cruz vermelhos representam exemplos de proporções (x, y, 1,0) que estão contidos na área azul, classificada como “Área de Bolt”. A área representada na cor azul corresponde à escala considerada “aceitável”, para garantir a distribuição uniforme dos modos de ressonância, segundo Bolt (1946 apud EVEREST, 2001).

Outras recomendações são destacadas por Everest (2001) a partir de estudos realizados por Volkmann (1942), Sepmeyer (1965), Louden (1971) e Boner (1942) e apresentadas na Tabela 3.3. A última coluna compara os valores recomendados pelos autores com a escala do Diagrama de Bolt (1946).

Tabela 3.3- Proporções para dimensões de sala propostas por alguns autores e comparação com a escala de Bolt (1946).

Autor*/ proporção	Sugestão no Diagrama de Bolt (Figura 3.13)	Altura (unidade)	Largura	Comprimento	Está na escala de Bolt (1946)?
Sepmeyer (1965)	A	1,00	1,14	1,39	Não
	B	1,00	1,28	1,54	Sim
	C	1,00	1,60	2,33	Sim
Louden (1971)	D	1,00	1,40	1,90	Sim
	E	1,00	1,30	1,90	Não
	F	1,00	1,50	2,50	Sim
Volkmann (1942) 2: 3: 5	G	1,00	1,50	2,50	Sim
Boner (1942) $1 : \sqrt[3]{2} : \sqrt[3]{4}$	H	1,00	1,26	1,59	Sim

Fonte: Adaptado de EVEREST (2001, p.277).

A Figura 3.15 mostra as sugestões dos 4 autores no Diagrama Bolt (1946).

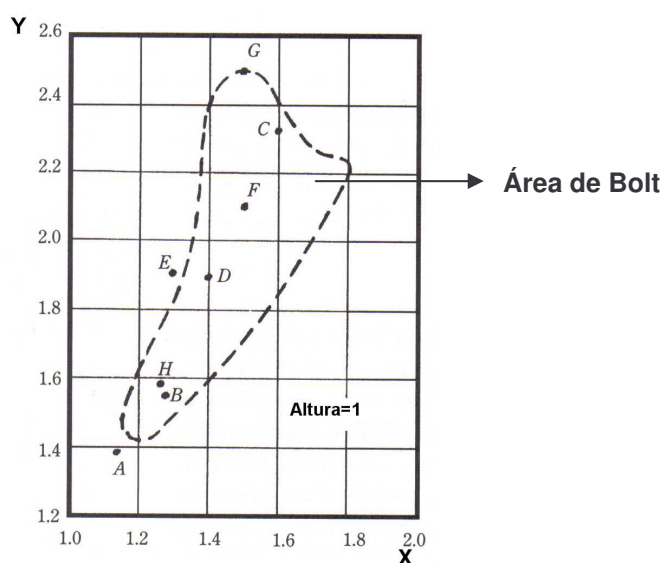


Figura 3.15: Sugestões dos autores para as proporções da sala, localadas no Diagrama de Bolt (1946).

Fonte: Adaptado de EVEREST (2001, p.276).

3.4 Parâmetros acústicos e inteligibilidade da fala

Os parâmetros utilizados para a avaliação da acústica de salas podem ser de caráter objetivo ou subjetivo, sendo que alguns destes indicam a inteligibilidade da fala.

Segundo Nepomuceno (1994), entende-se por inteligibilidade da fala a relação entre o número de palavras ou sílabas entendidas e o número de palavras sentenças ou sílabas faladas, admitindo-se pessoas otologicamente normais. A inteligibilidade pode ser expressa em termos de porcentagem, sendo que quanto maior o índice, maior a compreensão do sinal acústico.

Para Salgado (2003), os critérios de qualidade dependem da adequação acústica. Pode-se distinguir basicamente dois tipos de adequação acústica: primária e secundária. A adequação primária consiste nas técnicas aplicadas durante a fase de planejamento e do projeto arquitetônico. Mediante a realização de simulações é possível analisar o efeito dos materiais especificados, bem como, é possível variar a geometria e volume para que atendam aos índices acústicos recomendados. A adequação secundária se aplica como correção de salas já existentes, com a aplicação de materiais de tratamento: absorventes, ressonadores, reflexores e difusores.

A norma internacional ISO 3382- *Measurement of the Reverberation Time of Rooms with Reference to other Acoustical Parameters* (ISO, 1997), estabelece diretrizes para medições dos parâmetros acústicos, quanto aos conceitos, métodos e avaliações em salas.

Para a avaliação acústica de salas destacam-se os parâmetros acústicos: a Relação entre Sinal e Ruído (SNR⁷); o Tempo de Reverberação (TR); o Nível de Pressão Sonora (NPS ou Leq); Tempo de Decaimento Inicial (EDT⁸); Definição (D₅₀); Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) e o Índice de Transmissão da Fala (STI⁹), definidos a seguir.

3.4.1 Relação entre Sinal e Ruído (SNR)

A relação entre Sinal e Ruído (SNR) é a diferença entre o sinal acústico da fonte sonora e o nível de pressão sonora do ambiente. Para se atingir um certo grau adequado de inteligibilidade, é necessária uma diferença mínima entre o sinal da fala e o ruído de fundo. No caso da sala de aula, em que o sinal (S) é a voz do orador (professor) e (R) é o ruído ambiental existente, quanto maior o valor desta relação (SNR), melhor a situação de escuta será oferecida aos alunos. Quanto mais próxima ao zero ou negativa, pior a compreensão da fala (BENTLER, 2000 apud DREOSI; MOMENSOHN-SANTOS, 2005).

Por exemplo, em determinada frequência tem-se um sinal acústico de 73dB e um ruído de fundo existente na sala de 65dB, a relação entre sinal e ruído (SNR) será positiva de +8dB, resultando numa baixa compreensão da fala. Para um mesmo sinal acústico de 73dB e um ruído de fundo de 77dB, a relação entre sinal e ruído será negativa de -4dB, isto é, não há compreensão da fala na sala.

⁷ SNR: SIGNAL to NOISE-RATIO, corresponde ao parâmetro acústico "Relação entre Sinal e Ruído". Neste trabalho manter-se-á a abreviatura correspondente à denominação na língua de origem, referida na ISO 3382 (1997).

⁸ EDT: EARLY DECAY TIME, corresponde ao parâmetro acústico "Tempo de Decaimento Inicial". Neste trabalho manter-se-á a abreviatura correspondente à denominação na língua de origem, referida na ISO 3382 (1997).

⁹ STI: SPEECH TRANSMISSION INDEX, corresponde ao parâmetro acústico "Índice de Transmissão da Fala". Neste trabalho manter-se-á a abreviatura correspondente à denominação na língua de origem.

3.4.2 Tempo de Reverberação (TR)

O Tempo de Reverberação (TR) ou TR_{60} é o tempo necessário para que a curva de decaimento energético caia de 60dB após cessada a fonte. Diferentemente dos outros parâmetros, o tempo de reverberação tende a ser uniforme na sala, isto é, o seu valor independe da posição do ouvinte (MEHTA; JOHNSON; ROCAFORT, 1999). A Figura 3.16 representa intervalos de tempo onde a fonte sonora é constante e o decaimento do som após cessada a fonte (TR ou TR_{60}).

O tempo de reverberação depende do volume da sala, da área de absorção dos materiais que compõem as superfícies internas (paredes, teto e piso), da ocupação da sala (pessoas, móveis e objetos), com seus respectivos coeficientes de absorção (α) para as faixas de frequência consideradas.

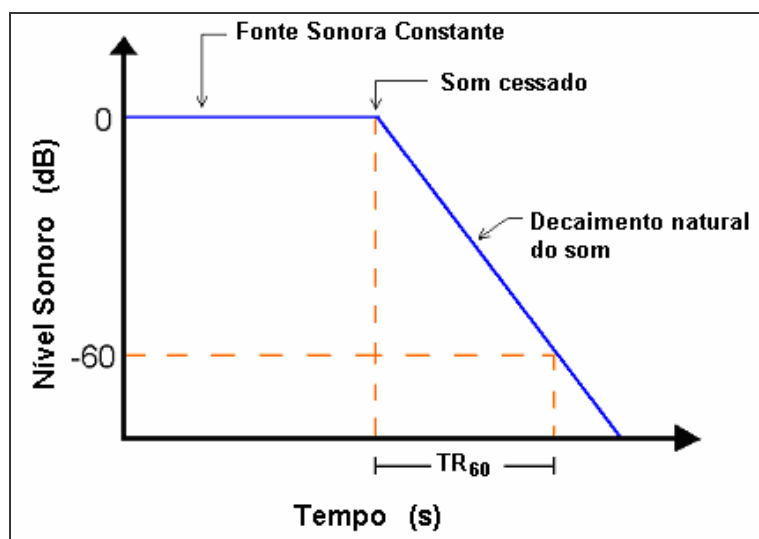


Figura 3.16: Tempo de Reverberação (TR).

Fonte: Adaptado de (MEHTA; JOHNSON; ROCAFORT, 1999, p.212).

Analiticamente, o tempo de reverberação pode ser calculado através de equações encontradas na literatura, tais como: Sabine (1922), Eyring (1930) e Millington-Sette (Millington, 1932; Sette, 1933), descritas a seguir, e extraídas de Brüel & Kjaer (1978).

a) A Equação de Sabine (1922):

Para salas razoavelmente reverberantes e com uniforme distribuição dos materiais de absorção, a fórmula de Sabine (1922) permite boa indicação do provável comportamento sonoro da sala.

$$TR = \frac{0,161.V}{A} \quad (\text{s}) \quad (3.5)$$

Onde:

TR : tempo de reverberação, em s;

V : volume da sala, em m³;

A : absorção (m²-Sabine) . A absorção é calculada através da expressão:

$$A = \sum_i S_i \alpha_i \quad (3.6)$$

Onde:

S_i : área da superfície, em m²;

α_i : coeficiente de absorção do material de acabamento da superfície.

Mas esta fórmula de Sabine possui limitações. Como as salas vão se tornando “mortas” acusticamente com o decaimento sonoro, isto é, chegam no limite da absorção. No caso limite de completa absorção ou sala “morta” ou sala com “câmara anecóica”, onde o coeficiente de absorção tem valor unitário, o tempo de reverberação seria zero, pois um campo reverberante não existe nestas condições. Então, a utilização da equação de Sabine torna-se inviável, pois fornece valores finitos de $0,161V/A$ para o tempo de reverberação.

Para Fasold e Veres (2003), a condição para a aplicação da Equação de Sabine é o coeficiente médio de absorção sonora ser de até 0,3 ($\bar{\alpha}_{\text{ambiente}} = 0,3$) . Para ambientes com coeficientes médios maiores do 0,3 ($\bar{\alpha}_{\text{ambiente}} > 0,3$) os autores sugerem o uso da Equação de Eyring (1930).

b) A Equação de Eyring (1930):

Há outras fórmulas que permitem estimar um tempo de reverberação mais aproximada do resultado de medições em salas contendo pouca absorção. Como exemplos, têm-se as equações de Eyring (1930) e Millington-Sette (Millington, 1932; Sette, 1933), que são derivadas

da fórmula de Sabine (1922). Estas derivações são geralmente baseadas na acústica geométrica, considerando que o som é difuso e se propaga igualmente em todas as direções. Para Brüel & Kjaer (1978) são simplificações grosseiras do “real” comportamento acústico da sala, ou seja, representam “estimativas” do cálculo do tempo de reverberação, pois negligenciam fatores importantes como os modos de ressonância da sala, a posição do material de absorção e a influência da forma da sala.

A equação 3.7 representa a fórmula de Eyring (1930) para o cálculo do tempo de reverberação.

$$TR = \frac{0,16.V}{-S \ln(1 - \bar{\alpha})} \quad (s) \quad (3.7)$$

Onde:

TR : tempo de reverberação, em s;

V : volume da sala, em m³;

S : área total das superfícies dos materiais, em m²;

$\bar{\alpha}$: média dos coeficientes de absorção dos materiais.

A equação de Eyring (1930) fornece resultados mais próximos de medidas do tempo de reverberação para as salas “mortas”, quando comparados com os resultados obtidos através da fórmula de Sabine (1922). Também permite obter valores mais precisos de TR . Para câmaras anecóicas onde TR tende a zero, um inconveniente do uso desta fórmula é que ela não associa cada área “ S ” com respectivo coeficiente de absorção “ α ”. Gerges (2000) sugere o uso da Equação de Eyring (1930) ou de Millington e Sette (Millington, 1932; Sette, 1933) para $\bar{\alpha}_{\text{ambiente}}$ maior do que 0,2.

c) A Equação de Millington(1932) e Sette (1933):

A equação de Millington e Sette é mais utilizada na previsão do TR quando a sala possuir materiais de absorção com vários coeficientes de absorção. A equação 3.8 representa a equação de Millington(1932) e Sette (1933).

$$TR = \frac{0,16.V}{\left[\sum_i -S_i \ln(1 - \alpha_i) \right]} \quad (s) \quad (3.8)$$

Onde:

TR : tempo de reverberação, em s;

V : volume da sala, em m³;

S_i : área da superfície de cada material da sala, em m²;

α_i : coeficientes de absorção sonora de cada material presente na média dos coeficientes de absorção.

A fórmula de Millington e Sette (Millington, 1932; Sette, 1933) indica que os materiais mais absorventes são mais eficazes para uma previsão antecipada na influência do tempo de reverberação.

3.4.3 Nível de Pressão Sonora Ambiental ou Ruído de Fundo (NPS ou L_{eq})

Segundo a NBR 10151 (ABNT, 2000), o nível de pressão sonora ambiental (NPS ou L_{eq}), caracterizado como ruído ambiental ou de fundo, pode ser considerado como aquele ruído existente em um determinado local e que não diz respeito ao objeto de apreciação ou medição. É representado em escala na curva de ponderação “A”, isto é, em [dB(A)].

Na literatura há vários descritores do nível de pressão sonora ambiental ou do ruído de fundo e são adotados dependendo da finalidade da pesquisa. Para este trabalho será utilizado o nível de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), medido na curva de ponderação (A), pois representa um valor que corresponde à média da energia sonora integrada no tempo da medição. Segundo a NBR 10152: “*níveis de ruído para conforto acústico*.” (ABNT, 1987) é o nível que, na hipótese de poder ser mantido constante durante o período de medição, acumularia a mesma quantidade de energia acústica que os diversos níveis variáveis acumulam no mesmo período. O L_{Aeq} é obtido nos equipamentos de medição de pressão sonora.

Segundo Zannin e Loro (2005) há um consenso entre os pesquisadores que ruído de fundo ou nível de pressão sonora ambiental (NPS) provindo de diversas fontes sonoras é o parâmetro de maior relevância quanto ao incômodo acústico nas salas de aula. O NPS influencia diretamente na relação sinal e ruído, além de que, no processamento de dados

de índices de inteligibilidade é levado em consideração e influencia negativamente nos resultados finais.

3.4.4 Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

O Tempo de Decaimento Inicial (*Early Decay Time*-EDT) é o tempo necessário para que a curva de decaimento energético caia os primeiros 10dB (ISO, 1997). O EDT corresponde a um importante parâmetro acústico de avaliação de um ambiente, pois ele considera a energia sonora contida no início da propagação sonora, sendo esta energia importante para a melhor inteligibilidade, devido aos fenômenos das reflexões e suas consequências.

O EDT é expresso em milissegundos (ms), oferece uma avaliação alternativa do tempo de reverberação da sala. Têm-se valores menores de EDT naqueles pontos da sala que apresentam maior concentração das reflexões e também com maior absorção em relação às demais posições da sala (SALGADO, 2003).

Para Hodgson (2001) o EDT depende das dimensões da sala (tamanho e forma) e de sua absorção sonora (quantidade e distribuição).

3.4.5 Definição (D_{50})

O parâmetro Definição (D_{50}) representa a razão entre a energia total e a energia inicial que chega num ponto da sala durante os primeiros 50ms, após o som direto. Seu valor varia de 0 a 1. Quanto mais próximo o valor de D_{50} for de 1 (um), melhor a Definição e portanto melhor a inteligibilidade (ISO 3382, 1997).

A Figura 3.17 representa a estrutura de um campo sonoro: variação da pressão sonora, em dB, em função do tempo (s), destacando as primeiras reflexões no intervalo de 50ms, após o som direto.

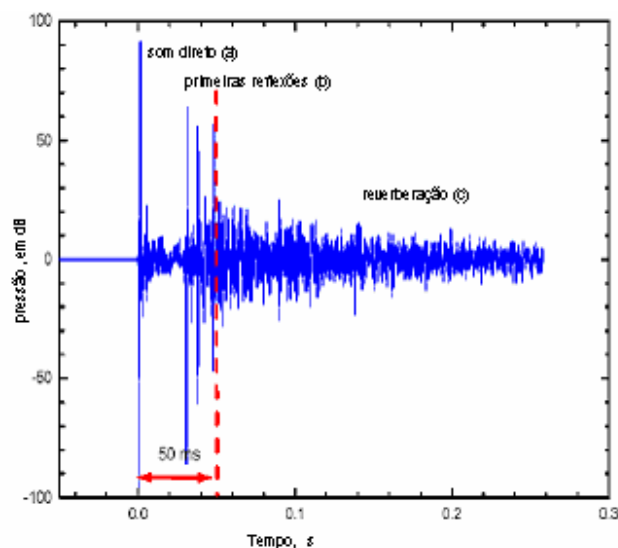


Figura 3.17: Estrutura de um campo sonoro e os primeiros 50ms, após o som direto.

Fonte: Adaptado de Bistafa (2005).

3.4.6 Índice de Transmissão da Fala (STI)

Segundo a norma internacional da *Electrotechnical Commission*—“IEC 60268-16: *Sound system equipment – Part 16: Objective Rating of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index*” (IEC 60268-16, 1998 apud Brüel & Kjaer, 2005), o Índice de Transmissão da Fala (*Speech Transmission Index* -STI) foi definido pelos holandeses Houtgast, Steeneken e Plomp (1980 apud Brüel & Kjaer, 2005) e determina a inteligibilidade com base na profundidade de modulação da forma de onda na fala. Nela, a pressão sonora é uma função do tempo. Apresenta uma onda de alta frequência com sua amplitude modulada por uma onda de baixa frequência. A diferença de nível entre um pico sonoro e a faixa próxima é definida como “profundidade de modulação”. Se nenhum ruído ou reverberação interferir na fala, existirá pouca energia na faixa próxima dos picos. Portanto, a profundidade de modulação é de 100%, o valor STI é 1 e a inteligibilidade é excelente. Ruídos de fundo e/ou reverberação adicionam energia nessa faixa, reduzindo a profundidade, o STI e a inteligibilidade. Quando o valor STI cai para zero, a fala torna-se totalmente ininteligível. Na versão completa do teste de STI, a profundidade de modulação é medida em 98 testes sobre 14 frequências de modulação (de 0,63Hz a 12,5Hz em oitavas de 1/3) em sete faixas de oitavas (de 125Hz a 8.000Hz) de onda.

Métodos simplificados de medição do STI, como o RASTI (*Rapid Analysis STI*, também conhecido como “*Room Acoustics STI*”, patenteado pela B&K) e o STIPA (STI Public Address) também são definidos na IEC 60268-16 (1998 apud Brüel & Kjaer, 2005).

O STI compreende valores entre 0 (inteligibilidade nula) e 1 (inteligibilidade ótima). É o parâmetro mais importante para análise da inteligibilidade da fala, pois é o único método que leva em conta os dois critérios: a relação entre sinal e ruído e a reverberação. O STI é calculado considerando-se a diferenciação entre a voz feminina e a voz masculina (BRÜEL & KJAER, 2005).

A norma IEC 60268-16 (1998 apud Brüel & Kjaer, 2005) determina valores de STI e seus correspondentes níveis de inteligibilidade da fala, conforme apresentado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4- Relação entre STI e inteligibilidade da fala

STI	Inteligibilidade da fala
0,00 – 0,30	Ruim
0,30 – 0,45	Pobre
0,45 – 0,60	Razoável
0,60 – 0,75	Bom
0,75 – 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de IEC60268-16 (1998 apud BRÜEL & KJAER, 2005).

3.4.7 Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons)

A perda da articulação das consoantes representa a porcentagem da perda na articulação, que é baseada na percepção de palavras pelos ouvintes. Os valores da Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (*Percentage Articulation Loss of Consonants-%ALCons*) variam de 0 (correspondendo a uma excelente inteligibilidade da fala) a 100 (correspondendo a uma inteligibilidade da fala extremamente ruim). Ou seja, quanto maior a porcentagem, menor será a inteligibilidade da fala (BRÜEL & KJAER, 2005).

Segundo Salgado (2003), o parâmetro foi obtido pelo pesquisador holandês Peutz (1971 apud Salgado, 2003), que obteve uma série de informações em salas distintas, baseados em experimentos realizados com um conjunto de ouvintes, que tinham que escutar uma lista de sílabas (consoante-vogal-consoante) e escrever o que entendiam. Os resultados apontavam a

porcentagem de acertos e como era a inteligibilidade da fala na sala. Então Peutz (1971 apud Salgado, 2003), utilizando-se da teoria estatística da acústica, desenvolveu uma expressão matemática com o intuito de representar esta porcentagem em função do tempo de reverberação.

Peutz (1971 apud Bistafa e Bradley, 2000a), propôs o índice $\%ALCons$, a partir de testes conduzidos sob várias condições de reverberação, distância da fonte, e ruído de fundo, resultando numa relação empírica e sem considerar o ruído de fundo. A expressão depende da distância entre fonte e receptor (r), do volume da sala (V) e do tempo de reverberação (TR), levando-se em consideração as distâncias críticas da fonte. Então obteve-se as equações 3.9 e 3.10.

$$\%ALCons = \frac{200.(r.TR)^2}{V} \quad : \quad \text{se } r \leq r_c \quad (3.9)$$

$$\%ALCons = 9TR \quad : \quad \text{se } r > r_c \quad (3.10)$$

Onde:

r : distância da fonte sonora, em m.

TR : tempo de Reverberação, em s.

V : volume da sala, em m³.

r_c : é a distância crítica da fonte, que limita qual equação deve ser utilizada, e obtida a partir da expressão:

$$r_c = 0,21\sqrt{V/TR} \quad (3.11)$$

A avaliação da $\%ALCons$ é normalmente realizada com tempo de reverberação (TR) obtido na frequência de 2000Hz, na banda de 1/3 de oitava. Os programas de computação apresentam os valores da $\%ALCons$, considerando cada ponto de medição da sala, assim como na avaliação do STI.

No Programa DIRAC®, da Brüel & Kjaer (2005), a $\%ALCons$ é derivada do STI através da fórmula proposta por Fareel Backer encontrada em Houtgast, Steeneken e Plomp (1980 apud Brüel & Kjaer, 2005) e obtida através da equação 3.12.

$$\%ALCons = 170,5405 \cdot e^{-5,419(STI)} \quad (3.12)$$

Onde:

e: número de Euler ou neperiano (2,718....)

Assim o valor do STI num determinado ponto de recepção da sala é inversamente proporcional à perda da articulação das consoantes, isto é, quanto maior o STI menor é a %ALCons e vice-versa.

Salgado (2003) apresenta uma correspondência entre a inteligibilidade da fala e os parâmetros de %ALCons e o STI , conforme demonstrada na Tabela 3.5.

Tabela 3.5- Correspondência entre a inteligibilidade e seus parâmetros de medida (STI e %ALCons).

%ALC _{ons}	STI	Inteligibilidade da fala
27% - 46,5%	0,24 – 0,34	Ruim
12% - 24,2%	0,36 – 0,49	Pobre
5,3% - 11,4%	0,50 – 0,64	Aceitável
1,6% - 4,8%	0,66 – 0,86	Bom
0% - 1,4%	0,88 – 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de SALGADO (2003, p.58).

3.5 Métodos de medição de parâmetros acústicos

Quase todo conjunto de equipamentos de medição acústica é composto basicamente por uma parte emissora e outra receptora. A parte receptora é constituída sempre por um “medidor de nível de pressão sonora” ou “analisador”, que calcula e mostra a soma de nível de pressão sonora (em dB), ou realiza uma análise no domínio da freqüência e mostra um “espectro” (BERTOLI; GOMES, 2005).

Outro método de medição de parâmetros acústicos é realizado através da resposta de freqüência. Esta é gerada pela emissão de um sinal de referência (ruído rosa) no ambiente reverberante. O som do ambiente é então captado e o resultado visualizado em tempo real num

gráfico de amplitude por frequência, em faixas de frequência de 1/3 de oitava. A obtenção da maioria dos parâmetros acústicos é realizada a partir da resposta impulsiva da sala, obtidos através de expressões matemáticas ou através medições com programas de computação.

Há vários programas de computação disponíveis no mercado que possuem o sistema de medição através da obtenção e processamento da resposta impulsiva, entre eles: Aurora[®], o CoolEdit[®] e o CATT-Acoustics[®], o DIRAC[®].

Segundo Schroeder (1965) em medições acústicas é necessário conhecer a Função de Transferência (FT), pois fornece informações suficientes sobre a densidade e a distribuição do som refletido no domínio do tempo e, a partir daí, outros parâmetros podem ser calculados. Uma das formas de se conhecer a FT é a obtenção da resposta impulsiva (*Impulse Response-IR*).

Para Müller e Massarani (2001), uma transformada rápida de Fourier (FFT) da Função de Transferência (FT) complexa revela a resposta impulsiva (IR), cujo tratamento de janelas possibilita a separação da informação útil de ruído e reflexões indesejadas, isto é, exclui as interferências ocorridas durante o processamento da medição, permitindo maior confiabilidade.

Segundo Masiero e Iazetta (2004) a resposta impulsiva é um registro de pressão sonora em determinado ponto da sala, feito a partir do momento em que a sala é sonorizada com um som impulsivo (impulso de Dirac). Todos os parâmetros definidos pela norma ISO 3382 (1997) são derivados da Resposta Impulsiva (IR) acústica.

Bistafa (2005) destaca que uma simples inspeção visual da resposta impulsiva revela o som direto, as primeiras reflexões, seguido das várias reflexões subseqüentes do decaimento reverberante. As primeiras reflexões que atingem o ouvinte logo após o som direto, são responsáveis pela criação de importantes atributos subjetivos característicos da sala.

Tal como a Figura 3.17, a Figura 3.18 apresenta um exemplo de representação de uma resposta impulsiva, onde está indicado o som direto, seguido das primeiras reflexões e das outras reflexões subseqüentes do decaimento sonoro, em função do tempo. Este gráfico é conhecido como Refletograma ou Resposta a um impulso teórico.

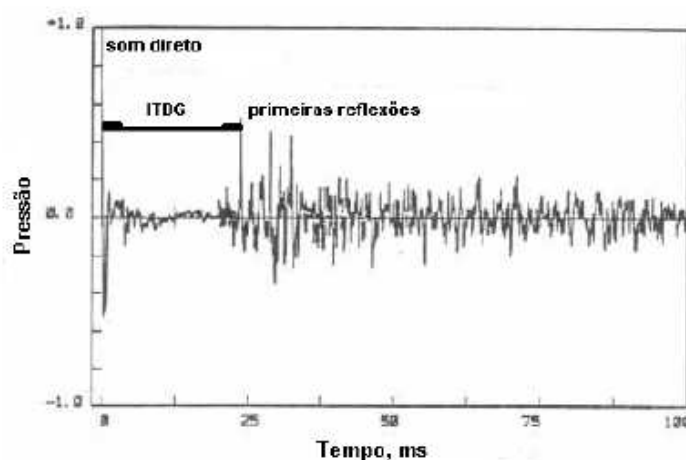


Figura 3.18: Representação da resposta impulsiva.
Fonte: BISTAFA et al (2005, p.6).

Os formatos dos refletogramas experimentais estão relacionados à distância entre a fonte e o receptor, motivo pelo qual se torna difícil comparar traçados medidos em locais, ambientes e pontos diferentes; mesmo assim nestes refletogramas estão contidas as melhores e mais precisas informações a respeito de um ambiente (BOTTAZZINI, 2007).

A resposta impulsiva pode ser obtida com sinais do tipo Seqüência de Comprimento Máximo MLS (*“Maximum Length Sequence”*), Seqüência Repetida Inversa IRS (*“Inverse Repeated Sequence”*) e Varredura de Senos (*“Sweep sine”*), na escala linear e logarítmica.

3.5.1 Técnica da Seqüência de Comprimento Máximo

A Técnica da Seqüência de Comprimento (*Maximum Length Sequences -MLS*) é uma forma especial de ruído pseudo-aleatório de máximo comprimento que ao ser repetido periodicamente apresenta uma densidade espectral de potência plana, ou seja, o seu espectro é branco. Entre todos os tipos de ruído, é o que proporciona a melhor Relação entre Sinal/Ruído (SNR) com intensidade suficiente para a aquisição da resposta impulsiva, mesmo que os locais estejam sob grande interferência de ruído de fundo.

Entre as vantagens da técnica do MLS, os pesquisadores Müller e Massarini (2001) destacam-se: rapidez no processamento de dados; geração fácil do estímulo sonoro; alta resolução, exatidão e confiabilidade. E, entre as desvantagens destacam-se: baixa relação

entre sinal e ruído (SNR) em baixas frequências, alta vulnerabilidade à variância no tempo e à alta vulnerabilidade a não linearidades.

3.5.2 Técnica da Varredura dos Senos ou da Deconvolução

A Técnica de Deconvolução ou Varredura de Senos (*Sweep Sine*) é caracterizada por um sinal sonoro, cuja intensidade permanece constante no tempo enquanto sua frequência aumenta. As varreduras senoidais são senóides que têm sua frequência instantânea variando no tempo. As duas formas de variação mais utilizadas são a linear e a logarítmica.

Quando a varredura logarítmica é usada como sinal de excitação, é possível isolar completamente a resposta impulsiva desejada das componentes presentes no sinal devido à distorção. Isto é possível porque as componentes devido à não linearidades do sistema, após a deconvolução, aparecem em tempos negativos da resposta impulsiva.

Segundo Muller e Massarani (2001) a técnica da varredura dos senos apresenta as seguintes vantagens: rápido processamento de dados; alta resolução, exatidão e confiabilidade; altíssima relação sinal-ruído (SNR) alcançável; resistente contra distorções harmônicas e melhor resistência contra a variância no tempo.

Além das vantagens e desvantagens apresentadas por Müller e Massarini (2001), Masiero e Iazetta (2004) apontam que, com base na relação SNR, é evidente a vantagem do uso da varredura dos senos (*Sweep sine*), em relação ao sinal MLS, para medições baseadas em FFT (Transformada de Fourier).

3.5.3 DIRAC 3.1 ® : propriedades do programa de avaliação de salas

O Programa o DIRAC 3.1® - *Room Acoustics Software*- Type 7841, da empresa Brüel & Kjaer (2005), foi desenvolvido para medir as propriedades acústicas de sistemas, através das análises das respostas do impulsivo em salas (BRÜEL & KJAER, 2005).

De acordo com o fabricante Brüel & Kjaer (2005), com a utilização do DIRAC ® é possível realizar uma correta avaliação dos parâmetros, de acordo com o padrão da ISO 3382 (1997), a partir da geração de um sinal de excitação (MLS ou Varredura de senos), emitido pela fonte

sonora (alto-falante). O sistema permite também o uso de sinais de excitação externos como tiros de pistola ou estouro de balões. Entre outras propriedades do DIRAC®, destacam-se:

- a) Medidas das propriedades acústicas de ambientes fechados;
- b) Medidas da inteligibilidade da fala de sistemas sonoros;
- c) Caracterização da acústica de salas antes e depois da modificação;
- d) Comparação das qualidades acústicas de diferentes salas;
- e) Modelagem de acústica de salas usando protótipos em escala;
- f) Exportação de dados para o Programa ODEÓN®, permitindo resultados de medidas e comparações.

A norma ISO 3382 (1997) recomenda que seja usada uma fonte sonora o mais próximo possível de uma fonte “omnidirecional”. Isto é geralmente obtido se usando fontes dodecaédricas, para as médias e altas frequências, acrescida de um “*sub-woofer*” para as baixas frequências (MASIERO; IAZETTA, 2004).

Para excluir o efeito do som direto e tomar apenas a influência da reverberação, a norma ISO 3382 (1997) recomenda que se ignorem os primeiros 5dB da curva de decaimento. Assim, define-se T_{30} como a extrapolação para 60dB da taxa de decaimento, obtida por meio de regressão linear da curva de decaimento no intervalo de -5dB a -35dB.

Para evitar a influência excessiva da energia do ruído, deve-se garantir que o seu nível esteja no mínimo 5dB abaixo do limite do intervalo considerado, ou seja, é necessário que o sinal apresente uma faixa mínima dinâmica de 40dB (MASIERO; IAZETTA, 2004).

Os equipamentos mínimos requeridos para instalação do DIRAC® são: um microcomputador com placa de som, um amplificador de potência, uma fonte sonora impulsiva e um microfone conectado à linha de entrada da placa de som (BRÜEL & KJAER, 2005). A Figura 3.19 representa o esquema do sistema de medição utilizado para a determinação da resposta impulsiva com o DIRAC®.

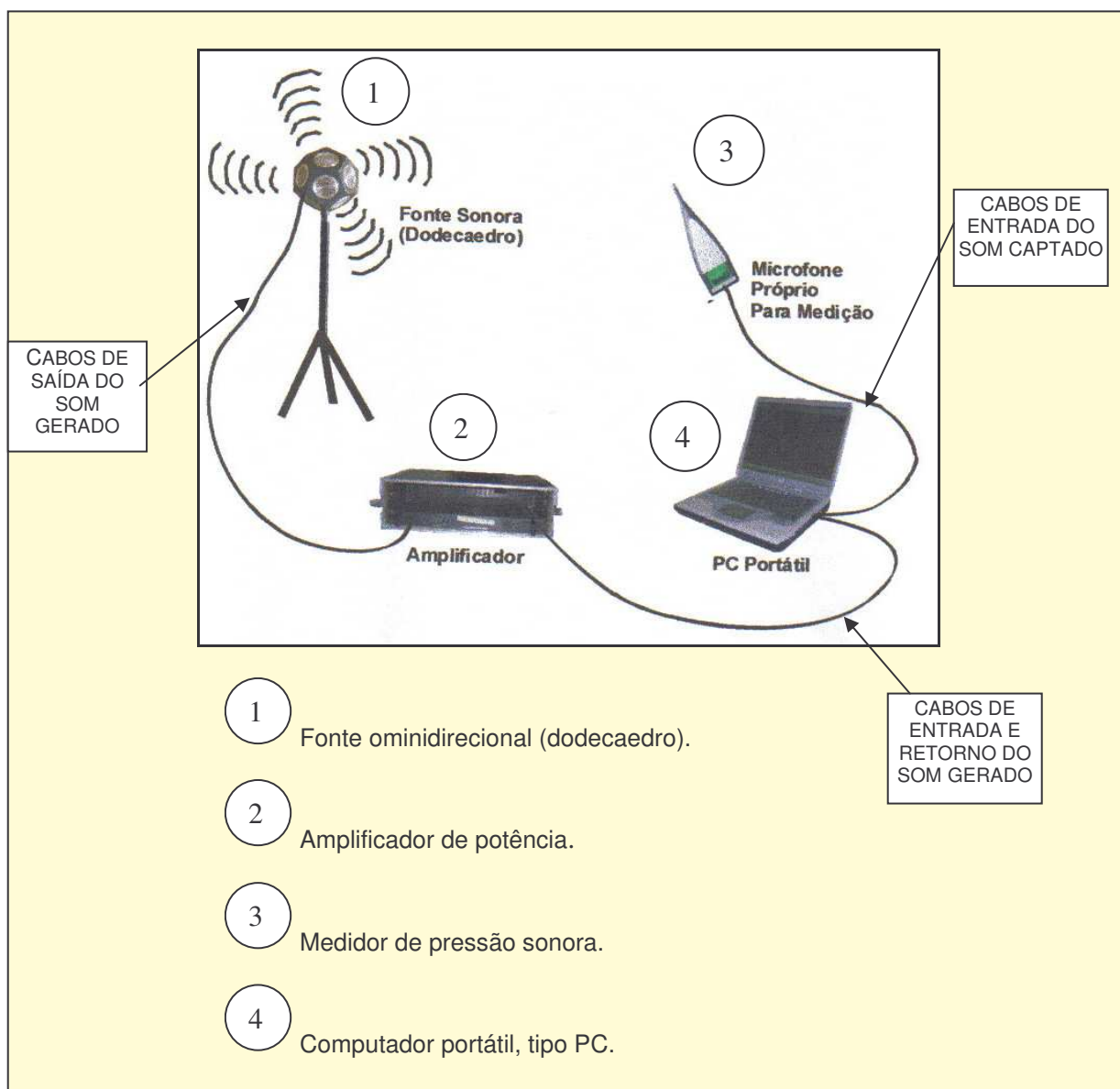


Figura 3.19: Esquema de ligação entre equipamentos de medição acústica.
Fonte: Adaptado de BOTTAZZINI (2007, p.104).

4 SALAS DE AULA E QUALIDADE ACÚSTICA

Na elaboração do projeto acústico de uma sala deve-se conhecer seu comportamento sonoro. Para isto, é necessário realizar pesquisas em salas similares já existentes e/ou recorrer aos programas de simulação acústica que facilitam uma análise mais detalhada do campo sonoro dentro deste espaço arquitetônico, e assim prever soluções que atendam critérios de qualidade.

A preocupação com a qualidade acústica de salas de aula tornou-se relevante a partir dos questionamentos quanto à sua interferência na qualidade do ensino-aprendizagem e as conseqüências na saúde e na vida acadêmica dos alunos e professores. O conforto ambiental em salas de aula (tais como: qualidade do ar, ventilação, conforto térmico, lumínico e acústico) interfere no desempenho acadêmico de estudantes, conforme alerta Schneider (2002), apresentando vários estudos realizados nos Estados Unidos.

Escolas que não oferecem boas condições do ambiente construído tais como, iluminação, ruído, ambiente físico, cores do ambiente, segurança, salas aquecidas (calor), são fatores que proporcionam baixo nível de aprendizagem. Daí a importância da análise pós-ocupação das edificações escolares para verificar a interferência do conforto ambiental no desempenho acadêmico dos alunos em sala de aula (NOGUEIRA; NOGUEIRA, 2003).

Evans e Maxwell (1997) realizaram um estudo de caso, aplicando testes de leitura e ditado para os mesmos estudantes, em duas escolas de Nova Iorque, sendo que uma delas era localizada próxima a um aeroporto, e a outra não. Os estudantes quando expostos ao ruído tráfego aéreo apresentaram aproveitamento de 25% a menos nos testes do que na outra escola.

A boa aprendizagem depende da compreensão das palavras, de ouvir bem. E ouvir bem requer um ambiente livre de problemas acústicos, por isso a importância da acústica da sala de aula ganhou atenção em anos recentes. A Sociedade Americana de Acústica (*Acoustic Society of America* -ASA) apresentou relatórios apontando que em muitas salas de aula os estudantes conseguem compreender somente 75% do que seus professores discursam e este problema se agravava entre os estudantes com dificuldades de aprendizagem. Neste contexto, o Instituto

Americano de Normas (*American National Standards Institute -ANSI*) aprovou em 2002, alguns padrões de desempenho e recomendações normativas para melhorar a acústica das salas de aula, criando a norma ANSI S12.60: “*acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools*” (2002), incluindo a redução do ruído exterior e a otimização do espaço de aprendizagem (U.S. ACCESS BOARD, 2003a,b).

Assim, neste Capítulo destacar-se-á algumas pesquisas sobre acústica de sala de aulas realizadas a partir de 1980 até 2006. A apresentação das pesquisas foi organizada conforme o seu conteúdo de maior relevância dentro do contexto e foram divididas em dois temas: recomendações técnicas para acústica de salas e os diagnósticos acústicos encontrados em salas de aula.

4.1 Recomendações técnicas para qualidade acústica de salas de aula

Há um consenso entres os pesquisadores que ruído de fundo ou ruído ambiental, provindo de diversas fontes sonoras, é o parâmetro de maior relevância quanto ao incômodo acústico nas salas de aula, visto os vários trabalhos em que são apontados nas metodologias utilizadas.

Para Smith, Peters e Owen (1983), o ruído de fundo pode ser minimizado de acordo com a tipologia do projeto, forma do ambiente, interferências entre salas e localização de atividades ruidosas. O tempo de reverberação depende do volume da sala, dos tipos de materiais de acabamento utilizados e da sua ocupação. Pode-se considerar a adequação da ocupação com o volume, a restrição do uso da sala, que deve atender a proporção volume/pessoa de 2.8 a 4.9 m³/pessoa.

Na mesma década de 1980, entre as pesquisas realizadas para avaliar os parâmetros acústicos de salas de aula, Bradley (1986a) correlacionou o tempo de reverberação (TR), na frequência de 1kHz, com a relação sinal e ruído (SNR ou S/R), em dB(A), para as melhores condições de inteligibilidade, conforme apresentado na Figura 4.1.

A Figura 4.1 mostra que nas salas com valores de TR de 0,5-1,0 e 1,5s, para se atingir níveis de inteligibilidade acima de 80% é necessário manter o valor da relação sinal e ruído (SNR) acima de +10dB. Mas o valor do tempo de reverberação (TR) da sala deve ser baixo, em torno de 0,5s, favorecendo as primeiras reflexões das paredes, do piso e do teto, que

contribuem para reforçar a voz do orador, especialmente quando ele não está falando na direção dos alunos. Bradley (1986b) ainda recomenda o mesmo valor de 0,5s para o tempo de decaimento inicial (EDT).

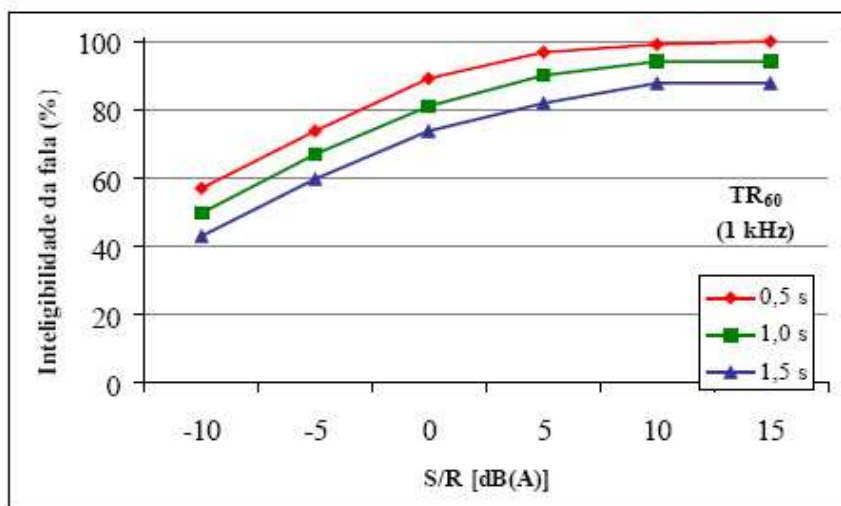


Figura 4.1: Valores ótimos de inteligibilidade em função da relação à SNR e do TR_{60} (1 kHz).

Fonte: Adaptado de BRADLEY (1986a apud LOSSO, 2003, p.14).

Em Bistafa e Bradley (2000a) é apontado o valor máximo de nível de ruído de fundo considerável “ideal” e “aceitável” para salas de aula são respectivamente de 25dB e 20dB abaixo do nível da voz a um metro do orador. Neste caso, para um nível de voz de 63 dB, o ruído de fundo “ideal” e “aceitável” seriam, respectivamente de 38 dB e 40dB.

Picard e Bradley (2001) concluíram que os métodos convencionais de determinação da relação sinal e ruído podem superestimar os níveis da fala, pois integram a voz do professor com o ruído de fundo existente. Para uma avaliação mais concisa é necessária a medição do nível sonoro da voz do professor e subtraí-la do ruído de fundo, para então, considerar esse nível como comparação com o ruído de fundo.

No ano seguinte, Bradley (2002) apontou que o valor “ideal” da SNR para salas de aula é em torno de +15dB. A norma internacional ANSI S12.60 (2002) adotou este valor precomendado por Bradley (2002). Assim, salas com níveis sonoros próximos de 75dB necessitam que a voz do professor seja de 90dB para a compreensão.

A mesma norma ANSI 12-60 (2002, p. 11) adverte que em salas onde o TR excede os valores entre 0,4 e 0,6s ($V \geq 283\text{m}^3$) há redução da inteligibilidade da fala, seja em situação de silêncio ou ruído. Para salas maiores a norma recomenda valor de TR igual ou menor do que 0,7s para as frequências de 500, 1000 e 2000Hz, conforme demonstrado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1- Níveis de Ruído de Fundo e Tempo de Reverberação (TR) em salas mobiliadas e desocupadas.

Volume da sala de aula (V) (m^3)	Ruído de fundo (dB)	TR (s) Frequências de 500, 1000 e 2000Hz
$V < 283$	35	0,6
$283 < V < 566$	35	0,7

Fonte: Adaptado de ANSI S12-60 (2002, p.11).

Para Seep et al (2000), a inteligibilidade da fala pode ser prevista a partir do tempo de reverberação (TR) e da relação sinal e ruído (SNR). A situação mais crítica ocorre com os alunos localizados mais distantes do professor, pois a voz vai decrescendo com a distância. Por outro lado, os locais da sala próximos às outras fontes de ruído, como janelas voltadas para a rua e/ou ventiladores podem ser considerados similarmente críticos. A Tabela 4.2 mostra os valores que relacionam SNR com o tempo de reverberação e inteligibilidade da fala.

Tabela 4.2- Relações entre TR, SNR e Inteligibilidade da fala.

TR (s)	SNR (dB)	Inteligibilidade da fala (%)
0,5	+10	90
0,5	0	55
1,5	+10	75
1,5	0	30

Fonte: Adaptado de SEEP at al (2000, p.19).

No Brasil não existe recomendação específica a respeito de valores do tempo de reverberação (TR) para salas de aula. A norma brasileira NBR 12179: “*tratamento acústico em recintos fechados*” (ABNT, 1992), recomenda valores de TR ótimos para salas de conferência, em função do volume. Considerando a sala de aula com volume de 300m^3 , como uma sala de conferência (para o discurso falado), o valor recomendado de TR seria de 0,4s, por exemplo. A Figura 4.2 mostra o gráfico para obtenção dos tempos de reverberação na frequência de

500Hz, recomendados pela NBR 12179 (ABNT, 1992), para recintos destinados a diversos usos.

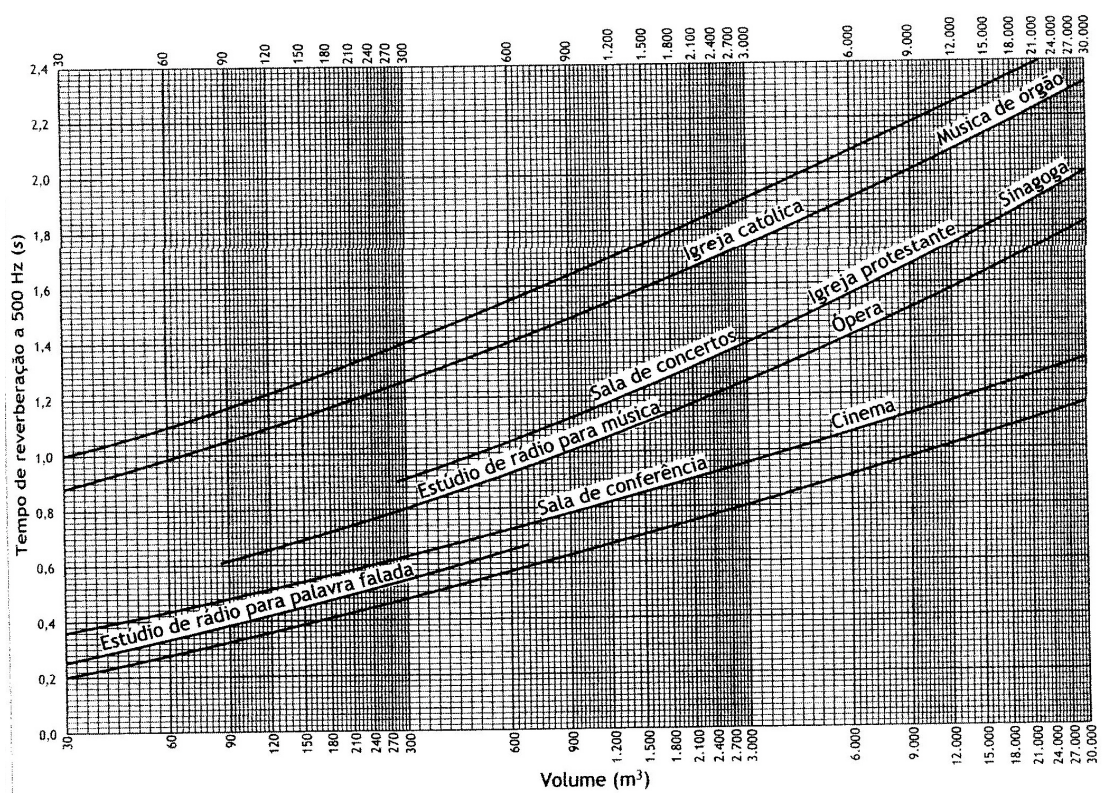


Figura 4.2: Tempos de reverberação para a frequência de 500Hz, recomendados pela norma brasileira para diversos recintos.
Fonte: NBR 12174 (ABNT, 1992, p.9).

Em geral, os valores para limites tempo de reverberação são recomendados em função dos volumes pré-estabelecidos, conforme demonstrado por Karabiber e Vallet (2003) apud Zannin e Loro (2005) e apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3- Recomendações normativas de alguns países para Tempo de Reverberação (TR), em função do volume das salas.

País	Tempo de Reverberação (s)
Bélgica	$V=100\text{m}^3$, $0.9 < TR < 1.3$; $V=1000\text{m}^3$, $1.1 < TR$
Brasil ⁽¹⁾	Não existe recomendação
França	$V \leq 250\text{m}^3$, $0.4 < TR < 0.8$ (para 500-1000-2000Hz) $V > 250\text{m}^3$, $0.6 < TR < 1.2$ (para 500-1000-2000Hz)
Alemanha	$0.8 < TR < 1.0$ (para 500-1000-2000Hz)
Itália ⁽²⁾	$TR < 1.2$ (para 500 - 1000 - 2000Hz)
Japão	$0.5 < TR < 0.7$ (limite médio)
Nova Zelândia	$TR < 0.6$
Portugal	$125 \leq f \leq 250\text{Hz}$, $TR=1$; $500 \leq f \leq 4000\text{Hz}$, $0.6 \leq TR \leq 0.8$
Reino Unido	$72\text{m}^3 < V < 210\text{m}^3$, $0.4 < TR < 0.8$
Estados Unidos	$V < 283\text{m}^3$, $TR=0.6$; $283\text{m}^3 < V < 566\text{m}^3$, $TR = 0.7$ (para 500-1000-2000Hz)

Fonte: Adaptado de KARABIBER; VALLET (2003 apud ZANNIN; LORO, 2005, p. 4).

Nota: 1-Norma sob revisão; 2- Norma sob revisão.

Para assegurar qualidade acústica em salas, o Departamento de Educação e Ciência de Londres - DESc (1975 apud Viveiros, 2000) sugere que se considerem os seguintes critérios:

- Os níveis de ruído de fundo devem ser baixos o suficiente para que não interfiram na inteligibilidade;
- O ruído ambiental externo é um dos fatores que mais incomodam e interferem na inteligibilidade da fala na sala de aula. O critério para o controle do ruído ambiental implica no estudo da área a ser implantada a edificação escolar, bem como prever o desenvolvimento da região a longo prazo. A tipologia da edificação também poderá ser definida levando-se em conta o posicionamento das aberturas das salas de aula, não voltadas para as áreas mais propensas aos níveis sonoros elevados;
- As salas devem ser livres de ecos ou outros fenômenos acústicos que possam vir a confundir ou distorcer o som a ser ouvido;
- O estudo da geometria da sala é fundamental para se evitar ecos e outros fenômenos acústicos indesejáveis como distorções sonoras;
- Propiciar o tempo de reverberação adequado para cada tipo de atividade;

f) O TR adequado para salas de aula também pode ser obtido através do estudo da forma geométrica da sala, na determinação das dimensões e volume, conseqüentemente na ocupação máxima da sala e na adoção de materiais de acabamento.

Visando o conforto acústico em salas de aula de pequeno volume (até 300m³), Viveiros (2000), através de um projeto piloto realizado em Santa Catarina, propôs fazer o uso do próprio partido arquitetônico e elementos de projeto, tais como: volumetria “auto-protetora” e localização da edificação, atenuando a influência do ruído ambiental com a distância das fontes. Assim sendo, o projeto piloto foi projetado, de modo que:

“a) Forma Geométrica e Volume: não geração de ressonâncias acústicas, pela correta proporção entre largura, altura e pé-direito em cada um dos ambientes.

b) Volume e Tempo de Reverberação: definido o volume de cada ambiente e tendo-se em conta o tempo de reverberação adequado à atividade (fala), definiu-se a quantidade de absorção sonora necessária para cada ambiente.c) (....).” (VIVEIROS, 2000, p.188).

Fernandes e Viveiros (2002) elaboraram uma tabela a partir de compilação de dados de vários autores (referências) comparando critérios para qualidade acústica em edificações educacionais. Os critérios relacionados são: ruído ambiental [dB(A)], TR₆₀ (s), com respectivas observações.

Na Tabela 4.4, observa-se a citação errada da norma brasileira NBR 10152 (ABNT, 1987), apontando os valores de ruído ambiental máximos 40dB(A) a 45dB(A). A referida norma prescreve os valores máximos para os níveis de ruído ambiental na faixa de 40 dB(A) a 50dB(A), para salas de aula e laboratórios.

Tabela 4.4- Comparação entre critérios para qualidade acústica em edificações educacionais.

Ref.	País	Ruído ambiente dB(A)	TR (s)	Observações
1.	Brasil (NBR 10152)	35 – 45	-	Biblioteca
		40 – 45	-	Salas de aula, Laboratórios
2.	Portugal (Lei 251/87)	35	1,0	(125 Hz - 250 Hz)
		35	0,6 – 0,8	(500 Hz – 4 kHz)
3.	Reino Unido (BB 87)	40	0,5 – 0,8	Aulas expositivas
		45	0,5 – 0,8	Aulas práticas
4.	Reino Unido (BS 8205)	40	0,5	Aulas expositivas <100 m ³
		45	1,0	Aulas práticas <1000m ³
5.	Alemanha (DIN 4109)	30	-	-
6.	EUA (ASHA)	30	0,4	S/R ≥ 15 dB(A)
7.	EUA (ASHRAE)	45	-	-
8.	EUA (ANSI)	35	0,6 – 0,7	S/R ≥ 15 dB(A)
9.	Suécia (BBR 94)	30 (Leq)	-	-
10.	Finlândia	35	0,6 – 0,9	-
11.	Turquia	45 (Leq)	-	-
12.	OMS	35	0,6	Inteligibilidade em salas de aula
-	Itália	36	0,5 – 2,0	Dependente da frequência [Hz] e do volume [m ³] da sala
-	França	38 (Leq)	0,4 – 0,8	≤ 250 m ³
			0,6 – 1,2	> 250 m ³
-	Bélgica	30 - 45 (Leq)	-	-

Fonte: FERNANDES; VIVEIROS (2002, p.5).

Notas: Fontes originais: “[4,6,7,10,14,17]”:

4 - BS 8205: 1985, British Standard - Determining the Design of Learning Spaces where Audio-visual Equipment will be used.

6 - ASHA - Position Statement and Guidelines for Acoustics in Education Settings, 37(14), mar. 1995.

7 - ASHRAE TC 2.6 - Recommendations of the Sound and Vibration Committee.

10- Acoustics Conditions for Speech Communication in Classrooms, E. Pekkarinen & V. Viljanen, Scand. Audiology, 20, pp.257-263, 1991.

14- MACKENZIE, D. J. Classroom Acoustics - The Way Ahead. In: BUILD. FOR A SOUND EDUC., 1998, Londres. Proc. of the Institute of Acoustics, v. 20 (4), 1998.

17-VALLET, M. Some European Standards on Noise in Educational Buildings, In: INTERN. SIMP. ON NOISE CONTROL & ACOUST. FOR EDUC. BUILDINGS, 2000, Turkey. Proc., 2000.”

Nos resultados da dissertação de Losso (2003), desenvolvida na cidade de Florianópolis, foram considerados os aspectos gerais das salas de aula, a partir dos quais ele estabelece algumas diretrizes de projeto arquitetônico e acústico, tais como:

- a) As salas de aula requerem baixo nível de ruído. O ruído de fundo máximo nas salas de aula deverá ser de 40dB(A). Valores maiores deverão ser reduzidos através da adoção de medidas posteriores à construção da escola, tais como a utilização ou substituição de janelas com vidro duplo ao invés de vidro simples, e utilização de muros em substituição a grades e portões para servirem como barreiras acústicas;
- b) As dimensões em planta de 6mx8m podem ser mantidas, porém, o pé-direito não deverá ser demasiadamente alto, para se evitar um tempo de reverberação elevado;

- c) Não é necessário a “padronização” de medidas para garantir um TR adequado, pois caberá ao projetista a definição das dimensões e dos materiais de revestimento com intuito de garantir a liberdade compositiva;
- d) Recomenda-se que o TR seja de 0,5 segundos, para as bandas de freqüência entre 500 e 2000Hz (LOSSO, 2003).

Estas medidas de adequação acústica comprometem o conforto térmico. O planejamento da sala deve favorecer a acústica, de maneira que não prejudique outros tipos de conforto ambiental no interior da sala. No caso da instalação de janelas duplas há maior controle na transmissão de som, mas prejudicam as trocas de calor e a renovação natural do ar. O projetista deve ter o controle do volume, ajustando as dimensões da sala. Quanto maior o volume da sala, maior será o tempo para a renovação do ar, o que implica na instalação de outros mecanismos de ventilação, como o uso de condicionadores de ar. Os tetos baixos, por exemplo, necessitam de tratamento térmico para evitar irradiação excessiva. O pé-direito alto não significa que a sala terá valores elevados de TR, pois estes também dependem da absorção da superfície dos materiais de acabamento, do mobiliário e da ocupação.

4.2 Diagnósticos da acústica em salas de aula

Entre as muitas pesquisas acústicas realizadas em sala de aulas encontram-se diversas metodologias e parâmetros de avaliação quanto à inteligibilidade da fala. Na avaliação das condições acústicas de uma sala de aula existem diversos critérios baseados na análise dos parâmetros objetivos que podem ser obtidos através de medições (com o uso de equipamentos e programas de computação cada vez mais comuns no mercado) e da estimativa de valores, com o auxílio de equações propostas na literatura e/ou ainda através da análise de parâmetros subjetivos obtidos através da aplicação de questionários e testes de percepção de frases e palavras.

Em geral, os métodos específicos para avaliar a inteligibilidade de uma sala são baseados em testes de percepção da fala aplicados aos ouvintes, onde é estimada a quantidade ou porcentagem de acertos e erros de palavras e frases que “quantificam” o grau de inteligibilidade.

Uma das metodologias mais utilizadas é a análise do nível de pressão sonora ambiental ou ruído de fundo ambiental (NPS ou L_{Aeq}), do tempo de reverberação (TR) e da relação entre o sinal e ruído (SNR). Por décadas, estes parâmetros são os descritores mais utilizados na qualificação acústica de salas, assim como a aplicação dos testes de percepção e de questionários, conforme observado nas pesquisas destacadas a seguir.

Já na década de 1980, Elliot (1982) declarou que a relação entre sinal e ruído (SNR) em salas de aula onde os ouvintes são crianças encontra-se por volta de + 6 dB, ou até menos.

Em pesquisa realizada por Dockrell et al (2001) em Londres, com alunos do ensino primário de duas mil escolas, foi concluído que os principais sons ouvidos pelos entrevistados eram: automóveis (71%), sirenes diversas (61%), caminhões (58%), aviões (55%), helicópteros (55%), motocicletas (45%), árvores (45%), telefones (40%), ônibus (35%) e animais (25%).

No estudo realizado em quinze escolas da rede pública de Campinas, Bertoli (2001) aponta resultados de níveis de pressão sonora (internos e externos) elevados, tanto em salas de aula ocupadas como desocupadas. Em apenas duas escolas os níveis de pressão sonora de salas ocupadas se apresentaram dentro da norma NBR 10152 (ABNT, 1987), que recomenda os valores de 40dB(A) a 50dB(A). Os tempos de reverberação foram estimados através dos coeficientes de absorção dos materiais construtivos das salas e todos apresentaram valores acima do recomendado pela norma internacional “*American Speech and Hearing Association-ASHA*” (ASHA, 1995), que é de 0,4s, conforme mostra a Tabela 4.5.

Tabela 4.5- Tempos de reverberação (TR) estimados para as salas de aulas das escolas estudadas por Bertoli (2001) em Campinas.

Escola	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
TR _{min} (s)	1,86	1,10	1,52	1,30	1,92	1,25	1,15	1,09	1,14	1,15	1,24	0,95	1,32	0,91	0,94
TR _{máx} (s)	1,93	1,41	1,61	1,32	1,95	1,51	1,26	1,34	1,15	1,87	1,27	1,00	1,34	1,21	1,38

Fonte: BERTOLI (2001, p.6).

Estudo recente desenvolvido por Oiticica e Bertoli (2006) indicou que, com a presença dos alunos, os valores de TR, em médias e altas frequências, atingem o recomendado pela norma internacional ANSI S12.60 (2002), apresentados anteriormente na Tabela 4.1.

Também em Campinas, Graça (2002) avaliou parâmetros de conforto ambiental nas modalidades de térmico, visual, acústico e funcional, em 39 escolas da rede estadual em São Paulo, das quais 25 eram projetos padrões pré-determinados conforme as diretrizes da Fundação para o Desenvolvimento da Educação (FDE, 1998) e os outros 14 projetos que fizeram parte de levantamento para avaliação pós-ocupação realizado por Kowaltowski et al (2001), em escolas públicas.

A metodologia proposta por Graça (2002) foi constituída de pesquisa de caráter subjetivo e qualitativo, a partir da consulta direcionada a três especialistas. Com a aplicação de questionários, considerando a escala de valores semântica: péssimo, ruim, bom, muito bom e ótimo e atividades “barulhentas” e “não-barulhentas” para cada caso, as escolas foram classificadas pelos especialistas. A análise foi feita relacionando a tipologia das edificações com os níveis de qualificação em escala semântica, conforme mostrado na Figura 4.3.

Os resultados de Graça (2002) indicaram que os especialistas consideram que não há diferença na qualificação de cada variável quanto ao pavimento (térreo, primeiro ou segundo andar) de localização das salas de aula. Para uma análise mais detalhada da situação acústica na escola, há necessidade de estudos que incluem levantamento quantitativo. A implantação da escola é um fator relevante na concepção do projeto de escolas, podendo-se admitir que a implantação de escolas em locais de grande tráfego deve considerar tratamentos acústicos pertinentes. Esta necessidade de estabelecer uma metodologia de projeto de escolas que considere os parâmetros de conforto ambiental também é destacada em outras pesquisas de Kowaltowski e Labaki (1993), assim como de Kowaltowski et al (2000).

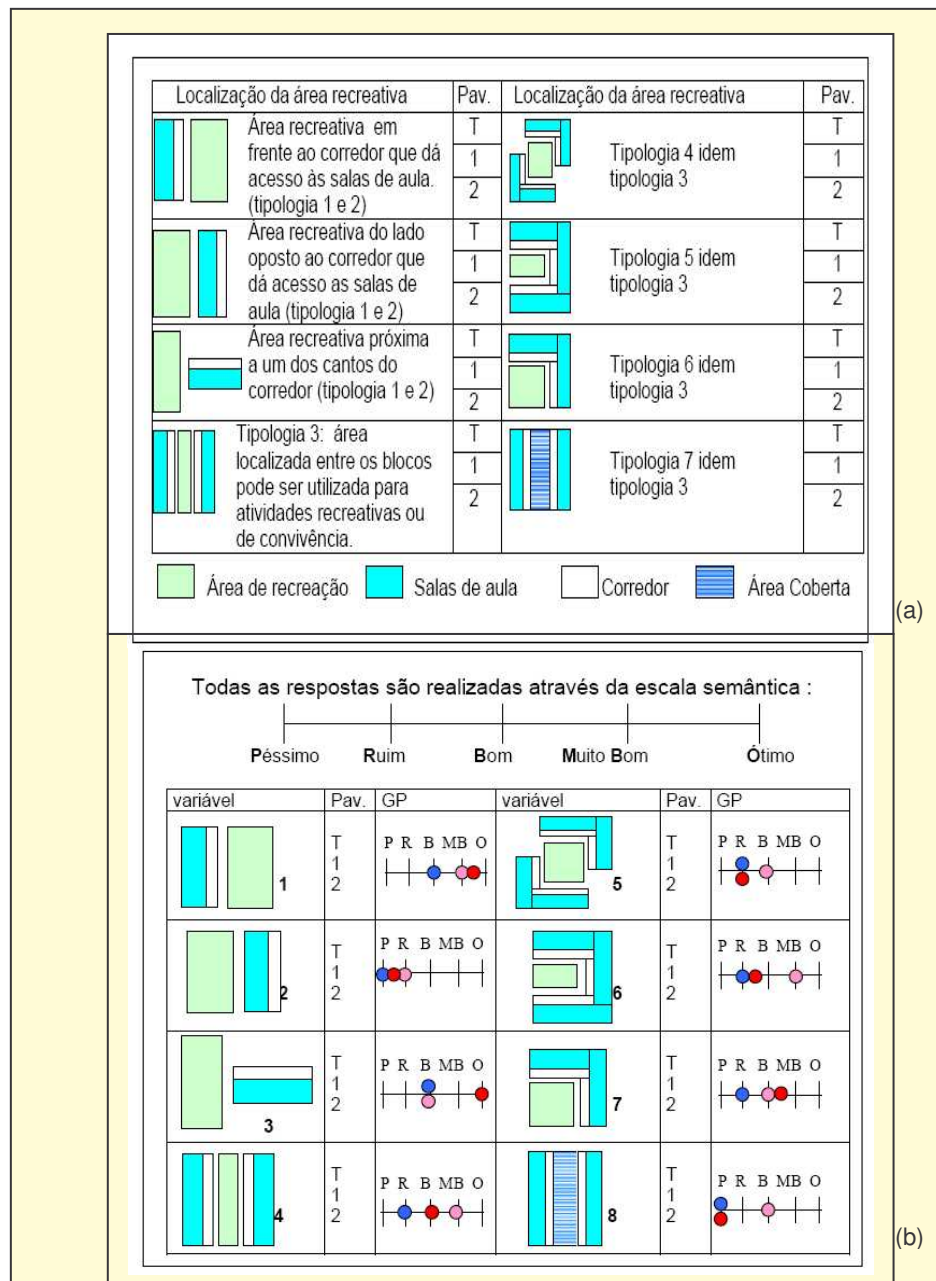


Figura 4.3: (a) Tipologia das escolas respectivos números de pavimentos;
(b) Repostas realizadas através da escala semântica.

Fonte: GRAÇA (2002, p.51-52).

Müller, Nabuco e Massarani (2002) utilizaram-se da medição do ruído de fundo ambiental como parâmetro objetivo para avaliação da inteligibilidade da fala, em salas de aula pertencentes a dois modelos de edificações de escolas estaduais do Rio de Janeiro. Uma delas corresponde ao projeto-padrão de arquitetura conhecido como CIEP's e a outra é constituída de projeto de arquitetura interna tradicional. Como parâmetro subjetivo os pesquisadores

analisaram os índices de acertos obtidos com a aplicação de ditados, contendo 6 listas de 20 palavras monossilábicas (gravadas digitalmente em câmara anecóica por atores com vozes feminina e masculina). Os ditados foram reproduzidos por uma caixa acústica dista um metro, e foram aplicados para os alunos da quinta série do ensino fundamental. Os resultados mostraram a influência do ruído de fundo no índice de acertos das duas turmas analisadas. Os autores também correlacionaram os índices de acertos com o tipo de arquitetura das duas escolas, conforme apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6- Níveis de ruído globais e índice de acertos nas salas de aula de duas escolas avaliadas no Rio de Janeiro.

Tipo de escola	Nível de ruído ambiental [dB (A)]	Índice de acertos (%)
Projeto-padrão CIEP's	71,4	≤50
Arquitetura "tradicional"	57,0	≥80

Fonte: Adaptado de MULLER; NABUCO; MASSARANI (2002, p. 4).

A salas de aula dos CIEP's obedecem ao padrão arquitetônico de construção onde são projetados vãos entre o topo das paredes e o teto. Este tipo de escola contribui significativamente para a existência de níveis de ruído nas salas acima do recomendado para a atividade de ensino, apresentando maior ruído de fundo [71,4dB(A)], e conseqüentemente, menor índice de acertos. As salas projetadas conforme arquitetura tradicional apresentaram menor ruído de fundo [57,0dB(A)] e maior porcentagem de acertos. Os alunos próximos às paredes apresentaram um índice de acertos maior que aqueles em outras posições na sala de aula.

O trabalho de Losso (2003) é uma avaliação da situação das escolas públicas estaduais de ensino fundamental em Santa Catarina, a fim de se produzir diretrizes de projeto que contemplem os aspectos acústicos nas novas edificações escolares. Na metodologia de avaliação proposta foram consideradas as salas de aula dentro do padrão 6,0mx8,0m, com alturas (pé-direito) variáveis entre 3,0m e 4,0m. Assim foram estabelecidas quatro categorias de volume, mas a maioria das salas avaliadas possui volumes entre 130 a 180m³, isto é, tem dimensões em planta de 6,0x8,0m e altura entre 2,70m a 3,75m, conforme mostra a Tabela 4.7.

Tabela 4.7- Porcentagem das salas de aula avaliadas por Losso (2003), conforme volume encontrado.

VOLUME	< que 100 m ³	100 – 129 m ³	130 – 180 m ³	> 180 m ³
%	5,0	12,8	71,8	10,4

Fonte: LOSSO (2003, p.69).

Os parâmetros acústicos avaliados por Losso (2003) foram: ruído de fundo (NPS), tempo de reverberação (TR) e tempo de decaimento inicial (EDT), os quais apresentaram valores acima dos aceitáveis, produzindo um nível de inteligibilidade que não passou de 88 %, na melhor condição analisada. A avaliação subjetiva foi proposta com a aplicação de questionários para alunos e professores e demonstrou a percepção sonora nas salas de aula é de uma situação incômoda e que 59% dos professores têm ou já tiveram problemas vocais, em função do uso da voz nas salas. As principais causas da elevação da voz apontadas pelos professores são: o excesso de ruído (55%) e a arquitetura da sala (19%), que somados chegam a 74%. Para Losso (2003): *“esses resultados demonstraram a precária situação em que as escolas se encontram, já que existem graves problemas acústicos decorrentes de mal planejamento tipológico ou mesmo pela utilização de materiais inadequados”*.

Querido e Capasso (2004) realizaram uma avaliação subjetiva em determinada sala de aula universitária não amplificada, cujas dimensões são: 9,85m de largura; 9,65m de comprimento e 3,50m de altura (pé-direito). Adotou-se como metodologia a aplicação de questionário para os alunos, com questões direcionadas ao desempenho acústico, quanto às dificuldades de audição. Devido à grande dimensão da sala (9,85m), foi estabelecido dois tipos de distância entre o professor e aluno; sendo que, até 4,0m foi considerada “curta distância” e acima de 4,0m, foi considerada “média distância”. Os resultados apontaram que, à curta distância (4,0m do professor), 20% dos alunos apresentam dificuldade em ouvi-lo; 50% apresentam dificuldade à média distância. 70% e 80% dos alunos identificaram o ruído interno e externo, respectivamente; e 50% dos alunos consideram esses ruídos um grande incômodo na sala.

A avaliação acústica realizada por Zannin e Loro (2005) em escolas da rede pública em Curitiba, denominado “Padrão 023” (que atende alunos com idade média de 12 anos)

compreendeu medições em 4 salas de aula com padrões modulares iguais (dimensões 7,00mx7,10m, pé-direito de 3,05m, perfazendo uma área útil de 49,70m³ e volume de 151,59m³). As medições foram realizadas de três maneiras: salas vazias (sem alunos); salas com 50% de ocupação (20 alunos) e salas 100% ocupadas (40 alunos). Os parâmetros utilizados foram: o TR (a frequência de 500Hz), o ruído ambiental na sala, representado pelo L_{Aeq} e o ruído de fundo (NPS). Este último foi descartado como parâmetro, pois não caracterizou um problema ambiental, devido à localização periférica das escolas avaliadas. Os resultados indicaram os seguintes tempos de reverberação (TR): TRvazia:1,65s; TR50%: 1,15s e TR100%:0,76s, concluindo-se que todos os valores estão acima dos recomendados por normas internacionais.

Mir e Abdou (2005), avaliaram as “*smart classroom*”, uma nova geração de salas de aula de tecnologia elevada (emergente nas universidades), conhecidas como “salas de aula inteligentes”, as quais são dotadas de equipamentos de informática multimídias e sistema de ar condicionado central. Utilizou-se uma metodologia onde foram conduzidas medições em 4 salas de aula similares para avaliação do ruído gerado. Os parâmetros acústicos avaliados foram o ruído de fundo ambiental e índices de inteligibilidade da fala. Os resultados apontaram um aumento de 3 a 9dB(A) no ruído ambiental com o uso dos computadores, prejudicando a inteligibilidade da sala. Numa segunda etapa da pesquisa, com a finalidade encontrar de um modelo “ideal” para as “salas inteligentes”, os pesquisadores realizaram testes de simulação de absorção das superfícies (auxiliados pelo programa ODEON 5.0®). A sala avaliada apresenta forma retangular, com capacidade para 24 alunos, e área de 4,2m² por aluno. A simulação de materiais acústicos para pisos e/ou paredes e/ou teto foi realizada para encontrar um tempo de reverberação entre 0,4 e 0,6s, conforme as recomendações da ASA em Seep et al (2000), e, posteriormente pela norma ANSI S12.60 (2002). Os resultados apontaram que, uma melhoria na acústica da sala pode ser obtida transferindo parte da absorção do forro para as paredes, mantendo a região central do teto sem qualquer revestimento a fim de favorecer a reflexão da voz do professor na direção do fundo da sala (pois o teto, que absorve e reflete parcialmente, pode ser facilmente construído com uma grade de sustentação padrão). Assim, colocam-se as placas acústicas ao redor do perímetro do teto e as placas de gesso no centro da grade. Para refletir ainda mais o som para o fundo da sala, o teto pode ser chanfrado acima da posição do professor, na frente da sala de aula. Essa superfície refletora deve ser construída com material duro como o compensado ou placa de gesso, podendo ser pintada no mesmo padrão da sala. Colocando-se materiais absorventes nas paredes reduz-se simultaneamente o tempo de

reverberação e os ecos. A Figura 4.4 representa os “*layouts*” empregados na simulação acústica da sala.

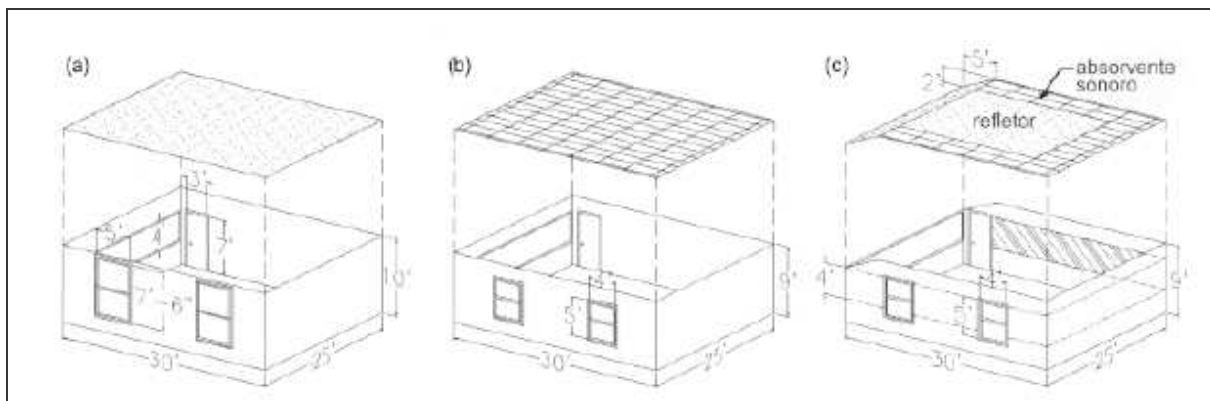


Figura 4.4: “*Layouts*” de salas de aula simuladas acusticamente. Sala de aula (a) é uma típica sala de aula indesejável, sem material absorvente sonoro e sem reflexões úteis. Sala de aula (b) é melhor, pois possui forro absorvente e forração no piso. Sala de aula (c) é a sala ideal, com absorventes sonoros em três paredes, forração no piso, com teto refletor inclinado na região frontal, com superfícies refletoras no centro e superfícies absorventes de som no entorno.

Fonte: SEEP et al (2000, p.12).

A comparação entre os índices acústicos em função da respectiva dimensão da sala foi proposta em pesquisa realizada na Itália, por Bondi, Piccininni e Stefanizzi (2001). A partir de medidas experimentais e simulações com auxílio do programa Aurora®, foram estudadas 3 salas de aula com formatos retangulares e de diferentes dimensões. Através da técnica da resposta impulsiva foram analisados entre outros parâmetros acústicos, o EDT, D_{50} , TR e STI, considerados essenciais para a inteligibilidade da fala. Entre os resultados obtidos destaca-se que nas salas com menores dimensões o STI apresentou valores maiores e vice-versa.

Medrado e Tenenbaum (2005) avaliaram a acústica de 3 salas de aula da Universidade Federal do Rio de Janeiro, utilizando a metodologia da aplicação de testes de articulação, através de 3 listas diferentes das palavras com os níveis distintos da intensidade pronunciados por um alto-falante artificial. Os níveis de ruído de fundo foram registrados também nas mesmas posições do microfone. Foi utilizada a técnica da resposta impulsiva da sala utilizando-se uma fonte em seis posições do microfone, com a finalidade de computar e analisar dois parâmetros acústicos de inteligibilidade da fala: a Razão Sonora Prejudicial (U_{50}) e o STI. Ambos foram comparados com valores do SI (*Speech Intelligibility*), cujos coeficientes de determinação foram de 79% e 90%, respectivamente. Devido aos altos valores do ruído de fundo a correlação entre U_{50} e SI não foi satisfatória. Foi sugerida uma modificação da

expressão de cálculo do U_{50} (proposta por Bradley, 2000), para a influência do ruído de fundo no seu valor final, acrescentando 10% ao coeficiente de determinação.

Na pesquisa de Vieira, Bento Coelho, Zindeluk e Gerges (2005), os parâmetros acústicos das 6 salas de aula avaliadas (localizadas no campus do Instituto Técnico Superior, em Lisboa, Portugal) foram medidos para um número considerável de combinações fonte-receptor dentro das salas. Das 6 salas analisadas, 2 são do tipo *shoebox* (caixa de sapato) ou retangular e as outras 4 são do tipo auditório. Foram registrados entre outros índices, os níveis de ruído do fundo ambiental (NPS), os níveis de pressão sonora equivalente (L_{Aeq}), os tempos de reverberação (TR e TR_{30}), o EDT, o Índice da Transmissão da Fala (STI) e a Definição (D_{50}). Uma das salas do tipo “*shoe-box*” corresponde um volume de $453m^3$ (ocupada com 80 alunos) e com as janelas voltadas para o exterior e a outra com volume de $162m^3$ (ocupadas por 28 alunos) e as janelas voltadas para o interior de um pátio coberto. Foram avaliados os resultados médios dos parâmetros obtidos e respectivos desvios-padrão, comparando-os com normas internacionais de avaliação acústica. Os resultados mostraram que, para salas desocupadas os valores de TR não ultrapassam de 0,6s a 0,8s, a médias freqüências. Para salas retangulares os valores de TR foram maiores e quanto maior a reverberação menores os valores de D_{50} .

Em Curitiba, Zwirter (2006) realizou pesquisa diagnóstica em salas de aula de 6 escolas com padrões construtivos “010”, “022” e “023”, da FUNDEPAR (Instituto de Desenvolvimento Educacional Paraná). A avaliação quantitativa foi composta por medições dos parâmetros acústicos: TR, ruído ambiental ou ruído de fundo e do isolamento sonoro. A avaliação subjetiva foi baseada na aplicação de questionários a alunos e professores. Os resultados das medições foram avaliados de acordo com normas nacionais e internacionais. Os resultados apontaram que os valores de TR não atendem às normas e o isolamento sonoro das fachadas apresentou valores inferiores aos recomendados. Por fim, ressalta os “erros de projeto” encontrados em todas as escolas avaliadas, tanto na concepção do projeto como na escolha dos materiais de revestimento, ocasionando a falta de conforto acústico em salas de aula.

A análise da inteligibilidade da fala em salas de aula é complexa. Não existe um método de estimativa acústica independente. Há outros fatores não acústicos que interferem na dificuldade da percepção da fala, principalmente os que se referem ao conforto no ambiente da aula (iluminação, assentos adequados, temperatura) e aqueles referentes ao assunto da aula

(grau de dificuldade do conteúdo a ser explicado pelo professor, interesse do aluno no assunto abordado, didática do professor) que dificultam a precisão da avaliação.

As pesquisas mais recentes sobre a inteligibilidade da fala apontam a imprecisão e a subjetividade na avaliação dos seus parâmetros acústicos de referência. Para Feijóo e Alvarez (2006) há maior probabilidade na identificação das palavras quando o orador usa frases comuns e palavras do vocabulário conhecido pelos ouvintes do que quando usa palavras não habituais ao ouvinte (nomes próprios, técnicos, originários de outras línguas). Este grau de facilidade com que o ouvinte identifica a palavra falada foi denominado pelos autores de “previsibilidade” do discurso, e a partir deste novo parâmetro desenvolveram uma pesquisa baseada na previsibilidade (baixa ou alta) de palavras associando-as aos parâmetros acústicos quantitativos que “que supostamente” mais influenciam na inteligibilidade da fala (o TR, a SNR e o NPS ou Leq). Para a realização da pesquisa utilizaram 3 salas de mesma tipologia e dimensões construídas na Universidade de Santiago de Compostella. Foram considerados 3 tempos de reverberação (0,7s-1,2s e 2,2s), controlados com a aplicação de materiais, 2 tipos de ruído de fundo (tráfego e da própria aula) e 3 relações de sinal e ruído (0dB, 6dB e 12dB). O teste de percepção foi realizado com 75 alunos para cada tipo de ruído, 4 oradores e 16 palavras e expresso em porcentagem de acertos na identificação da última palavra das frases classificadas de “alta” ou “baixa” previsibilidade, conforme mostra a Tabela 4.8.

O parâmetro SI foi estimado através de equação apresentada por Bistafa e Bradley (2000a). Entre outras conclusões destaca-se a influência significativa da relação entre sinal e ruído apenas nos resultados das frases de baixa previsibilidade, bem como a sensibilidade ao ruído de fundo. Porém, a influência do TR foi considerada desprezível. As frases de alta previsibilidade apresentaram variação em função de SNR e TR, mas o tipo de ruído de fundo não influenciou nos resultados. Assim, os autores defendem a previsibilidade da frase como o fator mais importante na compreensão da mensagem, superando a influência da relação sinal e ruído (SNR) e do TR sobre a inteligibilidade da fala.

Outro dilema na avaliação da qualidade acústica de salas de aula é a questão da ocupação da sala e da distância entre orador/emissor (professor) e o ouvinte/receptor (aluno). Por um lado salas ocupadas contribuem para alteração dos valores de TR e EDT. Por outro, a ocupação gera elevado ruído de fundo, tais como a conversação, deslocamentos de móveis,

movimentação de pessoas, o que reduz os valores da SNR, diminuindo a clareza da percepção e a inteligibilidade.

Tabela 4.8- Porcentagem de acertos do teste de percepção (%), separados por tempo de reverberação (TR), relação sinal- ruído (SNR), tipo de frase (alta e baixa previsibilidade) e tipo de ruído de ambiental (tráfego e da própria sala).

TR	SNR	Ruído de Tráfego	Ruído da aula	Ruído de Tráfego	Ruído da aula
0,7s	0dB	91%	99%	52%	53%
1,4s	0dB	96%	99%	50%	55%
2,2s	0dB	94%	98%	55%	55%
TOTAL	0dB	94%	99%	52%	54%
0,7s	6dB	99%	99%	74%	72%
1,4s	6dB	99%	99%	74%	71%
2,2s	6dB	99%	99%	75%	75%
TOTAL	6dB	99%	99%	75%	73%
0,7s	12dB	99%	99%	85%	84%
1,4s	12dB	99%	100%	84%	82%
2,2s	12dB	99%	100%	86%	82%
TOTAL	12dB	99%	100%	85%	83%

Fonte: Adaptado de FEIJÓO; ALVAREZ (2006, p.6).

Estas questões foram reverenciadas por Feijóo, Chisca e Barros (2006) em pesquisa realizada para estimar da inteligibilidade de salas de aula. Foram utilizadas 32 salas, contendo volumes variáveis de 112 a 736m³ e ocupação de 31 a 241 ouvintes. Os parâmetros avaliados foram o TR e o NPS (máximos e mínimos) para as salas desocupadas. A SNR foi estimada empiricamente, utilizando como referência o nível de voz de um homem adulto e falando com esforço vocal entre o normal e elevado, assim como O SI foi estimado em função de TR e SNR, através da equação apresentada por Bistafa e Bradley (2000a) e em função do STI, através da equação desenvolvida por Barnett e Knight e apresentada em Hodgson (2002). Os dados de SI e STI foram confrontados com ruído de fundo (máximo e mínimo, obtidos com as salas vazias) em salas com diversos níveis de ocupação e para a distância entre emissor-receptor de 2m e da última fileira de cada sala. Entre as conclusões relevantes destaca-se que em nenhum caso o valor de STI superou os níveis mínimos recomendados de 0,65 como “boa” por Houtgast e Steeneken (2002, apud Feijóo, Chisca e Barros, 2006). O STI mostrou pouca dependência em relação à ocupação da sala e proporciona uma estimativa muito restrita, já que requer

condições acústicas excelentes para atender valores acima de 0,65, não encontrados em salas de aula que são consideradas com inteligibilidade “aceitável” em testes de percepção.

Uma pesquisa que estuda a forma geométrica da sala em benefício da acústica foi a realizada por Floody (2006), que propõe a otimização da forma na acústica arquitetônica utilizando-se do método de elementos finitos e compara-o com as técnicas propostas anteriormente por Bolt (1946) e Loudon (1971). Os resultados mostraram que é possível determinar formas geométricas “ótimas” através de métodos empíricos, mas é necessário levar em consideração a finalidade da sala para se obter a adequada distribuição modal e evitar dimensões que prejudiquem a visualização na sala, por exemplo. É necessário também recorrer a processos de simulação de materiais construtivos a fim de se obter adequados tempos de reverberação e boa difusão sonora.

Conforme relatado neste Capítulo verifica-se a existência de variadas metodologias para diagnosticar e avaliar a acústica de uma sala de aula, mas nenhum dos trabalhos citados apresenta uma referência única que represente o conceito de inteligibilidade. Há uma carência de parâmetros recomendáveis para países tropicais como o Brasil, onde há o conflito entre recomendações de projeto visando o conforto ambiental. Por um lado, têm-se salas que contêm aberturas ou ventiladas artificialmente (ventiladores, ar condicionado) para suprir as necessidades de conforto térmico. Por outro, as aberturas tornam as salas vulneráveis ao ruído ambiental e prejudicam a inteligibilidade na sala. O planejamento do conforto funcional e lumínico (quantidade de mobiliário e o uso de cortinas, por exemplo) também podem contribuir para a favorável acústica da sala, devido à interferência na absorção e conseqüentemente na reverberação.

Em resumo, os estudos sobre a qualidade acústica de salas de aula apresentados, basearam-se predominantemente na avaliação dos parâmetros acústicos: nível de pressão sonora ambiental (NPS), tempo de reverberação (TR) e da relação entre sinal e ruído (SNR), além da aplicação de testes de percepção da fala. Em menores ocorrências foram avaliados: o tempo de decaimento inicial (EDT), a definição (D_{50}), o índice de transmissão da fala (STI) e respectiva porcentagem de perda na articulação de consoantes (% ALCons). Todos os resultados das avaliações acústicas indicaram a necessidade de adequação das salas para se obter a qualidade acústica desejada, e convergem para a necessidade do desenvolvimento de projetos arquitetônicos voltados para o conforto ambiental.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com os procedimentos técnicos utilizados, esta pesquisa constitui um “Estudo de Caso” e com base em seus objetivos, pode ser classificada como de natureza “Exploratória”, pois permite explorar situações de um determinado problema (GIL, 2002).

Segundo Stake (2000 apud Gil, 2002), a modalidade do estudo de caso pode ser considerada como “estudo de caso coletivo”, pois através da pesquisa foram estudadas as características de uma determinada população, com o propósito de aprimorar o conhecimento acerca do universo a que pertencem.

Esta pesquisa tem a finalidade de analisar os parâmetros acústicos que indicam qualidade quanto à inteligibilidade da fala em determinados grupos de salas de aula com formas geométricas predominantes. No caso deste trabalho direcionou-se o estudo de caso para as escolas da rede pública estadual da cidade de Campinas, SP.

O delineamento de um estudo de caso, em geral, consiste em realizar os seguintes procedimentos, considerados como etapas da pesquisa: o levantamento bibliográfico, a coleta de dados (documentos, plantas, projetos, etc.), as visitas técnicas, o levantamento dos dados construtivos, as medições acústicas e a análise dos dados.

5.1 Coleta de parâmetros arquitetônicos

Durante a revisão bibliográfica realizou-se o levantamento dos dados arquitetônicos das escolas, cujos resultados foram apresentados no Capítulo 2. Outros documentos coletados e analisados foram:

- a) Cópias de plantas baixas ou croquis das 82 escolas que pertencem à administração da Diretoria de Ensino de Campinas da Regional Leste, contendo dados (incompletos) quanto à quantidade e dimensões (largura e comprimento) de cada sala de aula;

- b) Cópias de fichas de cadastro das 83 escolas que pertencem à administração da Diretoria de Ensino de Campinas da Regional Oeste, contendo dados (incompletos) quanto à quantidade e áreas de cada sala de aula;
- c) Cópias de projetos eletrônicos fornecidos pela FDE de algumas escolas da rede pública estadual de Campinas.

Detalhes específicos das escolas estudadas foram coletados através de visitas técnicas e documentos fornecidos pelas próprias Diretorias.

5.2 Determinação da amostragem

As salas de aula fazem parte do programa arquitetônico de projetos de escolas, determinados pelas diretrizes de planejamento pré-estabelecidas pelos diversos órgãos públicos responsáveis pelo sistema educacional no Estado de São Paulo, desde de 1890 até os dias atuais.

De acordo com os dados eletrônicos da Secretaria de Educação do Estado de São Paulo (São Paulo, 2006) estão registradas 165 escolas na rede estadual de ensino público em Campinas.

Através das documentações fornecidas pelas Diretorias de Ensino das Regionais Leste e Oeste de Campinas, nestas 165 escolas foram identificadas 1665 salas de aula. Deste total, aproximadamente 18 salas foram identificadas como “multiuso”, para fins de instalações de biblioteca ou sala de leitura, informática, sala de áudio-visual ou ainda de reuniões, descaracterizando-se como “salas de aula”. Portanto, são consideradas 1647 salas que estão sendo utilizadas como “salas de aula comuns”.

A Tabela 5.1 mostra o resultado do levantamento preliminar das salas de aula cadastradas no município de Campinas, com as respectivas áreas e dimensões (quando indicadas) e a porcentagem em relação ao total de 1647 salas caracterizadas como de “salas de aula comuns”.

Tabela 5.1- Número de salas de aula da rede pública estadual de Campinas, com respectivas áreas e porcentagens de ocorrência em relação ao total.

Número de Salas de aula	Área (m²)	Relação ao total de 1647 salas (%)	Dimensões predominantes em planta (mxm)
18	até 30,99	1,09	7,00x3,50 ((±0,05m)
26	31,00 a 40,99	1,58	variável
86	41,00- 45,99	5,22	variável
64	46,00-47,99	3,89	variável
378	48,00-48,99	22,95	6,00x8,00 (±0,10m)
944	49,00-51,99	57,32	7,00x7,00 (±0,10m)
78	52,00- 59,99	4,74	variável
41	60,00-69,99	2,49	variável
06	70,00-75,00	0,36	variável
06	Acima de 75,00	0,36	variável

Os dados documentais coletados juntamente com as visitas técnicas efetuadas permitiram identificar a predominância das formas geométricas das salas de aula existentes nas escolas de Campinas, devido à padronização dos projetos quanto às dimensões de largura e comprimento. Conforme mostra a Tabela 5.1, as dimensões predominantes em planta são: 6,0x8,0m (±0,10m) e 7,0x7,0m (±0,10m).

Na conferência das dimensões *in loco* foram encontradas variações de até ±10cm, na largura e/ou comprimento em relação à padronização prevista em projeto. Esta variação deve-se ao controle tecnológico ou adaptações realizadas durante a execução da obra. A dimensão “altura” ou “pé-direito” da sala não é padronizada pelos órgãos educacionais, podendo assumir diferentes valores dependendo do projetista.

O critério adotado para determinação do número de amostras de salas foi condicionado à disponibilidade da escola não estar em funcionamento e da autorização de sua realização por parte das respectivas Diretorias no período da pesquisa. Assim, foram estudadas 17 salas de aula pertencentes a 12 diferentes escolas.

Para a realização da análise, as salas de aula foram agrupadas conforme as configurações geométricas em planta, ou seja, dimensões em planta (largura e comprimento) semelhantes, e com a tolerância de até 10cm a mais ou a menos (até $\pm 0,10\text{m}$), isto é, a semelhança da forma refere-se às suas características de tamanho em planta (dimensões) e formato. Para cada Grupo de salas considerou-se a variação da forma em apenas uma das suas dimensões, no caso, a altura, sendo considerados semelhantes a largura e o comprimento. Assim, foram obtidos 5 grupos de salas, identificados com as letras A, B, C, D e E, sendo:

a) GRUPO A (7x7): salas com dimensões em planta de 7,00mx7,00m ($\pm 0,10\text{m}$).

O Grupo A é composto de 6 salas de escolas construídas a partir de 1990, entre elas têm-se 4 salas de aula das escolas mais recentes construídas em Campinas como projeto piloto de estruturas pré-fabricadas e de acordo com o padrão FDE, a qual, inclusive, adotou esta padronização para projetos futuros.

b) GRUPO B (6x8): salas com dimensões em planta de 6,00x8,00m ($\pm 0,10\text{m}$).

O Grupo B é composto de 5 salas de aula, sendo 3 delas de escolas construídas entre os anos de 1960-1990 e duas construídas nos anos 1930.

c) GRUPO C (5x8): salas com dimensões em planta de 5,00x8,00m($\pm 0,10\text{m}$).

O Grupo C é composto de 2 salas de aula, uma de cada escola, sendo uma delas construída nos anos 1910 e 1930.

d) GRUPO D (7x3,5): salas com dimensões em planta de 7,00x3,50m ($\pm 0,05\text{m}$).

O Grupo D é composto de 3 salas de aula, de 3 diferentes escolas construídas a partir de 1990, conforme recomendações da FDE.

e) GRUPO E (9x8): salas com dimensões em planta de 8,00x9,00m.

O Grupo E é composto de uma única sala de aula que ainda não foi adaptada para multiuso. Pertence a uma escola construída nos anos 1960.

As configurações geométricas de cada sala selecionada por grupo estão apresentadas na Tabela 5.2. As salas estão identificadas por números 1 a 17 e nomeadas em cada Grupo, de acordo com a respectiva escola a que pertencem.

TABELA 5.2- Classificação das salas de aula por Grupos e respectivas dimensões.

GRUPO	Sala de aula	Localização da sala (Escola Estadual)	Dimensões ⁽¹⁾		
			Largura ⁽²⁾ x Comprimento x Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
A (7x7)	1	Campinas F1	7,05 x 7,05 x 3,13	49,70	155,57
	2	CH-EB1	7,10 x 7,05 x 3,00	50,06	150,17
	3	M. ^a Alice C. Rodrigues	7,05 x 7,05 x 3,20	49,70	159,05
	4	Roberto Marinho	7,05 x 7,05 x 2,92	49,70	145,13
	5	Sérgio Porto, Fís.	7,05 x 7,05 x 2,93	49,70	145,63
	6	Telêmaco Paioli	7,00 x 7,05 x 3,00	49,35	148,05
B (6x8)	7	Adalberto Nascimento	6,00 x 8,00 x 3,50	48,00	168,00
	8	Adiwalde O.Coelho	6,00 x 8,10 x 3,90	48,60	189,54
	9	Ana Rita G. Pousa	6,00 x 8,10 x 3,10	48,60	150,66
	10	Carlos Pimentel	6,00 x 8,00 x 2,94	48,00	141,12
	11	José Pedro Oliveira	6,00 x 8,00 x 3,50	48,00	168,00
C (5x8)	12	Adiwalde O.Coelho	5,10 x 7,90 x 3,65	40,29	147,06
	13	Artur Segurado	5,10 x 7,90 x 3,50	40,29	141,02
D (7x3,5)	14	Campinas F1	7,05 x 3,45 x 3,13	24,32	76,13
	15	M. ^a Alice C. Rodrigues	7,05 x 3,45 x 3,20	24,32	77,83
	16	Sérgio Porto, Fís.	7,05 x 3,45 x 3,13	24,32	76,13
E (9x8)	17	Adalberto Nascimento	9,00 x 8,00 x 3,50	72,00	252,00

Notas: (1): Dimensões da sala medidas "in loco".

(2): Largura da sala foi considerada a dimensão paralela à lousa, em m.

5.3 Coleta de parâmetros acústicos

Após uma prévia seleção de salas com configurações geométricas predominantes foram agendadas as medições acústicas de acordo com disponibilidade de cada escola, obedecendo as condições de coleta.

Para cada Grupo de sala (A-E) foi determinado o posicionamento único da fonte (geração de som), denominado de “F” e os pontos de recepção (posições de microfone), denominados de “Pn”, onde “n” corresponde ao número da respectiva posição do microfone ou ponto de recepção.

O posicionamento da fonte sonora (F) para cada Grupo de sala foi determinado de acordo com a posição mais habitual do professor diante da sala, à frente da lousa. Assim sendo, a distância entre a fonte e a lousa foi de 1,0m; e em relação à parede que corresponde ao comprimento da sala (paralela à lousa) uma distância da metade da dimensão do comprimento da sala.

Os pontos de recepção (posições de microfone), denominados de “Pn”, foram distribuídos de forma a abranger todo o campo sonoro da sala, preferencialmente na posição de um aluno (substituindo o local de uma carteira/cadeira), e obedecendo a distância mínima de 1,0m das paredes. Assim tem-se:

- a) Para as salas com área inferior a 40,00m² foram determinados 3 pontos de recepção (P1-P2-P3).
- b) Para as salas com área igual ou superior a 40,00m² foram determinados 4 pontos de recepção (P1-P2-P3-P4).

A Figura 5.1 mostra a distribuição dos pontos de recepção e a locação da fonte (F) para cada Grupo de sala de aula.

A norma internacional ISO 3382 (1997) determina a distância mínima (d_{min}) entre a Fonte (F) e um ponto receptor (Pn), que é obtida através da expressão:

$$d_{min} = 2\sqrt{\frac{V}{cT}} \quad (5.1)$$

Onde:

d_{min} : distância mínima entre fonte e ponto receptor, em m;

V: volume da sala, em m³;

c: velocidade do som (344m/s);

T: tempo de reverberação estimado, em s.

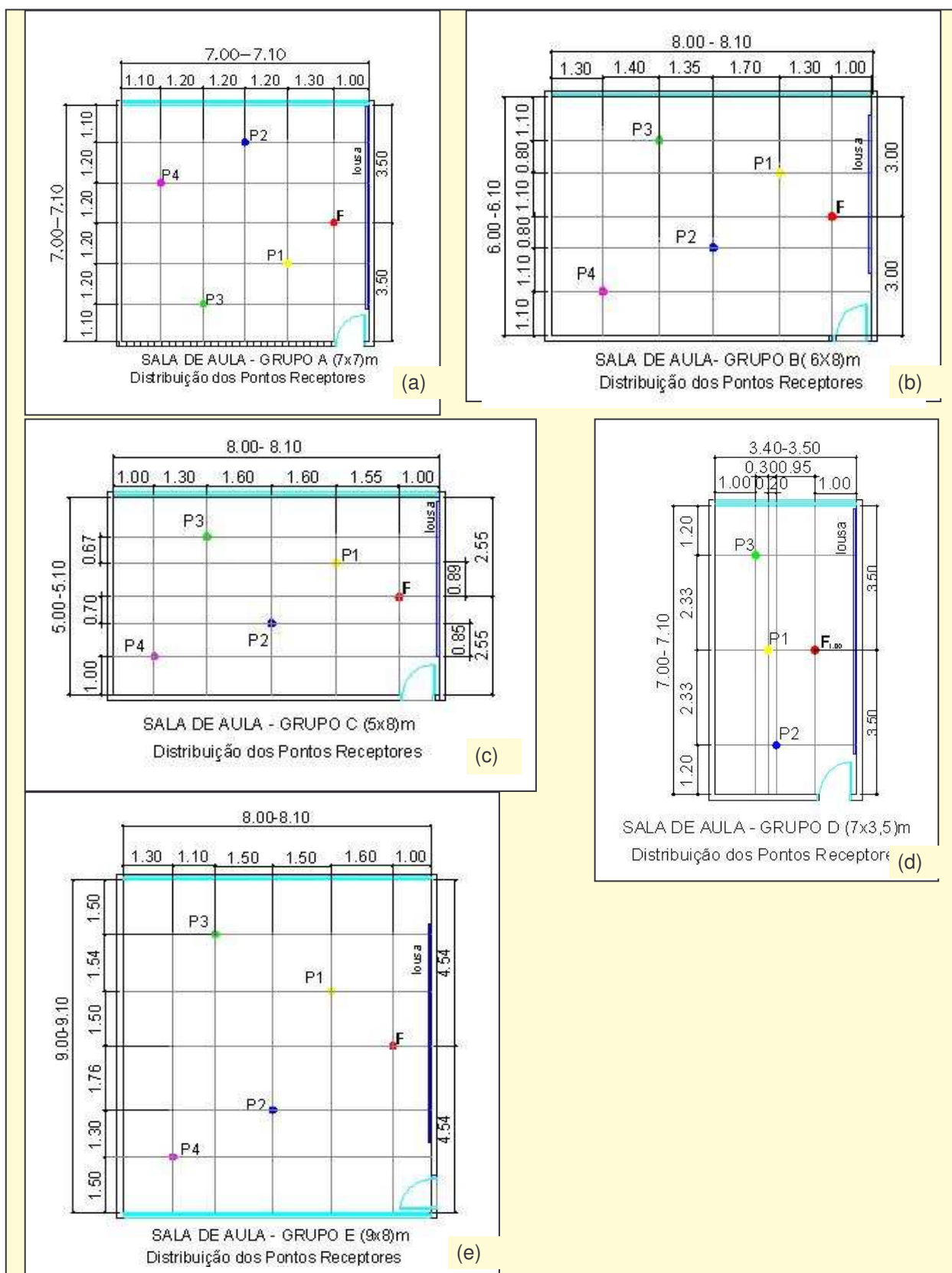


Figura 5.1: Distribuição dos pontos de recepção por Grupos de salas. (a): Grupo A (7x7); (b): Grupo B (6x8); (c): Grupo C (5x8); (d): Grupo D (7x3,5); (e) Grupo E (9x8).

Para verificação das distâncias mínimas entre fonte e ponto receptor nas 17 salas em estudo, considerou-se a situação mais desfavorável, ou seja, em cada Grupo, foi calculado o $d_{\min}$ (ISO 3382, 1997) para a sala de maior volume. O tempo de reverberação considerado foi de 1,0s, com base nos estudos de Bertoli (2001), que estimou o tempo de reverberação (TR) mínimo em torno de 1,2s, para salas de 15 escolas públicas em Campinas. Assim, obteve-se:

- a) Para o Grupo A:** a distância mínima entre fonte e receptor de 1,36m para a sala com maior volume (159,05m³);
- b) Para o Grupo B:** a distância mínima entre fonte e receptor de 1,48m para a sala com maior volume (189,54m³);
- c) Para o Grupo C:** a distância mínima entre fonte e receptor de 1,30m para a sala com maior volume (147,06m³);
- d) Para o Grupo D:** a distância mínima entre fonte e receptor de 0,95m para a sala com maior volume (77,83m³);
- e) Para o Grupo E:** a distância mínima entre fonte e receptor de 1,71m para a sala com maior volume (252,00m³);

As distâncias entre fonte sonora (F) e ponto de recepção (P_n), para cada Grupo de salas de aula estão indicadas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Distâncias entre fonte (F) e pontos de recepção (P_n), para cada Grupo de salas.

Grupo de Salas	Pontos de recepção (P _n)			
	P1	P2	P3	P4
A (7x7)	1,77m	3,46m	4,42m	5,04m
B (6x8)	1,83m	3,05m	4,89m	6,00m
C (5x8)	1,77m	3,05m	4,94m	5,96m
D (7x3,5)	1,15m	2,50m	2,75m	----
E (9x8)	2,20m	3,55m	5,50m	6,45m

A altura da fonte sonora (F) em relação ao piso foi determinada regulando-se a altura do tripé, de modo que a altura dos alto-falantes correspondesse a de uma pessoa adulta com 1,70m. A altura do medidor de pressão sonora foi determinada considerando a altura do ouvido de uma pessoa sentada, estabelecida em 1,20m em relação ao piso.

Os parâmetros acústicos analisados foram obtidos através da técnica da resposta impulsiva da sala utilizando-se o Programa para avaliação de acústica de salas, o DIRAC® 3.1, da Brüel & Kjaer, juntamente com o conjunto de equipamentos de medição que pertencem ao Laboratório de Conforto Ambiental da FEC/UNICAMP. O sistema de medição é constituído basicamente de quatro equipamentos: uma fonte sonora omnidirecional para excitar o ambiente, um amplificador de potência, um microfone também omnidirecional acoplado ao medidor de pressão sonora para captação do som emitido e um microcomputador com placa digitalizadora de som, a qual faz a conversão do sinal analógico-digital (e vice-versa), para realizar o processamento dos sinais. A Figura 5.2 mostra o sistema de medição acústica instalado em uma das salas de aula avaliadas.

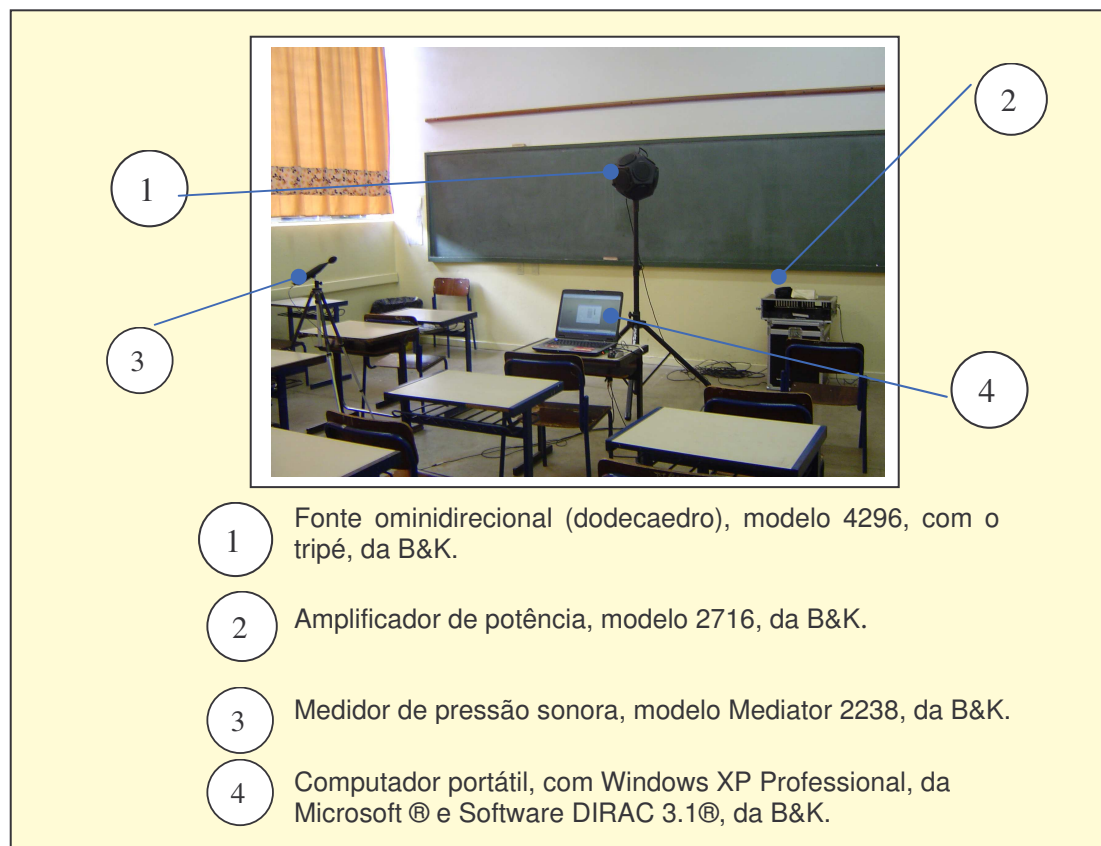


Figura 5.2: Conjunto de equipamentos de medição acústica, instalado em uma sala de aula.

Em cada ponto de recepção (Pn) do som foram medidos: a resposta impulsiva da sala sem filtro de voz e com o filtro de voz (masculina); o nível de pressão sonora ambiental com e sem a interferência de outras fontes sonoras (no caso, os ventiladores instalados nas salas).

A resposta impulsiva (IR) da sala, sem e com o filtro de voz, foi obtida através do método de varredura dos senos (*linear sweep sine*), selecionando no programa o comprimento da varredura (*length*) acima do tempo de reverberação (TR) previsto para a sala. O número de médias de varreduras para cada ponto foi selecionado de modo a obter o indicador de qualidade mínima de medição. O indicador de qualidade utilizado é a relação entre o sinal e o ruído (SNR) igual ou maior do que 40dB para as frequências acima de 125Hz em bandas de 1/1 de oitava (BRÜEL & KJAER, 2005; MASIERO; IAZETTA, 2001).

O filtro de voz utilizado para a medição da resposta impulsiva para fins de inteligibilidade da fala foi o masculino (*male*). Para a medição da resposta impulsiva (IR) com o filtro de voz masculina, a amplificação da fonte sonora foi ajustada para um nível sonoro da voz humana entre 60 a 65 dB(A), pois a média ou o nível global de fala é de 63dB(A), conforme apontam Bistafa e Bradley (2000a, p.874).

A seleção do uso da medição da resposta impulsiva com o filtro de voz masculina e não a feminina consiste na obtenção de resultados para a situação mais desfavorável acusticamente, pois a voz masculina é mais grave do que a voz feminina, ou seja, é mais alta nas baixas frequências, portanto, mais desfavorável para medições de índices de inteligibilidade da fala, como o STI (BRÜEL & KJAER, 2005).

O nível de pressão sonora ambiental ou ruído de fundo interno da sala foi medido com e sem o funcionamento de fontes sonoras internas. Foi considerada fonte sonora interna o (s) ventilador (es) em funcionamento. Para a obtenção do ruído ambiental interno e externo de cada sala utilizou-se o medidor de nível de pressão sonora, modelo Mediator 2238, da B&K, obtendo-se o descritor L_{eq} na curva de ponderação (A), ou seja, o L_{Aeq} , conforme determinado pela norma brasileira NBR 10151 (ABNT, 2000). O intervalo de tempo utilizado foi de 30s. O nível de pressão sonora ambiental ou ruído de fundo (L_{Aeq}) foi medido interno à sala e externo à escola para verificar a que níveis de pressão sonora ambiental que as salas estão submetidas.

5.3.1 Condições de coleta

As medições acústicas foram executadas em condições semelhantes: períodos sem aula, ou seja, salas desocupadas e a edificação com a mínima ocupação possível (alguns ou nenhum funcionário), sem qualquer atividade e sem ocorrência de chuvas. Para isto, foram utilizados dias não-letivos como: recesso escolar, feriados ou extensão destes e/ou finais de semana em escolas que não fazem parte do programa “Escola da Família”, ocasião em que são ocupadas pela comunidade.

Quanto à localização das salas no contexto da escola foram medidas as salas localizadas no meio da planta baixa (entre outras salas) e de piso superior (nas edificações de mais de um pavimento), evitando-se interferência de ruído de impacto ou proveniente de andar superior, escadas e outros compartimentos do programa da escola. A medição foi realizada com janelas e portas fechadas e na existência de cortinas, estas também foram fechadas.

5.4 Métodos da análise dos resultados

Os resultados dos dados construtivos e de uso habitual de cada sala estão apresentados de modo a caracterizar cada grupo, destacando os parâmetros arquitetônicos que influenciam na acústica da sala.

Os resultados das medições acústicas estão apresentados por parâmetro de avaliação, a partir dos valores médios (médias espaciais) obtidos nos pontos de recepção da sala, em função da frequência nas bandas de 1/1 de oitava (125 a 8000Hz). A análise engloba o comportamento de cada parâmetro acústico entre as salas do mesmo Grupo e entre os 5 Grupos de salas.

Os parâmetros acústicos analisados foram: Nível de Pressão Sonora ambiental ou ruído de fundo (L_{Aeq}), Tempo de Reverberação (TR); Tempo de Decaimento Inicial (EDT); Definição (D_{50}), Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (% ALC_{ons}), sendo que estes dois últimos foram analisados para as situações de uso da sala com e sem o (s) ventilador (es) em funcionamento.

Foi realizada uma breve avaliação da média espacial dos parâmetros acústicos quanto à conformidade com normas brasileiras, e na inexistência desta, com as normas internacionais ou recomendações técnicas pertinentes à qualidade acústica em salas de aula, tais como:

a) Para os níveis de pressão sonora equivalente ou ruído de fundo ambiental (L_{Aeq}), de acordo com recomendações da norma brasileira NBR 10151: “*avaliação de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade*.” (ABNT, 2000);

b) Para o tempo de reverberação (TR), de acordo com as recomendações a norma internacional do *American National Standards Institute* –ANSI S12.60: *acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools*.” (ANSI S12.60, 2002);

c) Para o Índice de Transmissão da Fala (*Speech Transmission Index-STI*), de acordo com as recomendações da norma internacional da *Electrotechnical Commission*- IEC 60268-16: “*Sound system equipment – Part 16: Objective Rating of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index*” (IEC 60268-16, 1998 apud Brüel & Kjaer, 2005).

Como complementação para o estudo da geometria de salas, realizou-se a análise geométrica de cada sala de aula, de acordo com a escala do Diagrama de Bolt (1946, apud Everest, 2001), para a verificar a proporcionalidade das dimensões (largura, comprimento e altura) em relação à distribuição dos modos de ressonância acústica.

Nos apêndices estão apresentados os dados arquitetônicos de modo a caracterizar cada uma das 17 salas, contidas em cada um dos 5 Grupos, destacando-se: a localização da escola na cidade de Campinas; a data de construção, a locação da sala avaliada em relação à edificação escolar, o posicionamento das aberturas (esquadrias e elementos vazados), as dimensões internas (largura, comprimento, altura, área e volume), e as características construtivas como: esquadrias, teto, paredes, piso, mobiliário, elementos decorativos que podem influenciar na acústica da sala, como cortinas nas janelas e iluminação e ventilação artificiais. Os resultados acústicos obtidos por ponto de recepção para cada sala também se encontram nos respectivos Apêndices.

Outras particularidades dos métodos de análise e avaliação dos dados encontram-se junto aos resultados apresentados no Capítulo 6.

6 RESULTADOS E ANÁLISE

Neste Capítulo são apresentados os dados arquitetônicos, os resultados e análise da média espacial dos parâmetros acústicos de cada sala estudada. A análise e a avaliação foram realizadas a partir da comparação dos resultados entre as salas do mesmo grupo e entre os Grupos de salas.

Os parâmetros acústicos avaliados foram: Nível de Pressão Sonora Ambiental ou Ruído de Fundo (L_{Aeq}), Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT), Definição (D_{50}), Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%AICons). Para cada sala foi realizada também a análise das dimensões, segundo o Diagrama de Bolt. A norma ISO 3382 (1997) recomenda a apresentação dos parâmetros derivados da medição da resposta impulsiva (TR, EDT e D_{50}), preferencialmente nas freqüências da 1/1 banda de oitava entre 125Hz e 4000Hz. Os parâmetros TR e EDT estão apresentados entre as freqüências 125Hz a 8000Hz. A Definição (D_{50}) está apresentada até a freqüência de 4000Hz, devido ao formato apresentado pelo Programa DIRAC® (Brüel & Kjaer), que limita até esta freqüência.

Os dados obtidos no levantamento arquitetônico e os resultados das medidas dos parâmetros acústicos, por ponto de recepção de cada uma das 17 salas avaliadas estão apresentados nos Apêndices de A a Q.

6.1 Dados arquitetônicos das salas

O Grupo A é composto de 6 salas de aula padronizadas com dimensões em planta de 7,0x7,0m ($\pm 0,10$ m). São salas de aula projetadas e construídas de acordo com as diretrizes de projeto estabelecidas pela FDE, a partir dos anos 1990. Entre as 6 escolas deste Grupo estão as 4 escolas pioneiras do sistema construtivo de pré-fabricação, que servem como experimento para projeções futuras. Como foram projetadas para atender uma determinada comunidade, estas escolas possuem localização periférica, o que teoricamente contribui para menor interferência do ruído ambiental externo. Internamente, são salas que possuem o mesmo tipo materiais construtivos e de acabamento nas paredes (pintura sobre alvenaria rebocada), piso frio (tipo cimentado, granilite ou cerâmico), teto (lajes de concreto armado). As janelas são

metálicas com vidraçaria comum e as portas de madeira. Também são previstas aberturas opostas às janelas, constituídas de elementos vazados de concreto ou cerâmicos (tipo cobogós) ou janelas metálicas do tipo basculante com vidros, propiciando a ventilação cruzada. O número de conjuntos de carteira e cadeira escolar também é fixo de 35 unidades, correspondendo ao número máximo de alunos por sala, para o Ensino Fundamental (Ciclos I e II), conforme determina a legislação estadual. O material de fabricação do mobiliário é padronizado (estrutura metálica e assentos/encostos de compensado de madeira). Além das alturas ou pé-direito da sala, que variam entre 2,92m e 3,20m, diferenciam-se a adequação peculiar de cada sala/escola, como o número de armários utilizados para armazenar material escolar, o tipo de cortinas nas janelas e de ventiladores instalados (ou não) na sala. Os Apêndices de A a F apresentam mais detalhadamente as características físicas-construtivas das salas do Grupo A.

As 5 salas de aula que compõem o Grupo B, possuem as dimensões em planta de 6,00x8,00m ($\pm 0,10$ m), e datas de construção diversificadas (anos 1930, 1960 a 1990). A localização das escolas também é diversificada, pois a princípio, foram projetadas em bairros, mas que hoje estão englobadas às regiões mais movimentadas da cidade. Quanto ao tipo de materiais construtivos e de acabamento internos, estas salas podem ser consideradas semelhantes às do Grupo A. O pé-direito também não segue uma dimensão padrão, variando entre 2,94m e 3,90m. O número de conjuntos carteira/cadeira (35 unidades) é fixo. Com exceção da Sala 9 (Escola Ana Rita Godinho Pousa) que possui os 35 conjuntos de carteira/cadeira em fibra de vidro, as demais salas possuem mobiliário padrão. O número de armários, tipos de cortinas e ventiladores também são diferenciados. Os Apêndices de G a K apresentam mais detalhadamente as características físicas-construtivas das salas do Grupo B.

O Grupo C possui somente 2 salas, com dimensões em planta de 5,00x8,00m ($\pm 0,10$ m), São salas de escolas cujas construções são datadas dos anos 1910 a 1930 e representam poucas unidades encontradas na cidade, mas apresentam peculiares características arquitetônicas importantes para a análise acústica. Quanto aos materiais construtivos, apresentam paredes mais espessas (20cm), assim como o acabamento dos pisos do tipo tábuas de madeira sobre contrapiso de concreto. Também se caracterizam como salas altas, pois possuem pé-direito de 3,50m e 3,65m. Demais características arquitetônicas se assemelham às salas dos Grupos A e B. Os Apêndices L e M apresentam mais detalhadamente as características físicas-construtivas das salas do Grupo C.

O Grupo D é constituído das 3 salas consideradas de reforço e padronizadas pela FDE a partir dos anos 1990, cujas dimensões em planta são 7,00x3,50m ($\pm 0,05$ m). A altura é variável entre 3,13m e 3,20m. Estas são salas projetadas para aulas de reforço ou para a 1ª série do ensino fundamental e limitadas a atender no máximo 16 alunos. Mas, em algumas das escolas visitadas elas estão sendo utilizadas como depósitos de materiais, copa e outros fins não pedagógicos. Os materiais construtivos são semelhantes, destacando-se o número de conjuntos carteira/cadeira, fixado em 16 unidades. Os Apêndices de N a P apresentam mais detalhadamente as características físicas-construtivas das salas do Grupo D.

A sala 17 com dimensões de 9,0x8,0x3,50m é a única representante do Grupo E, e pertence a uma escola construída nos anos 1960. Trata-se de uma sala de aula que ainda não foi adaptada para multiuso. Na maioria das escolas visitadas as administrações adaptaram as salas com áreas maiores do que 60m² como “multiuso”, tais como: artes, multimídia, informática, biblioteca, estudos e arquivos. O Apêndice Q apresenta mais detalhadamente as características físicas-construtivas da sala do Grupo E.

6.2 Nível de pressão sonora ambiental (L_{Aeq})

Os resultados dos níveis de pressão sonora internos à sala (com e sem ventilação mecânica) e externos à edificação são apresentados na Tabela 6.1. Observa-se que sem a ventilação mecânica, todas as 17 salas apresentaram valores de L_{Aeq} muito próximos entre si. Esta situação favorece a análise comparativa de outros parâmetros acústicos que são influenciados pelos níveis de ruído fundo ambiental, como o STI. Todos os valores de L_{Aeq} internos estão dentro dos recomendados pela norma brasileira NBR 10152 (ABNT, 1987), que são de 40 a 50dB(A) para salas de aula desocupadas. Isto significa que o isolamento das salas é adequado para os níveis de ruído de fundo externos às salas, na condição das escolas estarem desocupadas.

Tabela 6.1- Ruído de fundo (L_{eq}) interno e externo às salas de aula.

Grupo de Sala	Sala- Escola (altura, em m)	Ruído de fundo Interno (s/vent.) L_{Aeq} dB(A)	Ruído de fundo Interno (c/vent.) L_{Aeq} dB(A)	Ruído de Fundo Externo L_{Aeq} dB(A)
A (7x7)	1- Campinas F1 (3,13)	45,8	63,1	57,1
	2- CH-EB1 (3,00)	45,8	---	55,8
	3-Maria Alice (3,20)	42,6	54,5	57,5
	4-Roberto Marinho (2,92)	43,0	----	62,2
	5- Sérgio Porto (2,93)	39,8	57,0	55,8
	6- Telêmaco Paioli (3,00)	42,2	60,5	55,0
B (6x8)	7- Adalberto Nascimento (3,50)	43,0	63,0	52,6
	8- Adiwalde Oliveira (3,90)	42,5	62,0	57,5
	9- Ana Rita (3,10)	43,0	62,0	58,8
	10- Carlos Pimentel (2,94)	42,6	60,3	53,2
	11-José Pedro (3,50)	45,8	59,5	69,3
C (5x8)	12- Adiwalde Oliveira (3,65)	43,8	61,0	57,1
	13- Artur Segurado (3,50)	39,8	60,3	67,1
D (7x3,5)	14- Campinas F1 (3,13)	44,7	-----	57,1
	15- Maria Alice (3,20)	42,3	54,7	57,5
	16- Sérgio Porto (3,13)	40,3	58,3	55,8
E (9x8)	17- Adalberto Nascimento (3,50)	44,8	60,5	59,6

Nota: **c/vent.:** com ventilação mecânica **s/vent.:** sem ventilação mecânica

Com a influência da ventilação mecânica os valores de L_{Aeq} se elevam e todas as salas deixam de atender as recomendações da norma brasileira NBR 10152 (ABNT, 1987). Este resultado demonstra que os equipamentos de ventilação empregados são inadequados sob o ponto de vista acústico e indica a dificuldade de se obter conforto térmico e acústico simultaneamente.

6.3 Tempo de Reverberação (TR)

No Brasil não existe norma específica a respeito de valores do tempo de reverberação (TR) para salas de aula. A norma brasileira NBR 12179 (ABNT, 1992), que tem como objetivo fixar os critérios para a execução de tratamentos acústicos em recintos fechados, indica um gráfico para o tempo ótimo de reverberação, na frequência de 500Hz. Se for considerado que as salas de aula poderiam ser analisadas como salas de conferências e para os volumes encontrados nas salas de aula avaliadas, o TR ótimo varia de 0,4 a 0,6s. A norma internacional ANSI S12.60 (2002) recomenda valores de TR de 0,6s para salas de aula de pequenos volumes ($V < 283,00\text{m}^3$) e desocupadas, referenciando-os apenas para as frequências de 500, 1000 e 2000Hz, conforme apresentado na Tabela 4.1, do Capítulo 4.

Na Tabela 6.2 estão apresentados os resultados da média espacial dos valores do TR em função da frequência para cada sala de aula estudada. Em todas as salas, verifica-se uma acentuada variação dos valores médios do TR nas baixas frequências, demonstrada através dos desvios. Segundo Hunt (1992), as variações nas baixas podem ser atribuídas à sensibilidade do equipamento de medição capaz de captar todos os sons ambientais internos e externos à sala, que são predominantemente de baixa frequência.

Para Metha, Johnson e Rocafort (1999), a contribuição das baixas frequências (até 500Hz) para a inteligibilidade da fala atinge no máximo 10%. Isto ocorre porque a potência da voz humana é constituída na sua maioria das vogais, que são componentes de baixa frequência, mas para a inteligibilidade da fala, a maior contribuição é das consoantes, que são componentes de alta frequência. Com base nessa argumentação, a análise dos parâmetros acústicos foi realizada para as frequências a partir de 500Hz.

Os valores de TR para as frequências de 500, 1000 e 2000Hz foram destacados na Tabela 6.2, com sombreamento na cor azul. Observa-se que todos os valores estão acima dos recomendados tanto pela norma brasileira NBR 12179 (ABNT, 1992), como pela norma internacional ANSI S12.60 (2002).

Tabela 6.2- Média espacial do Tempo de Reverberação (TR) por sala, em função da frequência.

Grupo de Sala	Sala /Escola (altura, em m)	TR (s) Desvio- padrão	Frequência (Hz)						
			125	250	500	1000	2000	4000	8000
A (7x7)	1- Campinas F1 (3,13)	Médio	1,13	1,14	0,99	0,91	0,88	0,80	0,65
		desvio	0,17	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
	2- CH- EB1 (3,00)	Médio	1,13	1,38	1,34	1,41	1,32	1,12	0,83
		desvio	0,04	0,07	0,03	0,04	0,01	0,00	0,00
	3- Maria Alice (3,20)	Médio	1,71	1,76	1,54	1,48	1,37	1,13	0,76
		desvio	0,15	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
	4- Roberto Marinho (2,92)	Médio	1,66	1,74	1,91	2,10	1,88	1,58	1,15
		desvio	0,23	0,12	0,04	0,07	0,08	0,05	0,02
B (6x8)	7- Adalberto (3,50)	Médio	2,05	2,14	2,11	2,09	1,85	1,53	0,98
		desvio	0,14	0,11	0,09	0,04	0,02	0,03	0,03
	8- Adiwalde (3,90)	Médio	1,07	1,31	1,76	2,17	2,04	1,67	1,16
		desvio	0,02	0,05	0,04	0,06	0,03	0,04	0,01
	9- Ana Rita (3,10)	Médio	2,90	2,07	1,46	1,35	1,26	1,14	0,87
		desvio	0,34	0,04	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01
	10- Carlos Pimentel (2,94)	Médio	1,50	1,49	1,14	1,14	1,04	0,92	0,70
		desvio	0,04	0,04	0,03	0,05	0,03	0,02	0,02
C (5x8)	12- Adiwalde (3,65)	Médio	0,82	1,00	1,11	1,30	1,12	1,17	0,93
		desvio	0,20	0,05	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
	13- Artur Segurado (3,50)	Médio	1,73	1,70	1,41	1,21	1,03	0,89	0,69
		desvio	0,14	0,05	0,09	0,04	0,02	0,02	0,01
D (7x3,5)	14- Campinas F1 (3,13)	Médio	1,40	1,49	1,27	1,02	0,97	0,88	0,69
		desvio	0,14	0,20	0,08	0,03	0,03	0,02	0,05
	15- Maria Alice (3,20)	Médio	1,06	1,16	1,09	0,94	0,89	0,75	0,56
		desvio	0,16	0,06	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01
	16- Sérgio Porto (3,13)	Médio	1,52	1,63	1,54	1,43	1,23	1,05	0,72
		desvio	0,51	0,11	0,07	0,03	0,06	0,05	0,02
E (9x8)	17- Adalberto (3,50)	Médio	2,91	2,44	2,47	2,49	2,30	1,84	1,14
		desvio	1,15	0,12	0,10	0,05	0,01	0,02	0,04

Para avaliar o comportamento dos resultados do TR gerou-se o Gráfico 6.1, que mostra os valores da média espacial do TR, em função da frequência para as 17 salas de aula avaliadas.

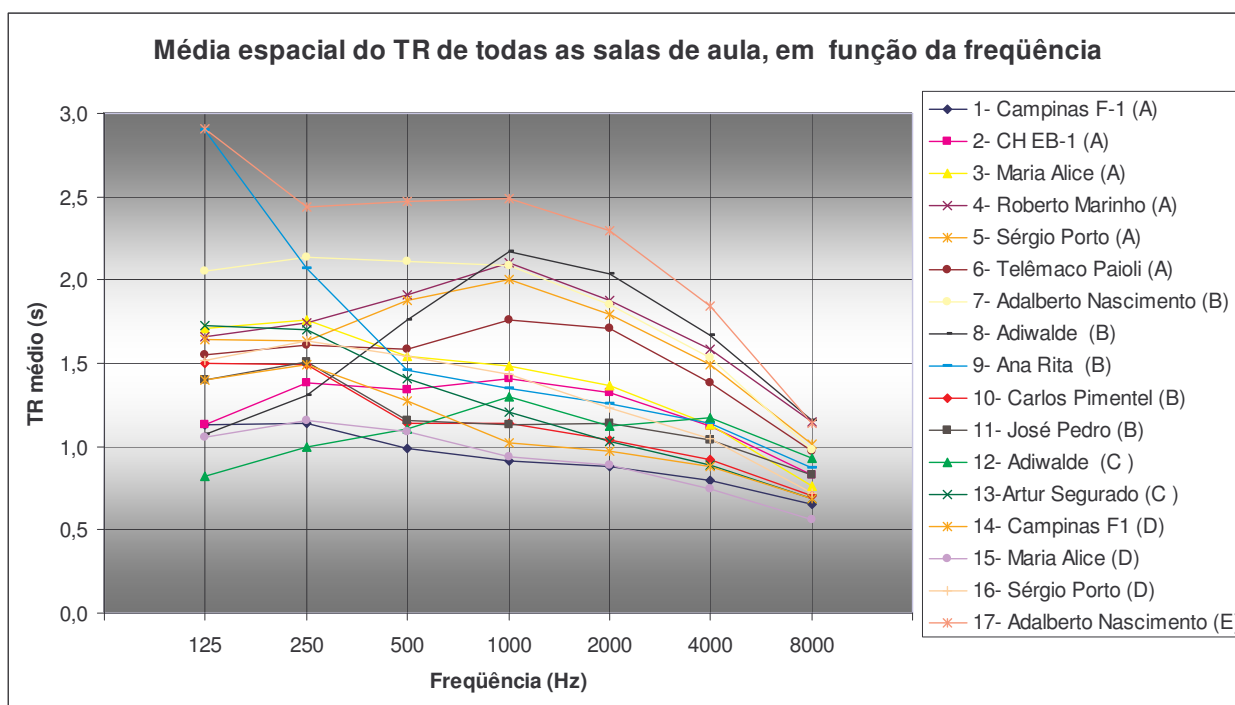


GRÁFICO 6.1: Média espacial do Tempo de Reverberação (TR) de todas as salas de aula, em função da frequência.

Observa-se uma variação muito ampla de comportamento do TR em função da frequência. Não ficam claros os comportamentos similares entre salas do mesmo grupo, bem como as diferenças significativas de comportamento entre Grupos de salas.

Na tentativa de visualizar semelhanças de comportamento do TR, segundo os grupos de salas (associados às dimensões em planta) foi elaborado o Gráfico 6.2. Neste gráfico tem-se a média espacial dos valores de TR para salas. Em (a), Salas 1 a 6 (Grupo A); em (b), Salas 7 a 11 (Grupo B); em (c), Salas 12 e 13 (Grupo C); em (d), Salas 14 a 16 (Grupo D) e em (e), Sala 17 (Grupo E).

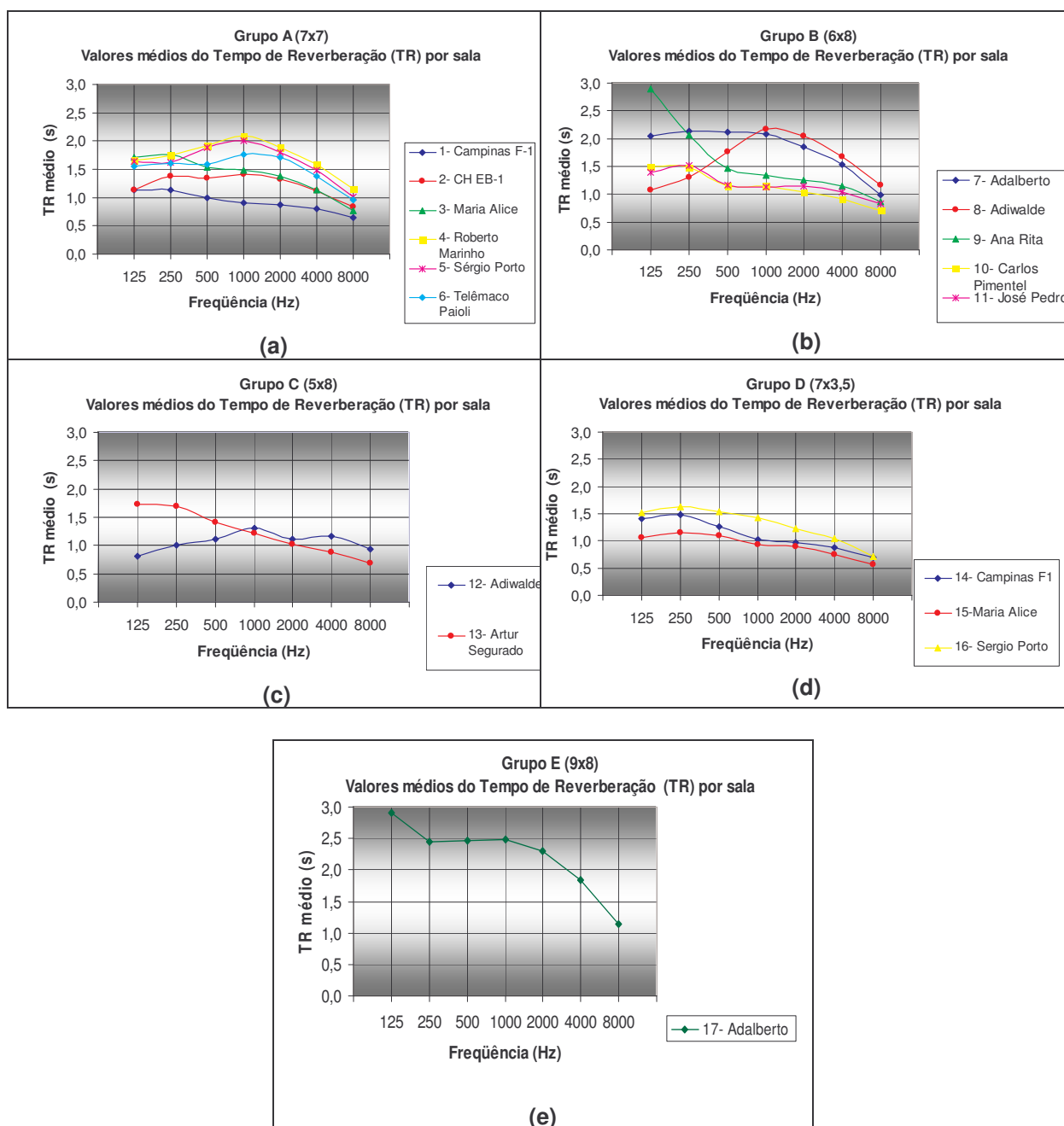


GRÁFICO 6.2: Média espacial do Tempo de Reverberação (TR) por Grupos de salas, em função da frequência. Em (a), Grupo A; em (b), Grupo B; em (c), Grupo (C); em (d), Grupo D; e em (e), Grupo E.

Dentro do Grupo A, cuja área em planta é 7,00x7,00m ($\pm 0,10$ m) era previsto que o valor do TR aumentasse proporcionalmente à altura (devido ao aumento do volume). Nesse sentido, esperava-se que a ordem crescente do TR para as salas fosse: 4 e 5, 2 e 6, 1 e 3. Mas, os resultados indicaram uma ordem diferente de salas (1, 2, 3, 6, 5 e 4).

Sabe-se que o TR é inversamente proporcional à absorção da sala. Como no Grupo A os materiais de revestimento das diferentes superfícies são similares e o número de conjuntos de carteiras/cadeiras é o mesmo, esperava-se que não houvesse alteração significativa nessas características e, portanto, não ocorresse diferença significativa entre os valores do TR, mas os resultados indicaram o oposto. Conforme mostra a Gráfico 6.2 (a), no Grupo A, as salas com alturas maiores do que 3,00m apresentaram os menores valores de TR. As salas com alturas menores do que 3,00m (as Salas 4 e 5, com 2,92m e 2,93m respectivamente) apresentaram os maiores valores de TR. Ao que tudo indica, pequenas alterações na absorção, como a ausência de cortinas nas janelas, por exemplo, influenciaram mais o TR do que a alteração dos volumes das salas.

Numa análise numérica realizada com base nos valores do TR encontrados em função do volume das salas, observa-se que uma variação na ordem de 10% nos coeficientes de absorção das superfícies pode ser responsável pela variação do TR encontrada. Os resultados, portanto, merecem um estudo mais detalhado.

Dentro do Grupo B, cuja área em planta é 6,00x8,00m ($\pm 0,10$ m), de acordo com a influência da absorção da sala no TR, previa-se uma ordem crescente do TR para as salas: 10, 9, 7 e 11 e 8. Com exceção da sala 11 e das salas 7 e 8 (estas últimas na frequência de 500Hz), o comportamento do TR apresentou-se proporcional à altura (e, portanto, ao volume), resultando na ordem crescente para as salas 10 e 11, 9, 7 e 8. Na frequência de 500Hz, a Sala 8 tem valores de TR's menores que os da Sala 7. Esta inversão de ordem (Salas 7 e 8) pode ser atribuída ao material de revestimento do piso da Sala 8 (tábuas de madeira) que possui coeficientes de absorção maiores até frequência de 500Hz, e, portanto, TR menor. Os valores da média espacial do TR para o Grupo B estão representados no Gráfico 6.2(b).

No Grupo C, cuja área em planta é 5,00x8,00m ($\pm 0,10$ m), de acordo a relação teórica entre TR, volume e absorção, previa-se a ordem crescente do TR para as salas: 13 e 12. Na prática, houve uma inversão de ordem do comportamento do TR a partir da frequência de

500Hz. Na Sala 12 o TR é crescente até a frequência de 1000Hz e partir desta, os valores decrescem. Na Sala 13 todos os valores de TR decrescem com o aumento da frequência. Este resultado pode ser atribuído à influência do uso de cortinas de tecido (persianas verticais) instaladas na sala 13, que possuem coeficientes de absorção maiores nas altas frequências, reduzindo os valores do TR, mesmo tendo o volume maior do que a sala 12. Os valores da média espacial do TR para o Grupo C estão representados no Gráfico 6.2(c).

Para o Grupo D, cuja área em planta é 7,00x3,50m ($\pm 0,05$ m), segundo a relação teórica de TR, em função do volume e absorção da sala, previa-se a ordem crescente do TR para as salas: 14 e 16, 15. Os resultados apontaram que, em todas as salas, o TR decresce com aumento da frequência. Na prática, houve uma inversão de ordem das salas 14 e 15, mas, considerando os valores dos desvios estatísticos, é possível aceitar a proporcionalidade dos valores do TR em relação à altura/volume das salas. Os valores da média espacial do TR para o Grupo D estão representados no Gráfico 6.2(d).

O Grupo E, cuja área em planta é 9,00x8,00m, é representado apenas por uma sala (Sala 17) por falta de mais amostras com estas dimensões. Conforme representada no Gráfico 6.2 (e), a Sala 17 apresentou elevados valores de TR, que decrescem com o aumento da frequência.

6.4 Tempo de Decaimento Inicial (EDT)

Os resultados da média espacial do EDT em função da frequência para as salas estudadas estão na Tabela 6.3, e o valor de EDT para as frequências de 500, 1000 e 2000Hz estão destacados com sombreamento na cor amarela. Da comparação dos resultados do EDT (Tabela 6.3) com o TR (Tabela 6.2) observa-se que os valores de EDT são próximos aos valores do TR para a mesma sala. Esta semelhança no comportamento dos dois parâmetros é consequência do fato de ambas derivarem da mesma resposta de energia. O EDT corresponde à parte inicial da energia no processo de decaimento, ou seja, é o tempo que a energia sonora cai de 0 a 10dB, multiplicado por 6. O multiplicador ($\times 6$) é incluído aqui para permitir a comparação com o TR. O TR corresponde ao decaimento, medido de -5dB a -35dB e multiplicado por 2, equivalente aos 60dB. Segundo Metha, Johnson e Rocafort (1999) esta parte inicial do decaimento (EDT) é que representa a sensação subjetiva da reverberação.

Tabela 6.3 – Média espacial do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) por sala, em função da frequência.

Grupo de Sala	Sala /Escola (altura, em m)	EDT(s) Desvio- padrão	Frequência (Hz)						
			125	250	500	1000	2000	4000	8000
A (7x7)	1- Campinas F1 (3,13)	Médio	1,10	1,15	0,91	0,86	0,79	0,75	0,61
		desvio	0,20	0,15	0,08	0,02	0,04	0,02	0,02
	2- CH- EB1 (3,00)	Médio	1,09	1,14	1,28	1,44	1,37	1,09	0,77
		desvio	0,15	0,18	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02
	3- Maria Alice (3,20)	Médio	1,53	1,74	1,56	1,42	1,37	1,08	0,66
		desvio	0,38	0,29	0,06	0,04	0,05	0,03	0,05
	4- Roberto Marinho (2,92)	Médio	1,35	1,69	1,80	2,13	1,87	1,55	1,10
		desvio	0,34	0,25	0,06	0,08	0,07	0,09	0,02
	5- Sérgio Porto (2,93)	Médio	1,51	1,49	1,93	1,98	1,65	1,43	0,89
		desvio	0,24	0,15	0,11	0,07	0,09	0,08	0,04
	6- Telêmaco Paioli (3,00)	Médio	1,31	1,43	1,55	1,76	1,65	1,30	0,92
		desvio	0,43	0,07	0,11	0,05	0,07	0,09	0,04
B (6x8)	7- Adalberto (3,50)	Médio	2,23	1,85	1,95	2,07	1,91	1,45	0,84
		desvio	0,74	0,25	0,08	0,13	0,08	0,09	0,07
	8- Adiwalde (3,90)	Médio	1,08	1,19	1,62	2,02	2,01	1,59	1,05
		desvio	0,24	0,17	0,11	0,04	0,04	0,05	0,03
	9- Ana Rita (3,10)	Médio	3,19	2,00	1,38	1,34	1,26	1,10	0,80
		desvio	0,18	0,21	0,14	0,06	0,02	0,03	0,03
	10- Carlos Pimentel (2,94)	Médio	1,61	1,60	1,28	1,16	1,02	0,88	0,64
		desvio	0,22	0,14	0,18	0,06	0,05	0,07	0,03
	11- José Pedro (3,50)	Médio	0,89	1,35	1,12	1,12	0,98	0,94	0,74
		desvio	0,77	0,22	0,11	0,01	0,02	0,05	0,03
C (5x8)	12- Adiwalde (3,65)	Médio	0,92	0,87	1,14	1,35	1,08	1,12	0,85
		desvio	0,10	0,07	0,12	0,01	0,03	0,04	0,01
	13- Artur Segurado (3,50)	Médio	1,89	1,79	1,39	1,24	1,02	0,85	0,64
		desvio	0,18	0,21	0,13	0,04	0,03	0,03	0,02
D (7x3,5)	14- Campinas F1 (3,13)	Médio	1,19	1,25	1,18	1,02	0,99	0,88	0,69
		desvio	0,22	0,11	0,16	0,05	0,06	0,02	0,05
	15- Maria Alice (3,20)	Médio	1,06	1,24	1,06	0,93	0,89	0,77	0,54
		desvio	0,30	0,10	0,15	0,04	0,04	0,02	0,04
	16- Sérgio Porto (3,13)	Médio	1,65	1,58	1,51	1,42	1,27	0,98	0,68
		desvio	0,13	0,30	0,09	0,09	0,09	0,06	0,02
E (9x8)	17- Adalberto (3,50)	Médio	2,33	2,30	2,34	2,47	2,28	1,75	0,95
		desvio	0,38	0,29	0,09	0,11	0,09	0,03	0,05

O EDT é composto das poucas reflexões adiantadas e isoladas e mais dependente da geometria da sala, desde que as reflexões iniciais tenham origem em superfícies bem definidas. Por outro lado, o TR é constituído de múltiplas reflexões como se originassem virtualmente de todas as superfícies da sala, e conseqüentemente é mais independente da geometria da sala (METHA; JOHNSON; ROCAFORT, 1999). É importante que o TR e o EDT tenham o mesmo comportamento, pois assim, a sensação sonora e o comportamento real de reverberação da sala são coincidentes.

O Gráfico 6.3 mostra os resultados da média espacial do comportamento do EDT em função da freqüência, para todas as salas estudadas. Observa-se que o comportamento do EDT é muito variado entre as salas, o que dificulta a identificação das tendências de comportamento desse parâmetro em relação às dimensões do grupo de salas. Assim, optou-se pela análise dos resultados de EDT entre as salas do mesmo grupo, conforme foi realizado também para a análise do TR.

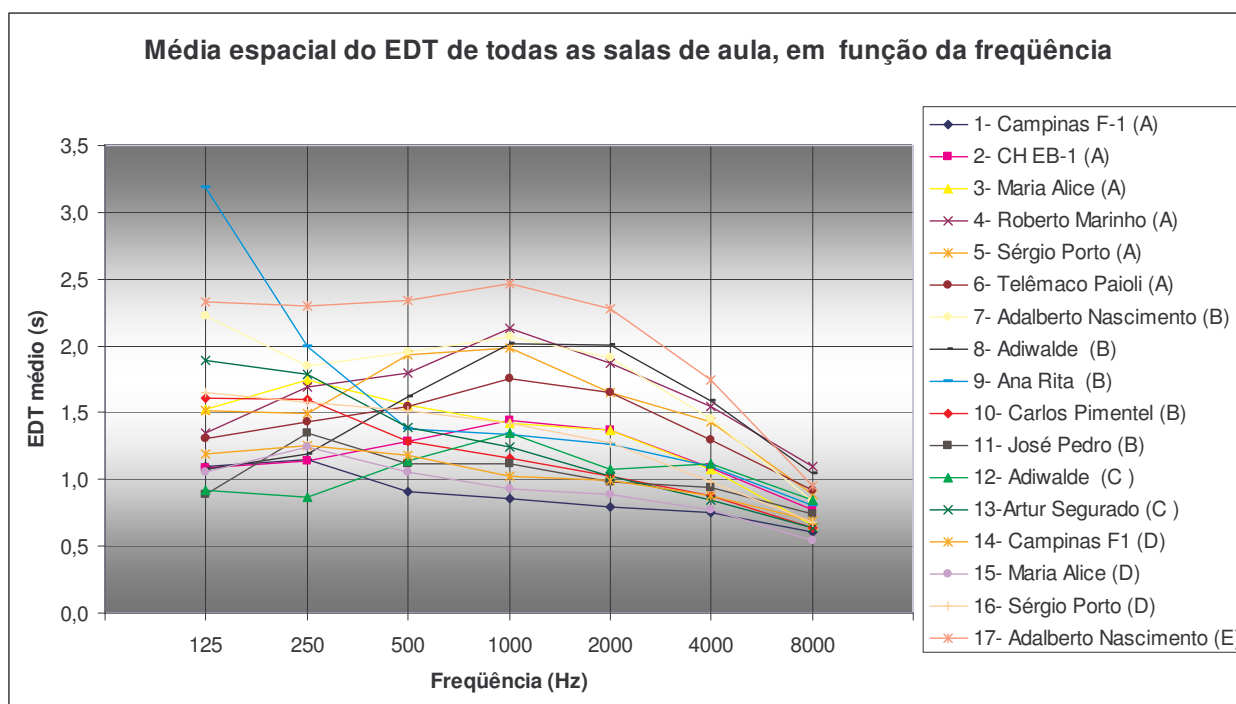


GRÁFICO 6.3: Média espacial do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) de todas as salas de aula, em função da freqüência.

O comportamento do EDT dentro de cada grupo é predominantemente semelhante ao do TR, conforme mostra o Gráfico 6.4 (a), (b), (c), (d) e (e). Assim, a sensação de reverberação (EDT) coincide com o comportamento de reverberação da sala (TR), o que contribui para

melhorar qualidade acústica da sala. Isso se explica já que as distâncias dos pontos de recepção medidos e as superfícies reflexivas são muito pequenas para serem distinguidas. Destaca-se que a Sala 17 apresentou um comportamento diferenciado para EDT nas baixas frequências (125 e 250Hz), ou seja, não manteve o valor elevado como do TR. Isso se deve à sala representar um efeito de painel vibrante ou ressonador.

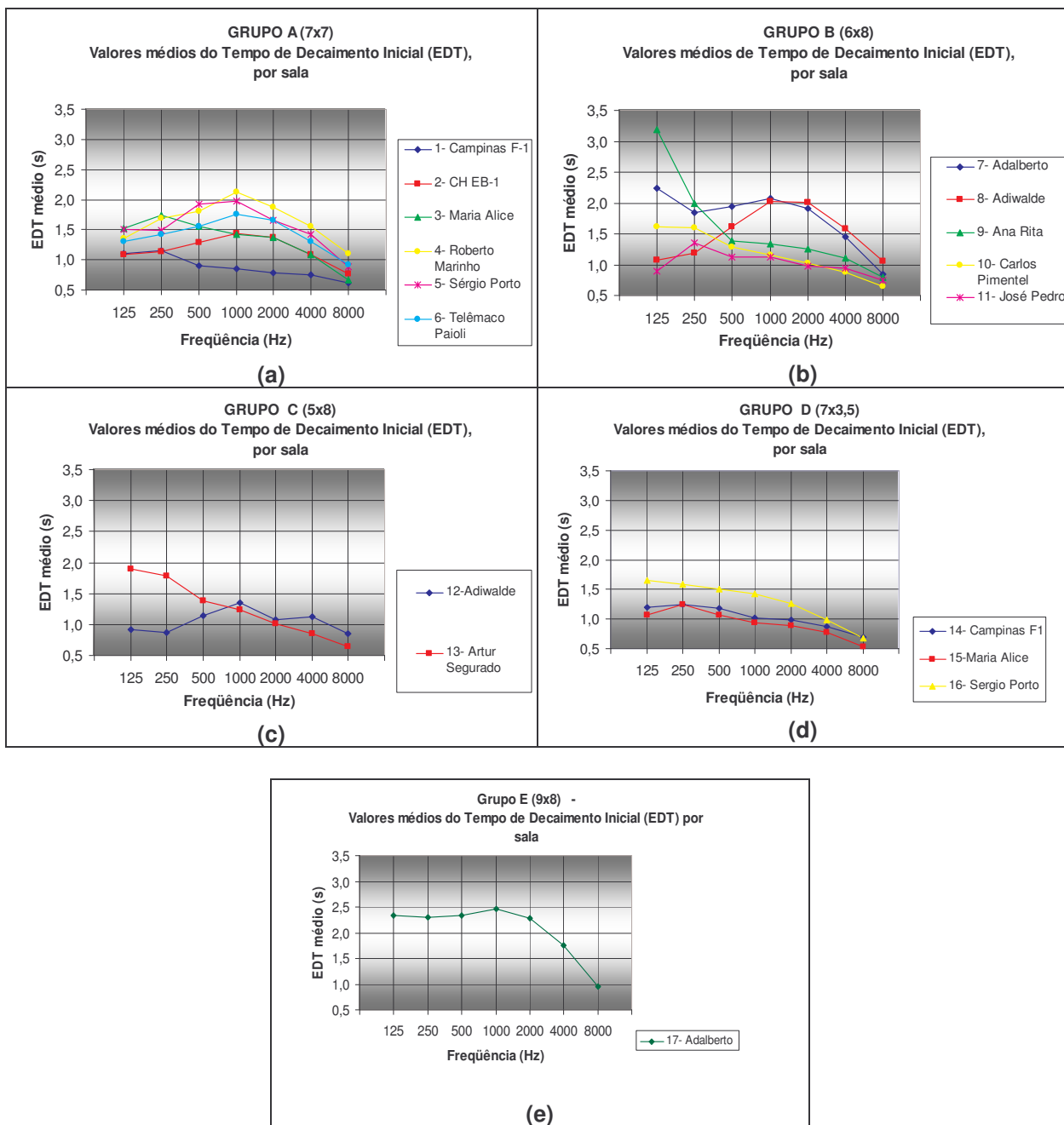


GRÁFICO 6.4: Média espacial do Tempo de Decaimento Inicial (EDT) por Grupos de salas, em função da frequência. Em (a), Grupo A; em (b), Grupo B; em (c), Grupo (C); em (d), Grupo D; e em (e), Grupo E.

Para a avaliação do EDT de acordo com recomendações técnicas, não há norma específica que indique um valor “ótimo”. O pesquisador Bradley (1986b) recomenda o valor de EDT de 0,5s, na frequência de 1000Hz (o mesmo que o autor recomenda para TR). Nenhuma sala apresentou este valor de EDT.

6.5 Definição (D_{50})

Para fins de análise de resultados do parâmetro Definição D_{50} é importante lembrar que, quanto mais próximo o valor de D_{50} for de 1 (um), melhor a Definição e portanto melhor a inteligibilidade (ISO 3382, 1997). Por outro lado, quanto maior o tempo de reverberação menor é a Definição, isto é, os valores de D_{50} são inversamente proporcionais aos valores de TR. Da comparação dos resultados do Gráfico 6.5 com o Gráfico 6.1, observa-se que o comportamento de D_{50} é o inverso do comportamento do TR, o que confere com a teoria. Os valores de D_{50} variaram de 0,24 a 0,61 (para a frequência de 1000Hz), mas ainda são menores do que o desejado.

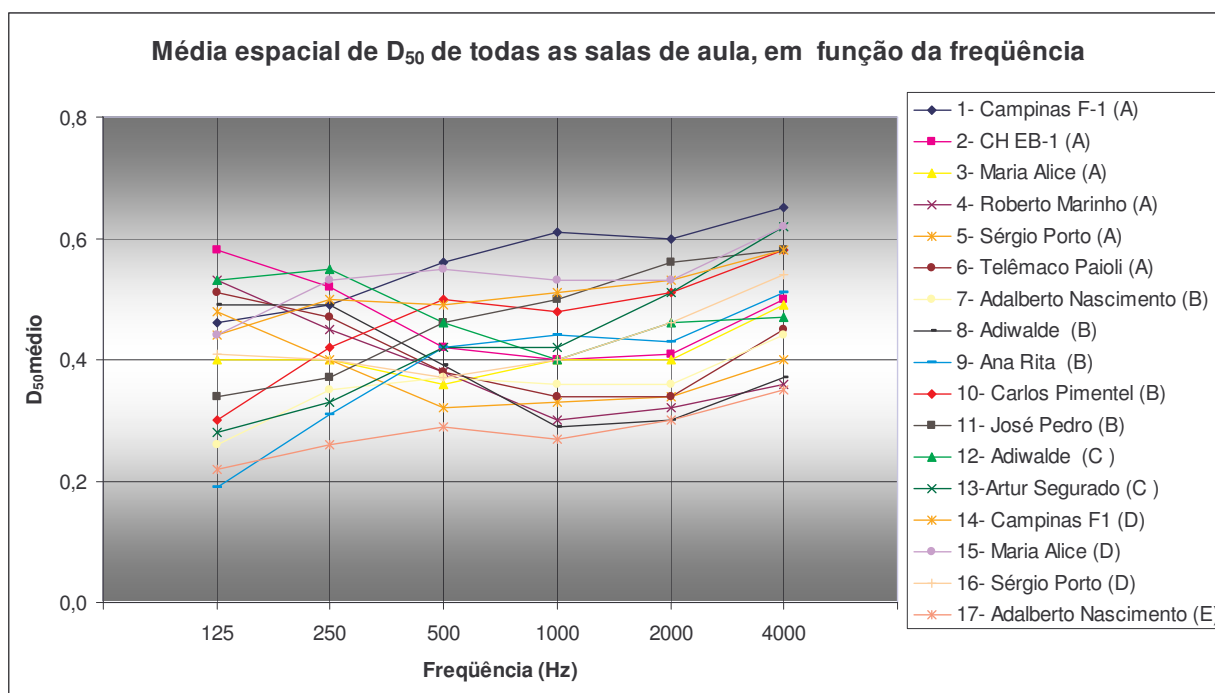


GRÁFICO 6.5: Média espacial do parâmetro Definição (D_{50}) de todas as salas de aula, em função da frequência.

Na Tabela 6.4 estão apresentados os valores da média espacial de D_{50} em função da frequência para as salas avaliadas. Os valores de D_{50} para as frequências de 500, 1000 e 2000Hz estão destacados com sombreamento na cor rosa.

Tabela 6.4 - Média espacial da Definição (D_{50}) por sala, em função da frequência.

Grupo de Sala	Sala /Escola (altura, em m)	D_{50} Desvio- padrão	Frequência (Hz)					
			125	250	500	1000	2000	4000
A (7x7)	1- Campinas F1 (3,13)	Médio	0,46	0,49	0,56	0,61	0,60	0,65
		desvio	0,16	0,05	0,09	0,05	0,08	0,06
	2- CH- EB1 (3,00)	Médio	0,58	0,52	0,42	0,40	0,41	0,50
		desvio	0,14	0,10	0,09	0,03	0,03	0,04
	3- Maria Alice (3,20)	Médio	0,40	0,40	0,36	0,40	0,40	0,49
		desvio	0,09	0,09	0,06	0,04	0,06	0,05
	4- Roberto Marinho (2,92)	Médio	0,53	0,45	0,38	0,30	0,32	0,36
		desvio	0,19	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05
B (6x8)	5- Sérgio Porto (2,93)	Médio	0,48	0,40	0,32	0,33	0,34	0,40
		desvio	0,08	0,07	0,04	0,06	0,02	0,05
	6- Telêmaco Paioli (3,00)	Médio	0,51	0,47	0,38	0,34	0,34	0,45
		desvio	0,19	0,07	0,02	0,05	0,03	0,03
	7- Adalberto (3,50)	Médio	0,26	0,35	0,37	0,36	0,36	0,44
		desvio	0,17	0,08	0,05	0,03	0,09	0,11
	8- Adiwalde (3,90)	Médio	0,49	0,49	0,39	0,35	0,30	0,37
		desvio	0,01	0,09	0,06	0,05	0,04	0,07
C (5x8)	9- Ana Rita (3,10)	Médio	0,19	0,31	0,42	0,44	0,43	0,51
		desvio	0,09	0,07	0,11	0,09	0,10	0,08
	10- Carlos Pimentel (2,94)	Médio	0,30	0,42	0,50	0,48	0,51	0,58
		desvio	0,11	0,07	0,06	0,04	0,06	0,05
	11- José Pedro (3,50)	Médio	0,34	0,37	0,46	0,50	0,56	0,58
		desvio	0,08	0,10	0,07	0,03	0,04	0,05
	12- Adiwalde (3,65)	Médio	0,53	0,55	0,46	0,40	0,46	0,47
		desvio	0,08	0,17	0,04	0,04	0,04	0,04
D (7x3,5)	13- Artur Segurado (3,50)	Médio	0,28	0,33	0,42	0,42	0,51	0,62
		desvio	0,12	0,07	0,15	0,05	0,10	0,05
	14- Campinas F1 (3,13)	Médio	0,44	0,50	0,49	0,51	0,53	0,58
		desvio	0,12	0,04	0,05	0,02	0,03	0,02
	15- Maria Alice (3,20)	Médio	0,44	0,53	0,55	0,53	0,53	0,62
		desvio	0,12	0,08	0,06	0,06	0,04	0,03
	16- Sérgio Porto (3,13)	Médio	0,41	0,40	0,37	0,40	0,46	0,54
		desvio	0,09	0,16	0,04	0,02	0,05	0,05
E (9x8)	17- Adalberto (3,50)	Médio	0,22	0,26	0,29	0,27	0,30	0,35
		desvio	0,11	0,05	0,06	0,04	0,03	0,03

Para uma visualização mais clara do comportamento do parâmetro D_{50} entre salas do mesmo grupo, o Gráfico 6.6 mostra os resultados por Grupo, sendo: em (a), Grupo A; em (b), Grupo B; em (c), Grupo (C); em (d), Grupo D; e em (e), Grupo E.

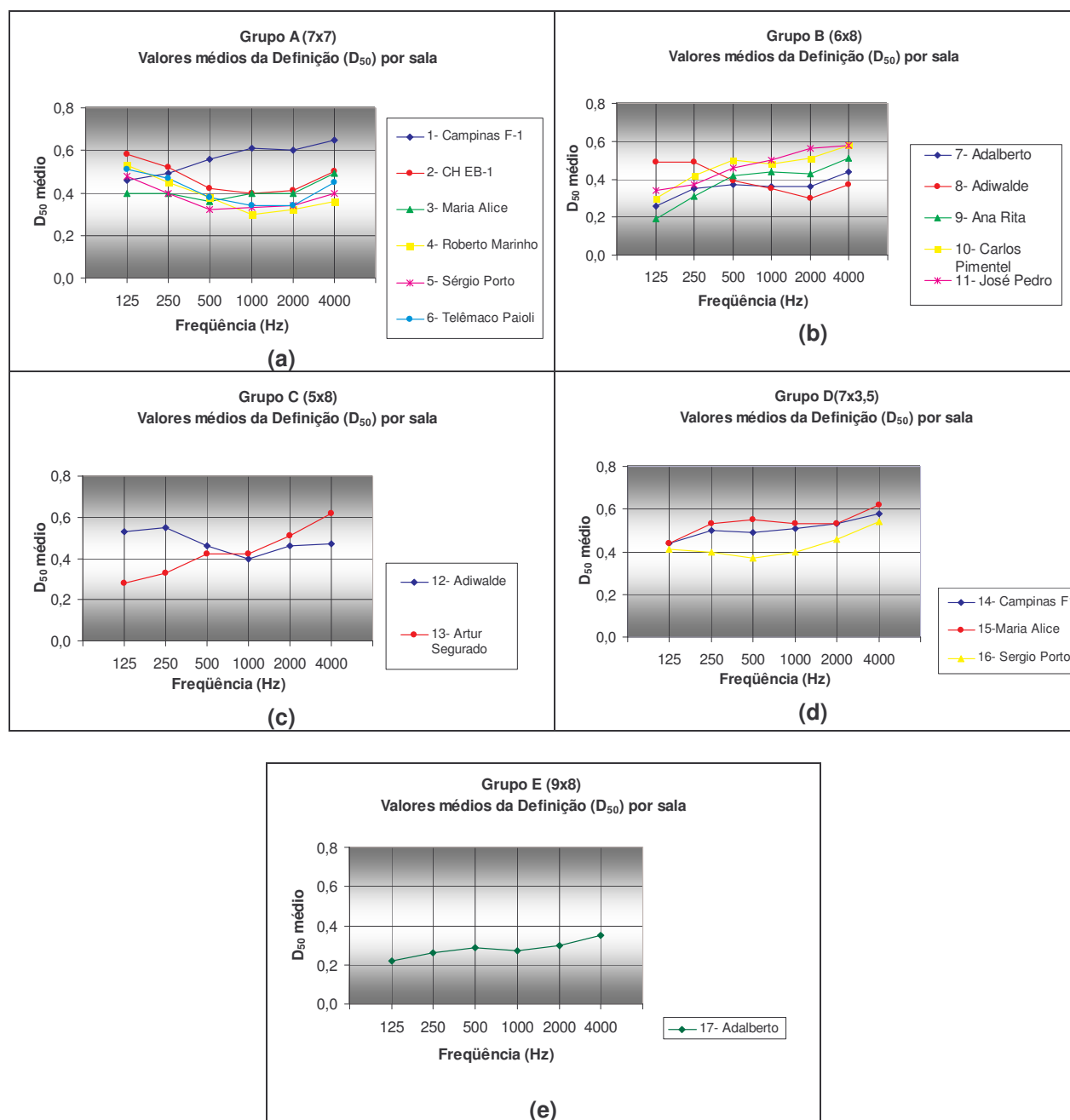


GRÁFICO 6.6: Média espacial do parâmetro Definição (D_{50}) por Grupos de salas, em função da frequência. Em (a), Grupo A; (b), Grupo B; (c), Grupo (C); (d), Grupo D; e (e), Grupo E.

Entre as escolas do Grupo A, destaca-se a Sala 1 que obteve o valor de D_{50} superior a 0,50. O valor de 0,61 foi atingido para o valor de TR igual a 0,91s, na frequência de 1000Hz, enquanto todas as outras do mesmo grupo apresentaram valores insatisfatórios (igual ou abaixo de 0,40). No Grupo B, o parâmetro D_{50} apresentou valores predominantes na faixa entre 0,40 e 0,50. Apesar de representarem valores ainda “baixos”, são melhores do que os obtidos para o Grupo A. A exceção do Grupo B foi a Sala 8 (maior altura/volume) que apresentou a pior Definição (0,35) em relação às outras. No Grupo C, os valores de D_{50} são semelhantes entre as 2 salas e estão na faixa de 0,40 a 0,50. Das três salas do Grupo D, duas apresentaram valores de D_{50} próximos de 0,50. Esse valor corresponde aproximadamente ao TR em torno de 1,0s. O Grupo E, representado pela Sala 17, foi o que apresentou o pior valor de D_{50} (0,27- em 1000Hz) entre as 17 salas estudadas.

6.6 Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons)

É oportuno lembrar que o Índice de Transmissão da Fala (STI) compreende valores entre 0 (que representa uma inteligibilidade nula) e 1 (que representa uma inteligibilidade ótima). O método do cálculo do STI leva em conta o nível de ruído e o tempo de reverberação. Assim, torna-se pertinente destacar a análise comparativa dos valores obtidos do STI em relação ao nível de ruído de fundo ambiental interno (L_{Aeq}) e ao comportamento do TR da sala. O parâmetro %ALCons é inversamente proporcional ao STI, ou seja, num determinado ponto da sala, quando há menores perdas na articulação de consoantes, maior é o valor do STI, portanto, melhor é a inteligibilidade e vice-versa. Foram analisados independentemente os resultados do STI e respectiva %ALCons, nas condições de “com a ventilação” e “sem a ventilação” mecânica na sala (ventiladores instalados em funcionamento).

6.6.1 STI e %ALCons para as salas sem o acionamento da ventilação mecânica

Os resultados do STI e respectivas %ALCons para cada sala, na condição “sem ventilação mecânica” estão apresentados nas Tabelas 6.5 a 6.9 e no Gráfico 6.7. O Gráfico 6.7 está subdividido em Grupos de salas para melhor apresentar os resultados do STI e da %ALCons, obtidos nas 17 salas estudadas dos 5 Grupos.

Nas salas do Grupo A, os valores de STI estão na faixa de 50% a 60% de inteligibilidade, e predominantemente na escala “razoável”, segundo a classificação da norma internacional IEC 60268-16 (1998 apud Brüel & Kjaer, 2005). Os valores são praticamente constantes entre os pontos da mesma sala, isto é, variaram pouco para a distância entre a fonte e o receptor de até 5,00m (ponto P4). Os valores melhores do STI foram da Sala 1 (com altura de 3,13m) e os menores valores foram da Sala 5 (com a altura de 2,93m). Estes resultados apontam que, apesar do aumento de 5 dB(A) no nível de ruído de fundo da Sala 1 em relação à Sala 5, este comportamento não correspondeu à variação do STI. Neste caso do Grupo A, o STI foi mais influenciado pelo comportamento da sala quanto à reverberação, dados os valores menores do TR para a Sala 1, a qual apresentou os maiores valores do STI, mas também tem o maior nível de ruído de fundo [$L_{Aeq}=45,8$ dB(A)]. A situação foi inversamente proporcional para Sala 5, que tem o maiores valores do TR, mas tem o menor nível de ruído de fundo [$L_{Aeq}=39,8$ dB(A)].

Tabela 6.5- STI e %ALCons por salas do Grupo A, em cada ponto de recepção (sem ventilação mecânica).

Grupo A (7x7) Sala-Escola (altura, em m)	Índice acústico (s/vent.)	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte, em m)			
		P1 (1,77m)	P2 (3,46m)	P3 (4,42m)	P4 (5,04m)
1- Campinas F-1 (3,13)	STI	0,58 (razoável)	0,60 (bom)	0,60 (razoável)	0,57(razoável)
	%ALCons	7,3	6,5	6,7	7,7
2- CH EB-1 (3,00)	STI	0,56 (razoável)	0,54 (razoável)	0,55 (razoável)	0,53 (razoável)
	%ALCons	8,2	9,2	8,5	9,8
3- Maria Alice (3,20)	STI	0,55 (razoável)	0,55 (razoável)	0,53 (razoável)	0,52 (razoável)
	%ALCons	8,9	8,6	9,7	10,3
4- Roberto Marinho (2,92)	STI	0,62 (bom)	0,55 (razoável)	0,48(razoável)	0,51(razoável)
	%ALCons	6,0	8,8	12,5	10,9
5- Sérgio Porto (2,93)	STI	0,52(razoável)	0,51(razoável)	0,51(razoável)	0,50 (razoável)
	%ALCons	10,2	11,0	11,0	11,6
6- Telêmaco Paoli (3,00)	STI	0,54 (razoável)	0,53(razoável)	0,50(razoável)	0,54(razoável)
	%ALCons	9,2	9,6	11,1	9,3

A Tabela 6.6 mostra os valores do STI e %ALCons obtidos nas salas do Grupo B.

Tabela 6.6- STI e %ALCons por salas do Grupo B, em cada ponto de recepção (sem ventilação mecânica).

Grupo B (6x8)	Sala-Escola (altura, em m)	Índice acústico (s/vent.)	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte, em m)			
			P1 (1,83m)	P2 (3,05m)	P3 (4,89m)	P4 (6,00m)
7- Adalberto (3,50)		STI	0,53 (razoável)	0,47 (razoável)	0,46 (razoável)	0,48 (razoável)
		%ALCons	9,5	13,4	14,1	12,5
8- Adiwalde (3,90)		STI	0,50 (razoável)	0,50 (razoável)	0,51 (razoável)	0,49 (razoável)
		%ALCons	11,1	11,2	10,6	11,9
9- Ana Rita (3,10)		STI	0,55 (razoável)	0,52 (razoável)	0,50 (razoável)	0,47 (razoável)
		%ALCons	8,8	10,1	11,1	13,3
10- Carlos Pimentel (2,94)		STI	0,57 (razoável)	0,55 (razoável)	0,55 (razoável)	0,55 (razoável)
		%ALCons	7,7	8,5	8,5	8,9
11- José Pedro (3,50)		STI	0,55(razoável)	0,50 (razoável)	0,43 (pobre)	0,54 (razoável)
		%ALCons	8,8	11,3	16,2	9,3

Nas salas do Grupo B, os valores de STI estão na faixa de 40% a 60% de inteligibilidade, e predominantemente na escala “razoável”, segundo a classificação da norma internacional IEC 60268-16 (1998 apud Brüel & Kjaer, 2005). Os valores são próximos entre os pontos da mesma sala, isto é, variaram pouco para as distâncias entre a fonte e o receptor de até 6,0m. Na sala 11 há uma particularidade do valor do STI no ponto P3, que apresentou valor baixo e classificação na escala “pobre”. Este resultado pode ser justificado devido à proximidade do P3 das janelas voltadas para a avenida, e, portanto, maior interferência do ruído externo. Ao contrário do que ocorreu no Grupo A, no Grupo B a sala com maior altura/volume (Sala 8, altura de 3,90m), que apresentou os maiores valores do TR e os menores do STI, o que é coerente com a teoria. Valores inversamente proporcionais foram obtidos na Sala 10, com a menor altura/volume (2,94m) do grupo, que apresentou menores valores do TR e maiores do STI. Destaca-se que a influência do nível de ruído de fundo ambiental interno (L_{Aeq}) para ambas as salas que apresentaram valores iguais. Isto significa que o STI foi influenciado mais pelo TR do que pelo ruído de fundo, contrariando muitos estudos. Na pesquisa de Feijóo e Alvarez (2006), por exemplo, a influência do TR mostrou-se praticamente desprezível em relação ao ruído de fundo nos testes aplicados com frases de baixa previsibilidade, enquanto que para as frases de alta previsibilidade, a influência do TR na inteligibilidade mostrou-se maior, “mascarando” a influência do ruído de fundo.

No Grupo C as salas apresentaram os valores de STI na faixa de 50% a 60% de inteligibilidade, e predominantemente na escala “razoável”, segundo a classificação da norma internacional IEC 60268-16 (1998 apud Brüel & Kjaer, 2005). Os valores do STI são praticamente constantes dentro de uma mesma sala, ou seja, há pouca variação entre os pontos até a distância máxima avaliada entre fonte e receptor de 5,96m (ponto P4). Apesar das duas salas avaliadas pertencerem à mesma classificação do STI (“razoável”), os valores melhores para o STI corresponderam à Sala 12 (maior altura de 3,65m), a qual também apresentou o maior TR (em 1000Hz) e o maior nível de ruído de fundo interno [$L_{Aeq}=43,8\text{dB(A)}$], contrariando a teoria. A Sala 13 (menor altura de 3,50m) apresentou menores valores de STI, menor TR (em 1000Hz) e o menor ruído de fundo interno [$L_{Aeq}=39,8\text{dB(A)}$]. Esta diferença de L_{Aeq} de apenas 4 dB(A) entre uma sala e a outra não interferiu nos valores de STI, que também não sofreu influência do TR nos resultados encontrados para este Grupo. A Tabela 6.7 mostra os valores do STI e %ALCons obtidos nas salas do Grupo C.

Tabela 6.7- STI e %ALCons por salas do Grupo C, em cada ponto de recepção (sem ventilação mecânica).

Grupo C (5x8)	Índice acústico (s/vent.)	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte, em m)			
		P1 (1,77m)	P2 (3,05m)	P3 (4,94m)	P4 (5,96m)
12- Adiwalde (3,65)	STI	0,59 (razoável)	0,56 (razoável)	0,57 (razoável)	0,56 (razoável)
	%ALCons	7,0	8,0	7,7	8,1
13- Artur Segurado (3,50)	STI	0,58 (razoável)	0,52 (razoável)	0,54 (razoável)	0,53 (razoável)
	%ALCons	7,5	9,9	9,2	9,9

A Tabela 6.8 mostra os valores do STI e %ALCons obtidos para o Grupo D. As três salas deste grupo são pequenas e os pontos de recepção ficaram muito próximos assim como os valores obtidos para STI, que são praticamente constantes para a mesma sala até a distância máxima avaliada de 2,75m entre a fonte e receptor. Os valores de STI estão na faixa de 0,50 a 0,60 de inteligibilidade, e predominantemente na escala “razoável”, segundo a classificação da norma IEC 60268-16 (1998 apud Brüel & Kjaer, 2005). Na Sala 14, o P1 (mais próximo da fonte) apresentou o valor maior para o STI (0,64- escala “bom”). Os melhores valores do STI corresponderam à Sala 15 (maior altura, de 3,20m). Os valores mais desfavoráveis do STI corresponderam à Sala 16 (menor altura de 3,13m). A diferença no nível de ruído de fundo em 4,4dB(A) da sala mais ruidosa (Sala 14) para a menos ruidosa (Sala 16)

não correspondeu aos valores de STI (menor e maior, respectivamente). O STI mostrou dependência com o TR na Sala 15, na qual obteve-se maior valor do STI e menor do TR. Com o comportamento inversamente proporcional, na Sala 16 obteve-se menor valor do STI e maior do TR.

Tabela 6.8- STI e %ALCons por salas do Grupo D, em cada ponto de recepção (sem ventilação mecânica).

Grupo D (7x3,5)	Índice acústico (s/vent.)	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte, em m)		
		P1 (1,15m)	P2 (2,50m)	P3 (2,75m)
14- Campinas F1 (3,13)	STI	0,64 (bom)	0,58 (razoável)	0,56 (razoável)
	%ALCons	5,3	7,3	8,0
15- Maria Alice (3,20)	STI	0,59 (razoável)	0,59 (razoável)	0,58 (razoável)
	%ALCons	6,9	7,0	7,4
16- Sérgio Porto (3,13)	STI	0,56 (razoável)	0,54 (razoável)	0,51 (razoável)
	%ALCons	8,4	9,3	10,8

No Grupo E, os valores de STI da Sala 17 apresentaram valores predominantemente abaixo de 0,50 de inteligibilidade, e na escala “pobre”, segundo a classificação da norma IEC 60268-16 (1998 apud Brüel & Kjaer, 2005). Com exceção do ponto P1 (que é mais próximo da fonte e apresentou o melhor resultado, com o valor de 0,52 e classificação na escala como “razoável”), o valor do STI tende a ser constante para sala em todos os pontos de recepção, até a distância máxima avaliada de 6,45m, no ponto P4. Em comparação com as demais salas estudadas, esta apresentou os piores valores de STI, que corresponderam aos valores mais altos de TR (nas frequências analisadas de 500, 1000 e 2000Hz), e também um dos maiores níveis de ruído de fundo interno [$L_{Aeq}=44,8\text{dB(A)}$]. A Tabela 6.9 mostra os valores do STI e %ALCons obtidos para sala 17 (Grupo E).

Tabela 6.9 - STI e %ALCons do Grupo E (Sala 17), em cada ponto de recepção (sem ventilação mecânica).

Grupo E (9x8)	Índice acústico (s/vent.)	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte, em m)			
		P1 (2,20m)	P2 (3,55m)	P3 (5,50m)	P4 (6,45m)
17- Adalberto (3,50)	STI	0,52 (razoável)	0,44 (pobre)	0,45 (pobre)	0,43 (pobre)
	%ALCons	10,2	15,9	15,1	16,7

A representação gráfica dos valores do STI e respectivas %ALCons das salas, sem os ventiladores em funcionamento está no Gráfico 6.7, que foi subdividido por Grupos de Salas.

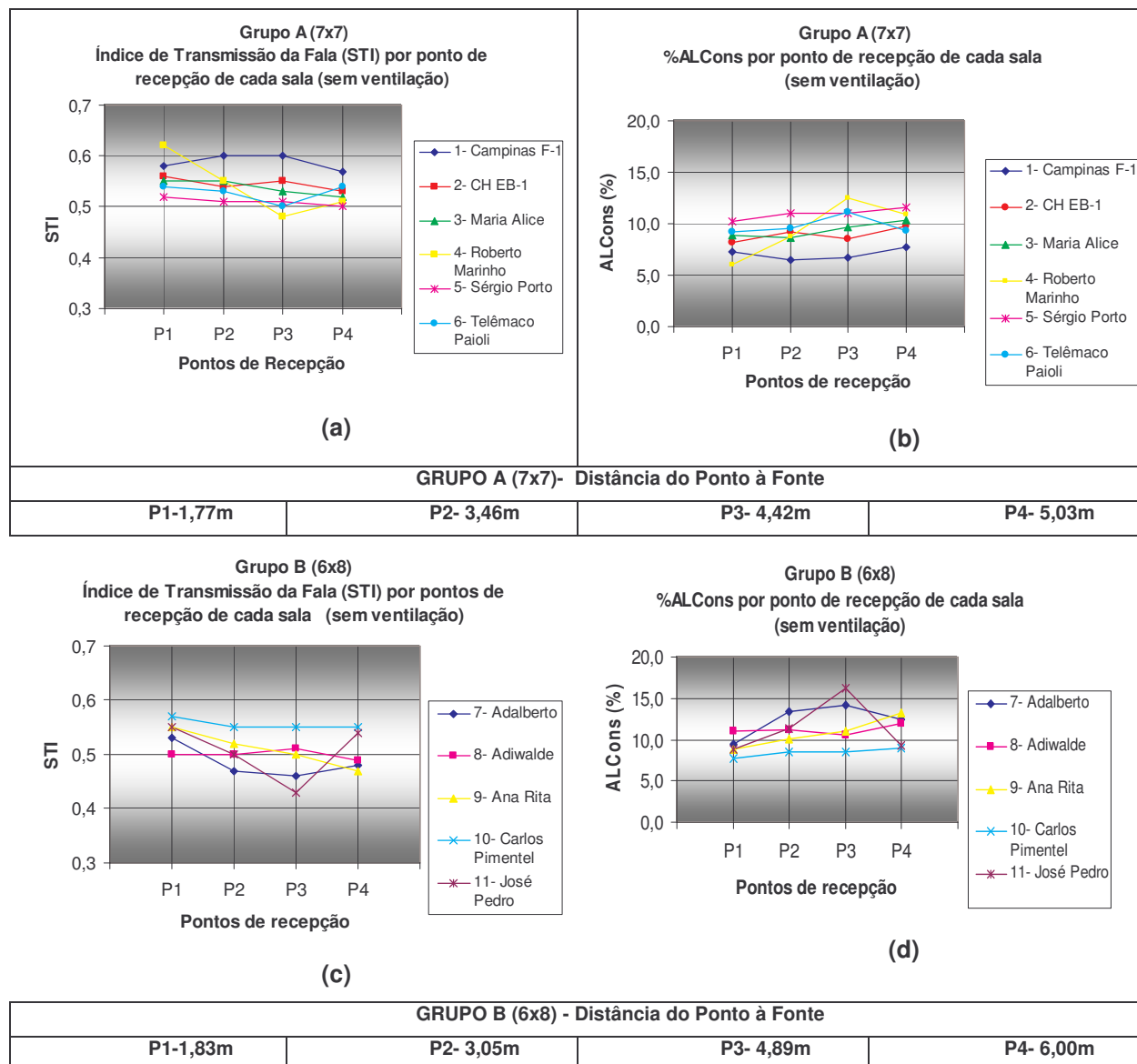


GRÁFICO 6.7: Valores do STI e %ALCons por Grupos de salas, na condição sem a ventilação mecânica. Grupo A: (a) STI e (b) %ALCons; Grupo B: (c) STI e (d) %ALCons; (CONT...)

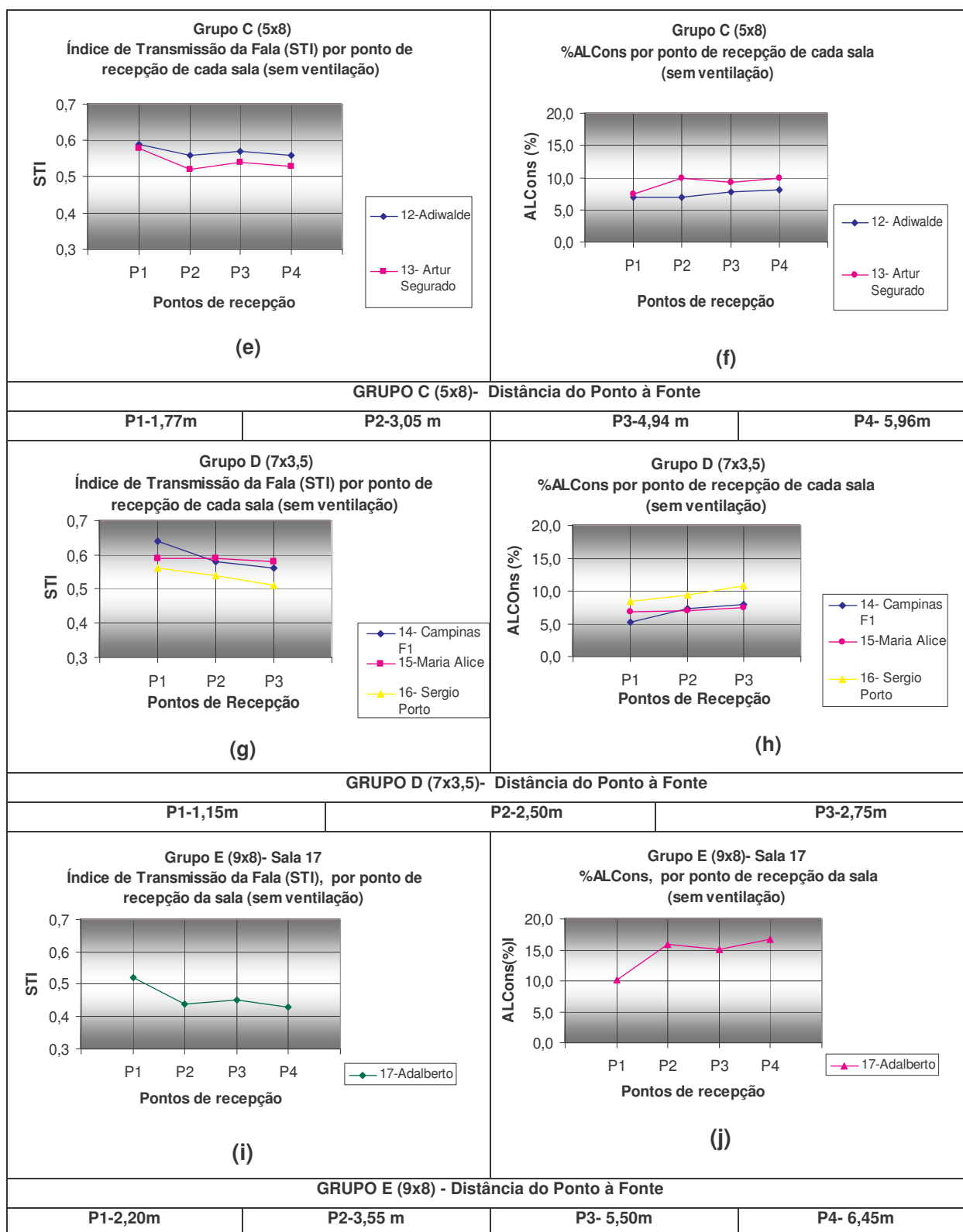


GRÁFICO 6.7 (CONT.): Valores do STI e %ALCons por Grupos de salas, na condição sem a ventilação mecânica. Grupo C: (e) STI e (f)%ALCons; Grupo D: (g) STI e (h) %ALCons; e, Grupo E: (i) STI e (j) %ALCons.

6.6.2 STI e %ALCons para as salas com o acionamento da ventilação mecânica

As medições do nível de pressão sonora ou ruído de fundo ambiental interno foram efetuadas para verificar o quanto a inteligibilidade é influenciada pela ventilação, ou seja, o que ocorre com os índices STI e %ALCons, quando os ventiladores da sala estão em funcionamento. Mas cada sala corresponde a um caso, pois, cada equipamento de ventilação possui uma especificação própria. Há ainda salas que não possuem o equipamento de ventilação. A locação dos ventiladores também difere de uma sala para outra. Portanto, nesta condição de uso, torna-se inviável a classificação da sala e conseqüentemente a comparação entre salas do mesmo grupo e/ou entre os grupos de salas. No entanto, cabe destacar os resultados mais relevantes de cada sala.

Os resultados do STI e da %ALCons, com a influência da ventilação mecânica, estão apresentados nas Tabelas 6.10 a 6.14, onde as linhas sem valores correspondem às salas que não possuem ventilação mecânica. O Gráfico 6.8 foi elaborado para representar graficamente os resultados do STI e %ALCons, subdividido por Grupos de salas.

Tabela 6.10 - STI e %ALCons por salas do Grupo A, em cada ponto de recepção (com ventilação mecânica).

Grupo (7x7) Escola (altura, em m)	Índice acústico (c/vent.)	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte, em m)			
		P1 (1,77m)	P2 (3,46m)	P3 (4,42m)	P4 (5,04m)
1- Campinas F-1 (3,13)	STI	0,49 (razoável)	0,54 (razoável)	0,57(razoável)	0,53 (razoável)
	%ALCons	12,2%	8,9%	7,6%	9,6%
2- CH EB-1 (3,00)	STI	---	---	---	---
	%ALCons	---	---	---	---
3- Maria Alice (3,20)	STI	0,44(pobre)	0,49(razoável)	0,47(razoável)	0,45 (pobre)
	%ALCons	15,9%	11,8%	13,3%	15,0%
4- Roberto Marinho (2,92)	STI	---	---	---	---
	%ALCons	---	---	---	---
5- Sérgio Porto (2,93)	STI	0,50 (razoável)	0,49 (razoável)	0,46 (razoável)	0,38 (pobre)
	%ALCons	11,2%	12,0%	14,1%	21,3%
6- Telêmaco Paioli (3,00)	STI	0,53(razoável)	0,52 (razoável)	0,49 (razoável)	0,49 (razoável)
	%ALCons	9,9%	10,3%	12,0%	11,7%

No Grupo A, entre as salas que possuem ventilador (instalado na parede ou no teto) a que mais sofreu influência do ruído gerado pelo equipamento ligado foi a Sala 3 (Escola Maria Alice- altura de 3,20m). A Sala 1 (altura de 3,13m), mesmo com a influência do ventilador ainda apresenta melhor STI. Estes valores estão apresentados na Tabela 6.10.

No Grupo B, a sala que mais sofreu influência do ruído gerado pelo equipamento ligado foi a Sala 9 (Escola Ana Rita- altura média de 3,10m). A Sala 10 (altura de 2,94m), mesmo com a influência do ventilador ainda apresenta melhores valores do STI. A Tabela 6.11 mostra os valores do STI e da %ALCons para as salas do Grupo B.

Tabela 6.11- STI e %ALCons por salas do Grupo B, em cada ponto de recepção (com ventilação mecânica).

Grupo B (6x8)	Sala-Escola (altura, em m)	Índice acústico (c/vent.)	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte, em m)			
			P1 (1,83m)	P2 (3,05m)	P3 (4,89m)	P4 (6,00m)
7- Adalberto (3,50)		STI	0,43 (pobre)	0,38 (pobre)	0,40 (pobre)	0,40 (pobre)
		%ALCons	16,4	21,6	19,5	20,0
8- Adiwalde (3,90)		STI	0,33 (pobre)	0,37 (pobre)	0,36 (pobre)	0,35 (pobre)
		%ALCons	28,0	22,7	24,5	26,1
9- Ana Rita (3,10)		STI	0,30 (ruim)	0,35 (pobre)	0,27 (ruim)	0,25 (ruim)
		%ALCons	33,8	25,2	38,6	43,1
10- Carlos Pimentel (2,94)		STI	0,42 (pobre)	0,45 (pobre)	0,36 (pobre)	0,44 (pobre)
		%ALCons	17,7	14,8	24,2	15,8
11- José Pedro (3,50)		STI	0,49 (razoável)	0,41 (pobre)	0,26 (ruim)	0,46 (razoável)
		%ALCons	12,3	18,3	23,8	14,4

No Grupo C, a sala que mais sofreu influência do ruído gerado pela ventilação mecânica foi a sala 13 (altura de 3,50m). A Sala 12 (maior altura de 3,65m), que, mesmo com a influência do ventilador ainda apresenta melhores valores do STI, conforme mostram os resultados da Tabela 6.12.

Tabela 6.12 - STI e %ALCons por salas do Grupo C, em cada ponto de recepção (com ventilação mecânica).

Grupo C (5x8m) Escola (altura, em m)	Índice acústico (c/vent.)	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte, em m)			
		P1 (1,77m)	P2 (3,05m)	P3 (4,94m)	P4 (5,96m)
12- Adiwalde (3,65)	STI	0,41 (pobre)	0,44 (pobre)	0,48 (razoável)	0,45 (pobre)
	%ALCons	18,0	15,4	12,4	15,2
13-Artur Segurado (3,50)	STI	0,31 (pobre)	0,25 (ruim)	0,29 (ruim)	0,28 (ruim)
	%ALCons	31,7	43,4	34,8	37,6

Entre as Salas 15 e 16 do Grupo D, a que mais sofreu influência do ruído gerado pelo ventilador foi a Sala 16 (altura de 3,13m), onde o STI passa a ser classificado na escala como “pobre”. A Sala 15 (maior altura de 3,20m), mesmo com a influência do ventilador ainda apresenta escala predominantemente “razoável”, conforme os resultados apresentados na Tabela 6.13.

Tabela 6.13 - STI e %ALCons por salas do Grupo D, em cada ponto de recepção (com ventilação mecânica).

Grupo D (7x3,5) Sala-Escola (altura, em m)	Índice acústico (c/vent.)	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte, em m)		
		P1 (1,15m)	P2 (2,50m)	P3 (2,75m)
14- Campinas F1 (3,13)	STI	---	---	---
	%ALCons	---	---	---
15- Maria Alice (3,20)	STI	0,51 (razoável)	0,53 (razoável)	0,44 (pobre)
	%ALCons	10,5	9,9	15,8
16- Sérgio Porto (3,13)	STI	0,43 (pobre)	0,37 (pobre)	0,38 (pobre)
	%ALCons	16,7	22,4	21,3

Na Sala 17, única representante do Grupo E, quando os dois ventiladores entraram em funcionamento, os valores do STI sofreram uma redução de até 50% (no P1), conforme mostra a Tabela 6.14.

Tabela 6.14 - STI e %ALCons do Grupo E (Sala 17), em cada ponto de recepção (com ventilação mecânica).

Grupo E (9x8m)	Índice acústico (c/vent.)	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte, em m)			
		P1 (2,20m)	P2 (3,55m)	P3 (5,50m)	P4 (6,45m)
17- Adalberto (3,50)	STI	0,36 (pobre)	0,34 (pobre)	0,35 (pobre)	0,31 (pobre)
	%ALCons	24,0	27,6	26,3	32,6

A representação gráfica dos valores STI e respectivas %ALCons das salas, com os ventiladores em funcionamento está no Gráfico 6.8, que foi subdividido por Grupos de Salas.

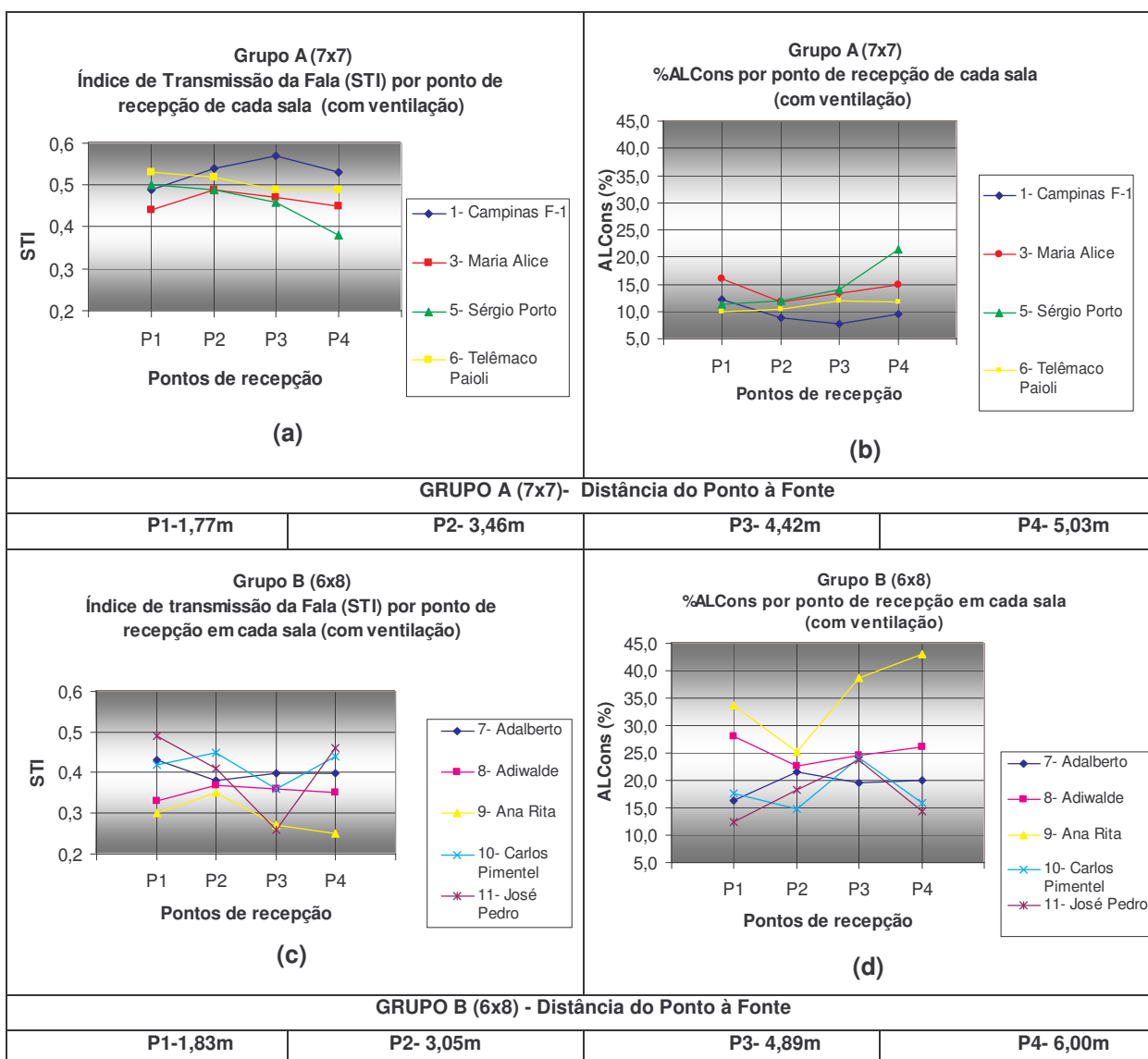


GRÁFICO 6.8: Valores do STI e %ALCons por Grupos de salas, na condição com a ventilação mecânica. Grupo A: (a) STI e (b) %ALCons; Grupo B: (c) STI e (d) %ALCons: (CONT...)

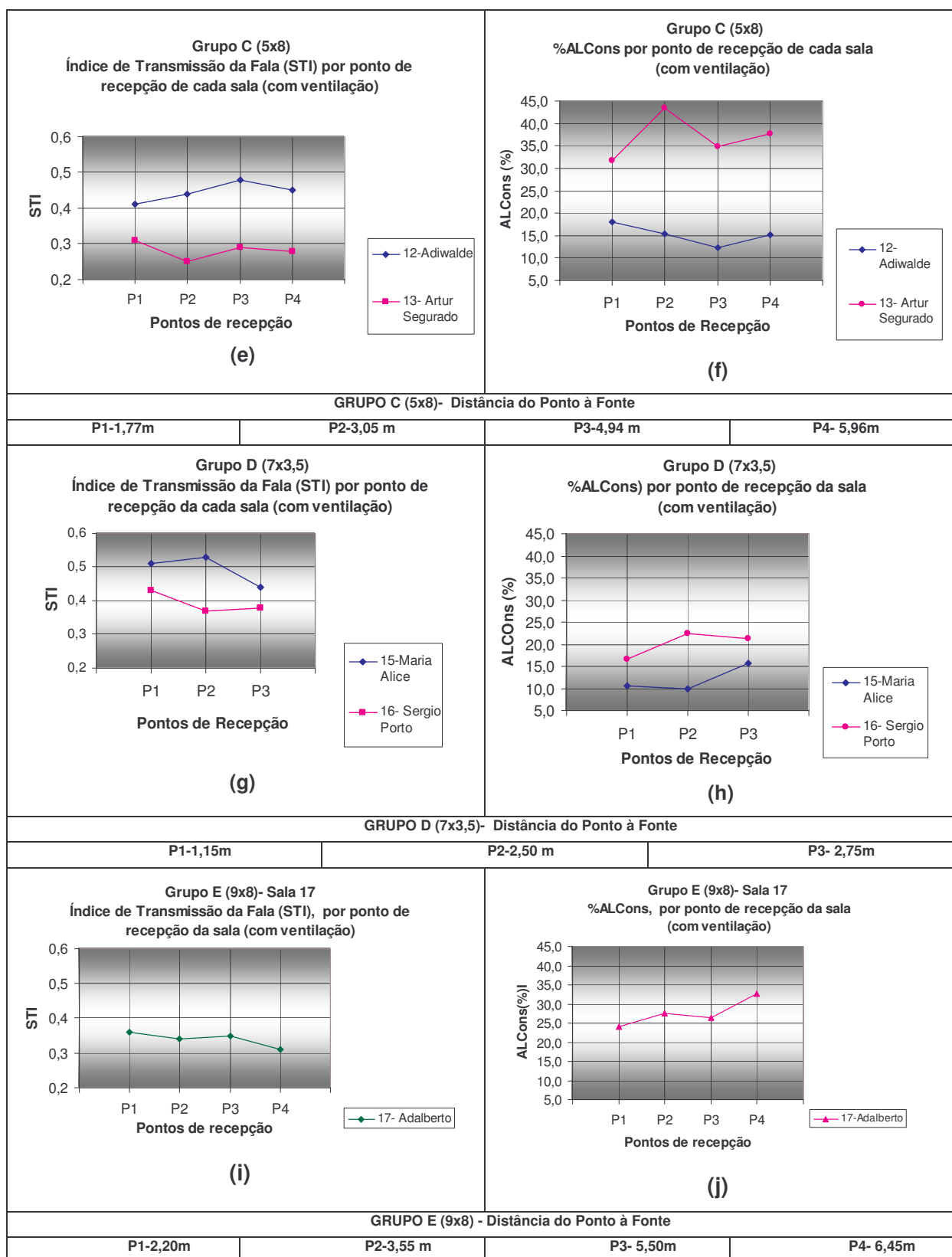


GRÁFICO 6.8 (CONT.): Valores do STI e %ALCons por Grupos de salas, na condição com a ventilação mecânica. Grupo C: (e) STI e (f) %ALCons; Grupo D: (g) STI e (h) %ALCons; Grupo E: (i) STI e (j) %ALCons.

Buscou-se verificar se o STI era influenciado pela posição dos ventiladores em relação à fonte sonora. Observou-se que os ventiladores fixados na parede sobre a lousa (portanto, próximos à fonte) influenciaram mais na diminuição do STI nas posições P1 e P2 das Salas 10 e 12 e, para os ventiladores fixados nas paredes opostas à lousa (fundo da sala), a diminuição do STI ocorreu nas posições P3 e P4 das Salas 3 e 5.

6.7 Resultados e análise da forma geométrica, segundo a escala de Bolt

O Diagrama de Bolt (1946 apud Everest, 2001) permite verificar se as proporções da forma da sala (largura, comprimento e altura) estão dentro de uma escala onde é a distribuição modal é considerada uniforme. É utilizado para avaliação de salas na região de baixas frequências, de 300Hz. Porém, ele só é aplicável em salas com o formato retangular (também denominadas de “*shoe boxes*”). No caso das salas do Grupo A, com dimensões em planta de 7,00x7,00m, ou seja, de formato quadrado, não há como realizar a análise pelo Diagrama de Bolt (1946).

No Grupo B, as Salas 7 e 11 (alturas de 3,50m) possuem as proporções de altura, largura e comprimento no limite, de acordo com escala do Diagrama de Bolt (1946). Somente a Sala com maior altura de 3,90m (Sala 8) está dentro da “Área de Bolt” no Diagrama. Para que as salas, com dimensões em planta de 6,0x8,0m, estejam na escala de proporção recomendada por Bolt, é necessário que ela seja projetada com altura ou pé-direito mínimo de 3,50m.

As duas salas do Grupo C possuem proporções de altura, largura e comprimento dentro da “Área de Bolt” no Diagrama. Para que as salas, com dimensões em planta de 5,0x8,0m, estejam na escala de proporção recomendada por Bolt, é necessário que ela seja projetada com altura ou pé-direito mínimo de 3,40m.

A Tabela 6.15 mostra os resultados das proporções obtidos para as salas retangulares, bem como a classificação quanto à escala de Bolt (1946 apud Everest, 2001).

Tabela 6.15 - Proporções das dimensões das salas para a análise da forma segundo escala do Diagrama de Bolt (1946 apud Everest, 2001).

Grupo de Sala	Sala (altura, em m)	Proporções			Está na escala de Bolt (1946)?
		Altura (1 unidade)	X	Y*	
A (7x7)	1- Campinas F1 (3,13)	1,00	2,25	2,25	NÃO
	2- CH- EB1 (3,00)	1,00	2,37	2,35	SE APLICA
	3- Maria Alice (3,20)	1,00	2,20	2,20	
	4- Roberto Marinho (2,92)	1,00	2,41	2,41	
	5- Sérgio Porto (2,93)	1,00	2,41	2,41	
	6- Telêmaco Paioli (3,00)	1,00	2,33	2,35	
B (6x8)	7- Adalberto (3,50)	1,00	1,71	2,29	NO LIMITE
	8- Adiwalde (3,90)	1,00	1,54	2,08	SIM
	9- Ana Rita (3,10)	1,00	1,94	2,61	NÃO
	10- Carlos Pimentel (2,94)	1,00	2,04	2,72	NÃO
	11- José Pedro (3,50)	1,00	1,71	2,29	NO LIMITE
C (5x8)	12- Adiwalde (3,65)	1,00	1,40	2,15	SIM
	13- Artur Segurado (3,50)	1,00	1,49	2,24	SIM
D (7x3,5)	14- Campinas F1 (3,13)	1,00	1,10	2,25	NÃO
	15- Maria Alice (3,20)	1,00	1,08	2,20	NÃO
	16- Sérgio Porto (3,13)	1,00	1,10	2,25	NÃO
E (8x9)	17- Adalberto (3,50)	1,00	1,71	2,57	NÃO

* Nota: para o Diagrama de Bolt, o valor de Y corresponde à maior dimensão em planta (EVEREST, 2001).

Todas as salas do Grupo D estão fora da “Área de Bolt” no Diagrama, isto é, não possuem as proporções “ideais” de altura, largura e comprimento, conforme recomendadas por Bolt (1946). O mesmo ocorre com a Sala 17 (grupo E).

A Figura 6.1 apresenta o Diagrama de Bolt com a locação dos pontos para todos os Grupos de salas retangulares.

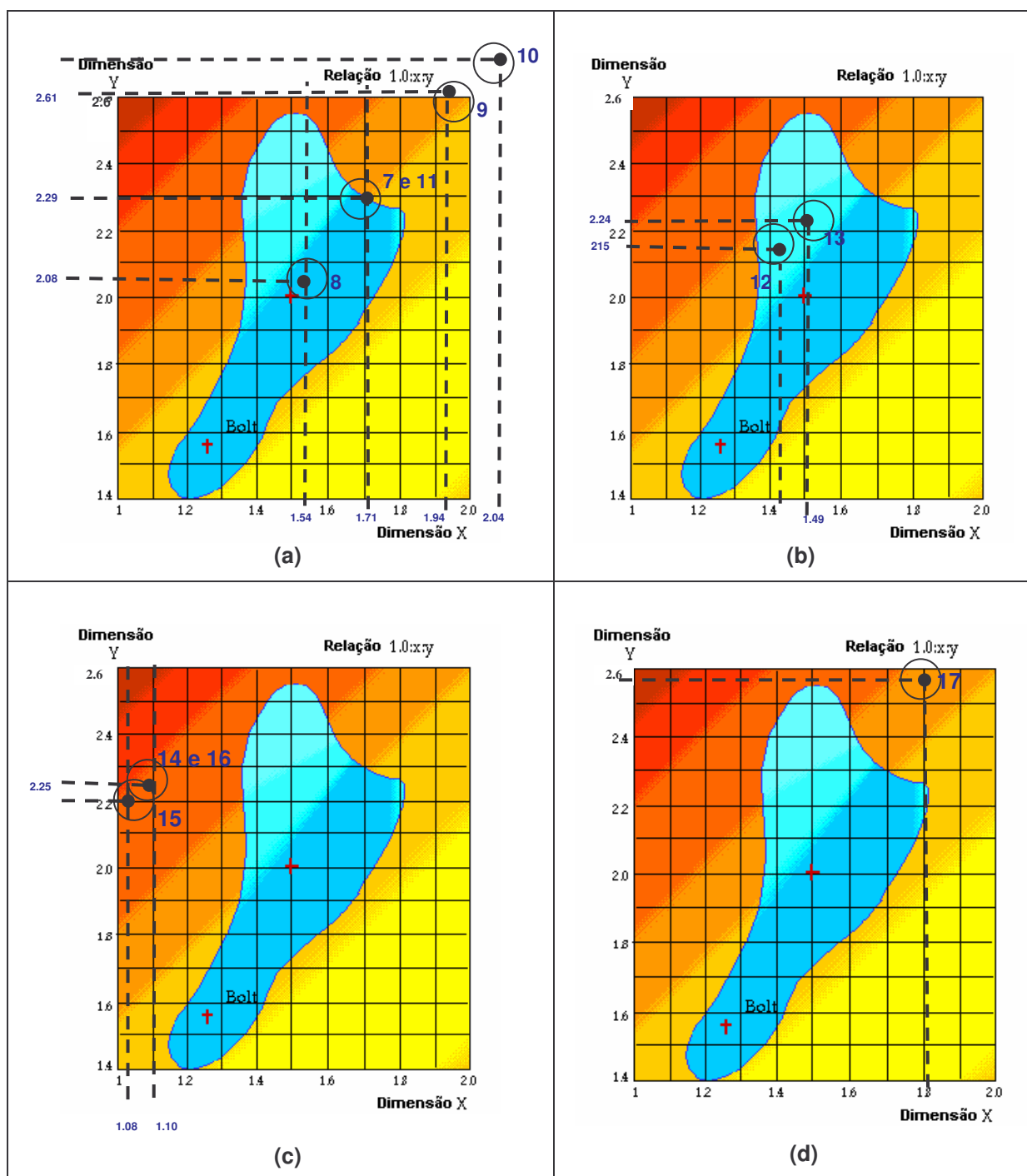


Figura 6.1: Locação das proporções das dimensões das salas no Diagrama de Bolt. Em (a): o Grupo B; em (b), o Grupo C; em (c), o Grupo D; em (d), o Grupo E.

6.8 Resumo dos resultados dos parâmetros acústicos e arquitetônicos

Para melhor visualização do comportamento acústico dos parâmetros juntamente com as características arquitetônicas da sala, os dados foram compilados e estão apresentados na Tabela 6.16.

O Nível de Pressão Sonora ambiental ou ruído de fundo (L_{Aeq}) está apresentado nas 3 condições de medição: interno à sala e com a ventilação mecânica; interno à sala e sem a ventilação mecânica e externo à escola. Os parâmetros acústicos: Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}) estão representados por valores da média espacial, nas frequências de 500, 1000 e 2000Hz, para as quais se deu ênfase na análise. Os valores do Índice de Transmissão da Fala (STI) e respectiva Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) estão apresentados para os pontos mais distantes da fonte (teoricamente mais desfavoráveis para a acústica da sala) e em torno de 6,00m para todos os Grupos das salas, exceto para o Grupo D (2,75m de distância máxima da fonte).

Em todas as salas, as medições foram efetuadas nas condições mais semelhantes possíveis. Foram consideradas como características semelhantes os elementos construtivos, móveis e demais utensílios encontrados nas salas, especificados como seguem:

- a) Paredes:** de alvenaria de tijolos ou blocos de concreto, com espessura de aproximadamente 15cm e acabamento liso, do tipo tinta sobre massa ou reboco liso ou concreto aparente, desde que a textura final seja semelhante;
- b) Estruturas:** do tipo pré-fabricadas ou convencionais em concreto armado;
- c) Piso:** do tipo argamassa de alta resistência (granilite ou “korodur”), cimento queimado liso; pedra ardósia polida, ou cerâmico;
- d) Teto:** laje em concreto armado (pré-fabricada ou não), com acabamento liso;

e) Mobiliário padronizado: as salas dos Grupos A, B, C e E contêm 35 conjuntos de carteiras/cadeiras padronizadas em estrutura metálica, com tampos e assentos em madeira e um conjunto de mesa/cadeira para professor. As salas do Grupo D contêm 16 conjuntos de carteiras/cadeiras padronizadas e um conjunto de mesa/cadeira para professor;

f) Portas: com dimensões de 0,80 a 0,90cm de largura e 2,10 a 2,50m de altura, em madeira (não maciças), e com espessura de 3,0 a 3,5cm;

g) Janelas: com dimensões que ocupam toda a parede oposta à porta, em estrutura metálica e vidraçaria comum;

h) Outras aberturas: elementos vazados (blocos cerâmicos do tipo “cobogós”; blocos de concreto) ou janelas do tipo basculante com vidraçaria comum; locados ao longo da parede sobre as portas;

i) Iluminação artificial: constituída de 4 ou 6 luminárias do tipo calhas metálicas, com lâmpadas fluorescentes.

As características encontradas nas salas que estão fora destas especificações, tais como ventiladores, cortinas nas janelas, carteiras/ cadeiras fora dos padrões, armários e elementos construtivos diferenciados (pisos, paredes e outras aberturas), foram classificadas como “diferenciadas”, e estão destacadas na **Tabela 6.16**. As características de cada sala estão apresentadas com mais detalhes nos **Apêndices**.

TABELA 6.16: Resumo dos resultados dos parâmetros acústicos e arquitetônicos.

Grupo de Sala	N.º Sala (altura, em m)	Parâmetros acústicos													Parâmetros arquitetônicos	
		L _{Aeq} [dB(A)]			TR [s] (desvio-padrão)			EDT [s] (desvio-padrão)			D ₅₀ (desvio-padrão)			STI (classificação)	Está na escala do Diagrama de Bolt? (1946)	Características diferenciadas encontradas na sala
														%ALCons		
														Ponto mais distante da fonte ⁽⁴⁾		
		(1)	(2)	(3)	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0			
A (7x7)	1 (3,13)	45,8	63,1	57,1	0,99 (0,02)	0,91 (0,01)	0,88 (0,02)	0,91 (0,08)	0,86 (0,02)	0,79 (0,04)	0,56 (0,09)	0,61 (0,05)	0,60 (0,08)	0,57 (razoável) 7,7	NSA ⁽⁵⁾	-Cortinas de tecido (esp. média). - Ventilador de parede sobre a lousa.
	2 (3,00)	45,8	----	55,8	1,34 (0,03)	1,41 (0,04)	1,32 (0,01)	1,28 (0,03)	1,44 (0,03)	1,37 (0,03)	0,42 (0,09)	0,40 (0,03)	0,41 (0,03)	0,53 (razoável) 9,8	NSA ⁽⁵⁾	-Cortinas de tecido - 2 armários de madeira. - Não tem ventilador
	3 (3,20)	42,6	54,5	57,5	1,54 (0,04)	1,48 (0,03)	1,37 (0,02)	1,56 (0,06)	1,42 (0,04)	1,37 (0,05)	0,36 (0,06)	0,40 (0,04)	0,40 (0,06)	0,52 (razoável) 10,3	NSA ⁽⁵⁾	- Cortinas de tecido - 3 armários de aço. - Ventilador de parede oposta à lousa.
	4 (2,92)	43,0	----	62,2	1,91 (0,04)	2,10 (0,07)	1,88 (0,08)	1,80 (0,06)	2,13 (0,08)	1,87 (0,07)	0,38 (0,05)	0,30 (0,05)	0,32 (0,05)	0,51 (razoável) 10,9	NSA ⁽⁵⁾	- Não tem cortinas. - Não tem ventilador.
	5 (2,93)	39,8	57,0	55,8	1,88 (0,06)	2,00 (0,06)	1,79 (0,04)	1,93 (0,11)	1,98 (0,07)	1,65 (0,09)	0,32 (0,04)	0,33 (0,06)	0,34 (0,02)	0,50 (razoável) 11,6	NSA ⁽⁵⁾	- Não em cortinas- - 2 armários de madeira, 1 de aço. - Ventilador de parede oposta à lousa
	6 (3,00)	42,2	60,5	55,0	1,58 (0,06)	1,76 (0,08)	1,71 (0,08)	1,55 (0,11)	1,76 (0,05)	1,65 (0,07)	0,38 (0,02)	0,34 (0,05)	0,34 (0,03)	0,54 (razoável) 9,3	NSA ⁽⁵⁾	- Não tem cortinas. - Ventilador de teto

Notas: (1): L_{Aeq} [dB(A)]: interno sem ventilação mecânica;
 (2): L_{Aeq} [dB(A)]: interno com ventilação mecânica;
 (3): L_{Aeq} [dB(A)]: externo à escola;

(4): Grupo A: P4 (5,04m); Grupo B: P4 (6,00m);
 Grupo C: P4 (5,96m); Grupo D: P3 (2,75m);
 Grupo E: P4 (6,45m).

(5): NSA: não se aplica.

TABELA 6.16 (Cont...): Resumo dos resultados dos parâmetros acústicos e arquitetônicos.

Grupo de Sala	N.º Sala (altura, em m)	Parâmetros acústicos													Parâmetros arquitetônicos	
		L _{Aeq} [dB(A)]			TR [s] (desvio-padrão)			EDT [s] (desvio-padrão)			D ₅₀ (desvio-padrão)			STI (classificação)	Está na escala do Diagrama de Bolt? (1946)	Características diferenciadas encontradas na sala
														%ALCons		
		(1)	(2)	(3)	Frequência (KHz)			Frequência (KHz)			Frequência (KHz)			Ponto mais distante da fonte ⁽⁴⁾		
B (6x8)	7 (3,50)	43,0	63,0	52,6	2,11 (0,09)	2,09 (0,04)	1,85 (0,02)	1,95 (0,08)	2,07 (0,13)	1,91 (0,08)	0,37 (0,05)	0,36 (0,03)	0,36 (0,09)	0,48 (razoável) 12,5	NO LIMITE	- Não tem cortinas. - Ventilador de teto.
	8 (3,90)	42,5	62,0	57,5	1,76 (0,04)	2,17 (0,06)	2,04 (0,03)	1,62 (0,11)	2,02 (0,04)	2,01 (0,04)	0,39 (0,06)	0,35 (0,05)	0,30 (0,04)	0,49 (razoável) 11,9	SIM	- Piso de tábuas de madeir. - Paredes espessas. - Não tem cortinas. - 2 Ventiladores de teto.
	9 (3,10)	43,0	62,0	58,8	1,46 (0,05)	1,35 (0,03)	1,26 (0,01)	1,38 (0,14)	1,34 (0,06)	1,26 (0,02)	0,42 (0,11)	0,44 (0,09)	0,43 (0,10)	0,47 (razoável) 13,3	NÃO	- Cortinas de tecido. - Carteiras/cadeiras em fibra de vidro. - 2 ventiladores de teto.
	10 (2,94)	42,6	60,3	53,2	1,14 (0,03)	1,14 (0,05)	1,04 (0,03)	1,28 (0,18)	1,16 (0,06)	1,02 (0,05)	0,50 (0,06)	0,48 (0,04)	0,51 (0,06)	0,55 (razoável) 8,9	NÃO	- Cortinas de tecido espesso. - 1 armário de aço. - Ventilador de parede sobre a lousa.
	11 (3,50)	45,8	59,5	69,3	1,16 (0,04)	1,13 (0,04)	1,14 (0,01)	1,12 (0,11)	1,12 (0,01)	0,98 (0,02)	0,46 (0,07)	0,50 (0,03)	0,56 (0,04)	0,54 (razoável) 9,3	NO LIMITE	- Cortinas de tecido (esp.média). - Não tem abertura sobre a porta. - 4 armários de o. - Ventilador de teto.

Notas: (1): L_{Aeq} [dB(A)]: interno sem ventilação mecânica;
(2): L_{Aeq} [dB(A)]: interno com ventilação mecânica;
(3): L_{Aeq} [dB(A)]: externo à escola;

(4): Grupo A: P4 (5,04m); Grupo B: P4 (6,00m);
Grupo C: P4 (5,96m); Grupo D: P3 (2,75m);
Grupo E: P4 (6,45m).

TABELA 6.16 (Cont...): Resumo dos resultados dos parâmetros acústicos e arquitetônicos.

Grupo de Sala	N.º Sala (altura, em m)	Parâmetros acústicos													Parâmetros arquitetônicos	
		L _{Aeq} [dB(A)]			TR [s] (desvio-padrão)			EDT [s] (desvio-padrão)			D ₅₀ (desvio-padrão)			STI (classificação)	Está na escala do Diagrama de Bolt? (1946)	Características diferenciadas encontradas na sala
														%ALCons		
					Frequência (KHz)			Frequência (KHz)			Frequência (KHz)			Ponto mais distante da fonte ⁽⁴⁾		
(1)	(2)	(3)	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0					
C (5x8)	12 (3,65)	43,8	61,0	57,1	1,11 (0,01)	1,30 (0,02)	1,12 (0,02)	1,14 (0,12)	1,35 (0,01)	1,08 (0,03)	0,46 (0,04)	0,40 (0,04)	0,46 (0,04)	0,56 (razoável)	SIM	-Piso de tábuas de madeira. -Paredes espessas. -Não tem cortinas -3 armários de aço -Não tem abertura sobre a porta. -Ventilador de parede sobre a lousa.
														8,1		
	13 (3,50)	39,8	60,3	67,1	1,41 (0,09)	1,21 (0,04)	1,03 (0,02)	1,39 (0,13)	1,24 (0,04)	1,02 (0,03)	0,42 (0,15)	0,42 (0,05)	0,51 (0,10)	0,53 (razoável)	SIM	-Piso de tábuas de madeira. -Paredes espessas. -Não tem cortinas -4 armários de aço -Não tem abertura sobre a porta. -2 ventiladores de teto.
														9,9		
D (7x3,5)	14 (3,13)	44,7	-----	57,1	1,27 (0,08)	1,02 (0,03)	0,97 (0,03)	1,18 (0,16)	1,02 (0,05)	0,99 (0,06)	0,49 (0,05)	0,51 (0,02)	0,53 (0,03)	0,56 (razoável)	NÃO	-Cortinas de tecido. -Não tem ventilador.
														8,0		
	15 (3,20)	42,3	54,7	57,5	1,09 (0,02)	0,94 (0,04)	0,89 (0,01)	1,06 (0,15)	0,93 (0,04)	0,89 (0,04)	0,55 (0,06)	0,53 (0,06)	0,53 (0,04)	0,58 (razoável)	NÃO	-Cortinas de tecido. -1 armários de aço, 1 de madeira. -Cortinas de tecido. -Ventilador de teto.
														7,4		
	16 (3,13)	40,3	58,3	55,8	1,54 (0,07)	1,43 (0,03)	1,23 (0,06)	1,51 (0,09)	1,42 (0,09)	1,27 (0,09)	0,37 (0,04)	0,40 (0,02)	0,46 (0,05)	0,51 (razoável)	NÃO	-Não tem cortinas. -1 armário de aço. -Ventilador de teto.
														10,8		
E (9x8)	17 (3,50)	44,8	60,5	59,6	2,47 (0,10)	2,49 (0,05)	2,30 (0,01)	2,34 (0,09)	2,47 (0,11)	2,28 (0,09)	0,29 (0,06)	0,27 (0,04)	0,30 (0,03)	0,43 (pobre)	NÃO	-2 janelas opostas ao longo das paredes. -Não tem cortinas. -2 ventiladores de teto.
														16,7		

Notas: (1): L_{Aeq} [dB(A)]: interno sem ventilação mecânica;
 (2): L_{Aeq} [dB(A)]: interno com ventilação mecânica;
 (3): L_{Aeq} [dB(A)]: externo à escola;
 (4): Grupo A: P4 (5,04m); Grupo B: P4 (6,00m);
 Grupo C: P4 (5,96m); Grupo D: P3 (2,75m);
 Grupo E: P4 (6,45m).

7 CONCLUSÕES

A rede pública estadual de ensino paulista possui salas de aula padronizadas com formas geométricas predominantes do tipo quadrado e retangular. As salas com formas do tipo quadrado apresentam dimensões em planta (largura e comprimento) de 7,00x7,00m ($\pm 0,10$ m) e as do tipo retangular apresentam dimensões de 6,00x8,00m ($\pm 0,10$ m). Foram encontradas algumas salas com dimensões de 5,00x8,00m ($\pm 0,10$ m) e 9,00x8,00m. A configuração de sala do tipo 5,00x8,00m não é mais viável, pois observou-se que a área é insuficiente para a distribuição dos 35 conjuntos de carteiras/cadeiras por sala, estabelecidos por legislação estadual para atender aos alunos do ensino fundamental e compromete o conforto funcional. A padronização atual das escolas determina modulações constituídas de materiais pré-fabricados e especifica as áreas úteis para as áreas pedagógicas. A altura nem sempre foi uma dimensão padronizada, mas observa-se em alguns momentos da história da arquitetura escolar, a preocupação com valores mínimos para garantir conforto, higiene e salubridade, como a renovação do ar. Atualmente a altura (ou pé-direito) das salas fica a critério do projetista, com algumas ressalvas da legislação local (na cidade de Campinas, o pé-direito mínimo é de 2,50m, para edificações destinadas à educação).

Outra forma geométrica padrão de salas de aula retangulares encontradas são as de dimensões 7,00x3,50m ($\pm 0,05$ m). Estas são salas projetadas para atender alunos dos primeiros anos de escola ou que necessitam de aulas de reforço e, apesar de não representarem um número significativo, não são menos importantes (acusticamente) que as demais. Na prática, muitas destas salas apresentam desvio de função (copa, depósito de materiais). Por isso, o programa arquitetônico deve ser revisto pelo poder público em conjunto com as coordenações pedagógicas. A ausência de sanitários projetados no mesmo pavimento que as salas de aula também contribui para o aumento da circulação dos alunos pelas áreas da escola e, conseqüentemente, para a elevação do ruído gerado.

Dentro de cada configuração, as salas apresentaram diferentes desempenhos acústicos. Pelo fato de existir uma grande variedade de fatores que interferem na acústica da sala, foi possível identificar algumas tendências de comportamento acústico por configuração geométrica.

Com as escolas desocupadas e sem influência da ventilação mecânica, os valores dos níveis de pressão sonora ambiental (L_{Aeq}) das salas de aula estão na faixa de 39,8 a 45,8dB(A) e dentro dos valores recomendados pela norma brasileira NBR 10152 (ABNT, 1987), que são de 40 a 50dB(A). Com a ventilação mecânica os valores dos níveis de pressão sonora ambiental (L_{Aeq}) se elevam em aproximadamente 15dB(A). Este resultado demonstra que os equipamentos de ventilação empregados são ruidosos, merecendo cuidados na especificação técnica na aquisição do equipamento, bem como há necessidade de garantir as manutenções periódicas que evitam o aumento do nível de ruído gerado.

As salas de aula avaliadas apresentaram tempo de reverberação (TR) entre 1,0 e 2,5s para as frequências de 500, 1000 e 2000Hz, portanto, superior aos valores recomendados pela norma internacional ANSI S12.60 (2002). Todas as salas avaliadas necessitam de adequação acústica quanto ao TR.

Entres as salas de um mesmo grupo há variação nos valores do TR devido às diferenças de altura (portanto, de volume) e dos materiais contidos nas salas. Verificou-se uma tendência para melhor desempenho do TR para as seguintes formas: salas com configurações 7,0x7,0m, com altura entre 3,00 e 3,20m; salas com configurações 6,0x8,0m, com alturas de até 3,50m e salas com configurações 5,0x8,0m, com alturas de até 3,65m.

Entre as duas configurações geométricas mais usuais, tanto no Grupo A (7x7) como no Grupo B (6x8), foram encontradas salas de aula com valores de TR (entre 1,0 e 1,5s) mais próximos dos recomendados, para a frequência de 1000Hz. Numa simulação numérica, na condição de sala ocupada com 35 alunos sentados, há diminuição nos valores do TR e as salas passam a necessitar de materiais de correção acústica com coeficientes de absorção (α) na ordem de 0,35 (salas do Grupo A) e de 0,28 (salas do Grupo B). Isto significa que salas 6,0x8,0m tendem a necessitar de adequação acústica com materiais de menor absorção. Mas não foi possível identificar uma relação direta entre TR e a forma geométrica em planta.

Os valores de tempo do decaimento inicial (EDT) encontrados são próximos aos valores do TR para a mesma sala, o que é favorável para acústica. Bradley (1986b) recomenda o valor de EDT de 0,5s, na frequência de 1000Hz. Nenhuma sala apresentou este valor de EDT. Também não foi possível identificar qual (is) parâmetro (s) arquitetônico (s) da sala é (são) responsável (is) pelo desempenho do EDT.

O parâmetro Definição (D_{50}) apresentou desempenho mediano para as salas de diferentes grupos, exceto a Sala 17 do Grupo E (9x8), a qual, inclusive, apresentou os piores resultados para todos os parâmetros acústicos avaliados. A melhoria deste parâmetro está diretamente associada à correção do TR.

O índice de transmissão da fala (STI) depende do nível de pressão sonora ambiental (L_{Aeq}) e do tempo de reverberação da sala (TR). Na condição da escola toda estar desocupada, isto é, sujeita a níveis menores de L_{Aeq} internos e externos e sem a ventilação mecânica, os valores de STI encontrados foram na faixa de 0,43 a 0,60, dentro da escala de classificação predominantemente “razoável”. Entre os pontos de uma mesma sala, os valores do STI variaram pouco onde o comprimento máximo entre fonte e ponto de recepção avaliado foi de 6,0m. Entre as salas, o parâmetro que mais influenciou a variação do STI foi o TR. O L_{Aeq} interno das salas [39,8 a 45,8dB(A)] não representou influência considerável nos valores do STI. Com a influência da ventilação mecânica o STI foi reduzido para a faixa de 0,25 a 0,53, modificando a escala de classificação para predominantemente “pobre”.

A ocupação da sala aumenta a absorção, reduzindo o TR, conseqüentemente aumenta o STI. Por outro lado, com a escola em funcionamento, haverá uma elevação do ruído de fundo ambiental, devido principalmente aos elementos vazados voltados para o corredor de circulação e das janelas abertas, prejudicando o STI. O ruído de fundo da sala em funcionamento pode ser comparável com o ruído ambiental da sala com a ventilação mecânica. Portanto, é provável que o STI sofra a redução proporcional na condição de ocupação das salas.

O Diagrama de Bolt é um procedimento que permite identificar a relação entre a dimensão da sala retangular que propicia a distribuição modal adequada. As salas quadradas são desaconselhadas para comportamentos sonoros de baixa frequência.

Na análise da forma segundo o Diagrama de Bolt, para as salas estarem situadas na “Área de Bolt”, as salas do Grupo B, com dimensões em planta de 6,00x8,00m ($\pm 0,10$ m) devem ter altura mínima de 3,50m, e as salas do Grupo C, com dimensões em planta de 5,0x8,0m ($\pm 0,10$ m) devem ter altura mínima de 3,40m. Demais dimensões em planta estudadas não estão contidas na “Área de Bolt”.

Os resultados obtidos neste trabalho apresentaram tendências dos comportamentos acústicos das salas de aula com relação às formas geométricas padronizadas encontradas nas escolas públicas estaduais de Campinas. Não foi possível classificar uma forma geométrica como mais ou menos favorável à acústica da sala, porém, a forma geométrica retangular (6,0x8,0m) apresentou resultados que indicam a necessidade de menor adequação acústica, quanto ao TR, em relação às demais salas avaliadas. Como TR influencia os parâmetros acústicos (EDT, D_{50} , STI e conseqüentemente a %ALCons) considera-se que a forma em planta do tipo 6,0x8,0m tenha maior probabilidade de qualidade acústica do que as outras formas avaliadas. Assim sendo, é importante que ocorra uma revisão do uso da forma quadrada padronizada para as salas de aula paulistas, proposto atualmente pela FDE.

Os impactos dos níveis de ruído ambiental elevados devem ser minimizados com o planejamento da implantação e da tipologia arquitetônica das edificações escolares, que são fatores determinantes do incômodo acústico nas salas de aula. A qualidade acústica também depende da geometria da sala de aula, portanto requer cuidado na definição da forma. O mobiliário e os materiais de acabamento padronizados para as salas de aula quando são de baixa absorção sonora contribuem para a elevada reverberação.

Recomenda-se para trabalhos futuros a aplicação da simulação acústica para buscar a relação direta entre a forma e as características acústicas das salas estudadas. Na simulação também será possível identificar qual o grau de importância dos fatores como: materiais de acabamento, mobiliário e equipamentos, em relação aos parâmetros acústicos estudados neste trabalho.

É necessário também investigar a influência do ruído ambiental gerado nas áreas externas às salas de aula. Na decisão do projeto de implantação da escola deve-se evitar situações que favoreçam a interferência do ruído ambiental externo, principalmente o de tráfego. A tipologia da escola, o programa arquitetônico, o fluxograma e as acessibilidades devem ser estudados de maneira que as áreas da administração, de recreação, de práticas esportivas e de acesso à comunidade não contribuam para o aumento de ruído indesejado nas áreas pedagógicas. As tipologias da verticalização e de integração dos ambientes da escola propostas pela FDE, onde a quadra de esportes foi projetada no piso imediatamente acima das salas de aula, ou no centro da edificação, representam uma situação de desconforto acústico, segundo seus usuários. Esta situação poderia ser evitada se houvesse estudo da acústica na concepção do projeto.

REFERÊNCIAS

AFFONSO, Cleide M. de L.; PINTO, Maria N. **Culto à Ciência: cento e treze anos à serviço da cultura**. Campinas: Gráfica Tecla Tipo Ltda., 1986.

AIREY, S. A survey of acoustical standards in UK classroom and their effect on pupils and teachers. **In:** Institute of Acoustics. **Proceedings...** Vol.20 , part. 4, 1998.

ALVARENGA, Benedito Sérgio Tavares de. **O uso da teoria do sistema nebuloso na avaliação da interpretação subjetiva de estímulos sonoros**. 2003. 63f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em:<<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000305142>>. Acesso em: 04 Abr. 2005.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. **ANSI S12.60:** acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools. Accredited Standards Committee S12, Noise. Standards Secretariat Acoustical Society of America, Melville, NY: American National Standards Institute, Inc, June 2002, 50p.

AMERICAN SPEECH AND HEARING ASSOCIATION- ASHA. **Guidelines for acoustics in educational environments**. American speech-Language and Hearing Association, 37, Suppl., 14, 1995. p.15-19.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 6023:** informação-documentação-referências-elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24p.

_____. **NBR 9050:** acessibilidade de pessoas portadoras de deficiências a edificação, espaço, mobiliário e equipamentos urbanos Rio de Janeiro, 2004. 97p.

_____. **NBR 10151:** avaliação de ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000. 4p.

_____. **NBR 10152:** níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987. 4p.

_____. **NBR 12179:** tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.9p.

BARILLI, Renato. **Arte Nouveau**. 1.ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

BASNETT, B. Room Acoustics for teleconferencing: Predictions and Measurements. **Audio Engineering Society** . 91st Convention. New York, p. 6, October 1991. Disponível (também) em: http://www.labc.usb.ve/EC4514/AUDIO/ACUSTICA_ARQUITECTONICA ou <http://www.aes.org/events>. Acesso em ago. 2006.

BENTLER, R. A. List equivalency and test-retest reliability of the speech in noise test. **America Journal Audiology**, v. 9, n. 2, p. 84-100, dec. 2000.

BERG, Richard E; STORK, David G. **The Physics of Sound**. 2.ed. Prentice Hall, 1995.

BERTOLI, Stelamaris R. A avaliação do conforto acústico de prédio escolar da rede pública: o caso de Campinas. **In: ENCONTRO NACIONAL DA TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENTAC. 6. ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 3. 2001. **Anais....** São Pedro, São Paulo, Brasil/ANTAC, nov.2001. 8p. 1CD-ROM.

BERTOLI, Stelamaris R. ; GOMES, Marcio H de A. **Técnicas de medição para acústica de salas**. Material didático para Curso de Extensão universitária. Campinas, 2005. Adaptado de: VORLÄNDER, Michael. Institut für Technische akustik, RWTH, Aachen, Germany.

BISTAFÁ, S. R. **Acoustics of small rooms**. **In: PAN- AMERICAN IBERIAN MEETING ON ACOUSTICS**, 1, 2002. Apresentação do trabalho. Cancun, Mexico, Dec, 2002. Disponível em: <http://www.poli.usp.br/p/sylvio.bistafa>>. Acesso em: 18 ago. 2005.

_____. **Acústica Arquitetônica: qualidade sonora em salas de audição crítica. Descrição detalhada. 2005.** Relatório científico do projeto de pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq: Politécnica da Universidade de São Paulo, USP. Disponível em:< [http:// www.poli.usp.br/p/sylvio.bistafa/ACUSARQ](http://www.poli.usp.br/p/sylvio.bistafa/ACUSARQ)>. Acesso em: 18 ago. 2005.

_____. **Acústica aplicada ao controle do ruído.** São Paulo: Edgard Blüncher, 2006. 368p.

BISTAFA et al. **PROJETO ACUSARQ- Acústica Arquitetônica: qualidade sonora em salas de audição crítica. 2005.** Disponível em:< [http://: www.poli.usp.br/p/sylvio.bistafa/ACUSARQ-
html](http://www.poli.usp.br/p/sylvio.bistafa/ACUSARQ.html)>. Acesso em: 18 ago. 2005.

BISTAFA, S. R.; BRADLEY, J. S. Reverberation time and maximum background-noise level for classroom from a comparative study of speech intelligibility metrics. **Journal of the Acoustical Society of America-JASA.** v. 107, ano 2, Set. 2000a p. 861-875,. Disponível em:<<http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=JASMAN000108000004001721000001&idtype=cvips&gifs=Yes>>. Acesso em: 18 ago. 2005.

_____. Predicting reverberation times in a simulated classroom. **Journal of the Acoustical Society of America- JASA**, Melville, NY, USA, v. 108, ano 4, p. 1721-1731, Oct. 2000b. Disponível em:<<http://scitation.aip.org/getabs/servlet/GetabsServlet?prog=normal&id=JASMAN000108000004001721000001&idtype=cvips&gifs=Yes>>. Acesso em: 18 ago. 2005.

BOLT, R.H. Note on the normal frequency statistics in rectangular rooms. **Journal of the Acoustical Society of America- JASA**, Melville, NY, USA, v. 18, p. 130-133, 1946.

BONDI, P.; PICCININNI, F.; STEFANIZZI, P. Acoustic performance of rectangular classrooms. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS-ICA, 17.th, Sep. 2001, Rome, Italy. **Proceedings...** Rome: University of Rome-La Sapienza, 2001, v.3, Session 5_05,2p. 4 CD-ROM.

BONER, C.P. Performance of broadcast studios designed with convex surfaces of plywood. **Journal Acoustic Society of America**, v.13, p. 244-24, 1942.

BOTTAZZINI, Marcelo C. Igrejas setecentistas mineiras: a influência das características arquitetônicas na qualidade acústica. 2007. 243p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2007.

BOUBEZARI, M. Why is comfort perceptible only when it misses? **In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION**, 11.th, 2004, Guimarães, Portugal. **Anais...** Guimarães, 2004. Paper ID: 171, 6p. 1CD-ROM.

BRADLEY, J.; REICH, R.; NORCROSS, S. On the combined effects of signal-to-noise ratio and room acoustics on speech intelligibility. **Journal of the Acoustical Society of America-JASA**, v.106, ano 4, p.1820-1828, 1999.

BRADLEY, J. Predictors of speech intelligibility in rooms. **Journal of the Acoustical Society of America-JASA**, Melville, NY, USA, v. 80, n.3, 1986a, p. 837-845. Disponível em: < <http://www.asa.aip.org>>. Acesso em: 18 ago. 2005.

_____. Speech Intelligibility studies in classrooms. **Journal of the Acoustical Society of America-JASA**, Melville, NY, USA, v. 80, n.3, 1986b, p. 846-854. Disponível em: < <http://www.asa.aip.org>>. Acesso em: 8 ago. 2005.

_____. Optimising Sound Quality for Classrooms. **In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC**, 20, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES- SIBRAMA, 2, 2002, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2002. **Palestra**. 15p. 1CD-ROM.

BRANDÃO, Carlos Antonio Leite (2006). **In: A crítica da forma na arquitetura**. Artigos eletrônicos da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG, 2006. Disponível em: <<http://www.arq.ufmg.br/ia/IA6online/criticadaformaCAC.htm>>. Acesso em: 10 julho de 2006.

BRITO CRUZ, José Armênio de; CARVALHO Lúcia (Ed.). **São Paulo 450 Anos: a escola e a cidade**. Projeto Pedagógico CEDAC. Secretaria Municipal de Educação. São Paulo: BEI, 2004. 34p. Acervo fotográfico do Instituto Moreira Salles. Disponível em: <<http://www.aprenda450anos.com.br/450anos/index.asp>>. Acesso em: Jul. 2006.

BRÜEL & KJAER. Architectural acoustics. 2ed. USA: Brüel & Kjaer, 1978. 170p.

BRÜEL & KJAER. **Technical Documentation**. DIRAC Room Acoustics Software. Type 7841. User Manual. Version 3.1, Oc. 2003. 115p.

BRÜEL & KJAER. **Aplication Note: measuring speech intelligibility using DIRAC- Type 7841**. In: CATÁLOGO TÉCNICO, Brüel & Kjaer Instruments, Chigago, Illinois, USA, 2005. Disponível em: <<http://www.acoustics-engineering.com/dirac/files/Bp1974.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2005.

BUFFA, Ester; ALMEIDA PINTO, Gelson de. **Arquitetura e Educação: organização e propostas pedagógicas dos grupos escolares paulistas, 1893/1971**. São Paulo: EdUFSCar- Editora da Universidade Federal de São Carlos, SP, 2002. 175p.

CARVALHO, Benjamin de A. **Acústica aplicada à arquitetura**. São Paulo: Freitas Bastos S.A., 1967. 101p.

CELIK, E.; KARABIBER, Z. A Pilot Study on the Ratio of Schools and Students Affected from Noise. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NOISE CONTROL FOR EDUCATIONAL BUILDINGS. **Proceedings...** Istanbul, Turquia, 2000.p. 1-12.

CHING, Francis D. K. **Arquitetura: forma, espaço e ordem**. São Paulo: Martins Fontes, 1999. 400p.

COMPANHIA DE CONSTRUÇÕES ESCOLARES DO ESTADO DE SÃO PAULO. CONESP. **Ambientes: especificações da edificação escolar de primeiro grau**. São Paulo: CONESP, 1985. 160p.

CORRÊA, Maria Elizabeth P.; NEVES, Helia M. V.; MELLO, Mirela G. de. **Arquitetura escolar paulista: 1890-1920**. São Paulo: FDE-Fundação para o Desenvolvimento da Escola, Diretoria de Obras e Serviços, 1991. 125p.

D' AZEVEDO, F.P.R. **Álbum de construções do escriptório [sic] técnico**, São Paulo (SP), 1897.

DEPARTAMENTO DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIA- DESc. **Acoustics in Educational Building**. Building Bulletin 51: Her Majesty's Stationery Office, London, UK, 1975.

DOCKRELL, J. TACHMATZIDIS, I.; SHIELD, B.; JEFFERY, R. Children's perceptions of noise in schools. In: : INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS-ICA, 17.th, Sep. 2001, Rome, Italy. **Proceedings....** Rome: University of Rome-La Sapienza, 2001, v.3, session 5_05, 2p. 4 CD-ROM.

DREOSSI, R. C. F.; MOMENSOHN-SANTOS, T. O Ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura. **Pró-Fono Revista de Atualização Científica**, Barueri (SP), v. 17, n. 2, p. 251-258, maio-ago. 2005.

DUARTE, Hélio de Q. Considerações sobre arquitetura e educação. **Acrópole**. São Paulo:, n. Acrópole, n. 210, p. 236-238, abr.1956.

EGAN, M. David. **Architectural Acoustics**. New York: McGraw-Hill, 1988. 411p.

ELLIOT, L. Effects of Noise on Perception of Speech by Children and Certain Handicapped Individuals. **Journal of Sound and Vibration**, v.16, p. 10-14, 1982.

EVANS, G.W.; MAXWELL, L. Chronic noise exposure and reading deficits: the mediating effects of language acquisition. **Environment and Behavior**: SAGE Publications, Thousand Oaks, CA. v.29, n.5, p. 638-656, 1997. Disponível em:< <http://eab.sagepub.com/cgi/reprint/29/5/638>>> Acesso em: Fev. 2007.

EVEREST, F.A. **Master handbook of acoustics**. 4.ed. Melville, New York, USA: McGraw-Hill. 2001. 616p.

EYRING, C. F. Reverberation time in “dead” rooms. **Journal of the Acoustical Society of America-JASA**. v.1, p.217-241, 1930.

FASOLD, W.; VERES, E. **Schallschutz und Raumakustik in der Praxis**. Planungsbeispiele und Konstruktive Lösungen. Huss-Medien GmbH, Verlag Bauwesen, Berlin, 2003.

FEIJÓO, S.; ALVAREZ, J.M. Factores que afectan a la medida de la inteligibilidad en salas. **In: CONGRESO IBERO AMERICANO DE ACÚSTICA**, 5, 2006. **Anais...** Santiago de Chile, Chile. 2006. Paper ID: A029, 9p.1CD-ROM.

FEIJÓO, S.; CHISCA, B.; BARROS, N. Estimación de la inteligibilidad en función de la ocupación en aulas de enseñanza. **In: CONGRESO IBERO AMERICANO DE ACÚSTICA**, 5, 2006. **Anais...** Santiago de Chile, Chile. Out.2006. Paper ID: A028, 10p. 1CD-ROM.

FERNANDES, A.G; VIVEIROS, E.B. Impacto de ruído de tráfego em edificações escolares: metodologia de avaliação para planejamento urbano. **In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC**, 20, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES- SIBRAMA, 2, 2002, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2002. Trabalho 065. 6p. 1CD-ROM.

FLETCHER, H.; MUNSON, W. A. Loudness, its definition, measurement and calculation. **Journal of the Acoustical Society of America-JASA**, Melville, NY, USA, v.5, p. 82-108 ,1933.

FLOODY, S. Optimización de forma em acústica arquitectónica. **In: CONGRESO IBERO AMERICANO DE ACÚSTICA**, 5, 2006. **Anais...** Santiago de Chile, Chile. Out.2006. Paper ID: A035, 10p. 1CD-ROM.

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO-FDE. **Arquitetura Escolar paulista: restauro**. São Paulo: FDE, 1998a. 235p.

_____. **Arquitetura Escolar e Política Educacional: os programas da atual administração do Estado**. São Paulo: FDE, 1998b. 155p.

_____. **Catálogos Técnicos: Especificações da Edificação Escolar.** São Paulo: FDE, maio 2003. 4 CD-ROM. Disponível em: < <http://www.fde.sp.gov.br>>. Acesso em: out./nov. 2006.

_____. **Arquitetura escolar paulista: anos 1950 e 1960.** São Paulo: FDE, 2006a. 372p.

_____. **Arquitetura escolar paulista: estruturas pré-fabricadas.** São Paulo: FDE, 2006b. 336p.

FUSCO, S.L. **Pô, vamos acabar com este barulho.** Acústica e Controle de Ruído: Guia prático para engenheiros e técnicos de segurança industrial. São Paulo:_____, 1996. 196p.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle.** 2.ed. Florianópolis:NR Editora, UFSC, 2000. 696p.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2002.175p.

GOMES, M. H. de A.; BERTOLI, S. R. Auralization for classroom acoustics. **In:** INTERNATIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION, 12th, July- 2005, Lisboa, Portugal. **Proceedings...** Lisboa, 2005. FP 0489, 8p. 1CD-ROM.

GRAÇA, Valéria A. C. da. **Otimização de projetos arquitetônicos considerando parâmetros de conforto ambiental: o caso das escolas de rede estadual de São Paulo.** 2002.139p. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?view=vtls000256532>>. Acesso em: 18 ago. 2005.

HAAS, H.Über den einfluss eines Einfachechos auf die Hörsamkeit von Sprache". **Acustica.** v.1, 1951.

_____. The influence of a single echo on the audibility of speech. **Journal Audio Eng. Society**. v.20, p.146-159, 1972.

HODGSON, M. Empirical Prediction of Speech Levels and Reverberation in Classrooms. **Building Acoustics**, v.8, n.1, p. 1-14, 2001.

_____. Rating, ranking and understanding acoustical quality in university classrooms. **Journal of the Acoustical Society of America-JASA**. v. 112 (2), p. 568-575, 2002.

HOUTGAST, T., STEENEKEN, H.J.M.; PLOMP, R. Predicting Speech Intelligibility in Rooms from the Modulation Transfer Function. I. General Room Acoustics. **Acustica**, v. 46, p. 60-72, 1980.

HOUTGAST, T., STEENEKEN, H.J.M. Past, present and future of the Speech Transmission Index. Soesterberg: **TNO Human Factors**, 2002.

HUNT, F.V. **Origins in acoustics**. 2.ed. New York: Acoustical Society of America, 1992. 212p.

INTERNACIONAL ELETROTECHINICAL COMMISSION (IEC). **IEC 60268-16**: Sound system equipment – Part 16: Objective Rating of Speech Intelligibility by Speech Transmission Index, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 354**: Acoustics- Measurement of sound absorption on reverberation rooms. 1985. Suíça, 1985. 8p.

_____. 2ed. **ISO 3382**: Acoustics- measurements of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters. Geneva, Switzerland. 1997. 21p.

KARABIBER, Z.; ÇELİK, E. Estimated cost for improving acoustical comfort conditions of existing classroom. **In:** INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS-ICA, 17.th, Sep. 2001, Rome, Italy. **Proceedings....** Rome: University of Rome-La Sapienza, 2001, v.3, session 5_05, 2p. 4 CD-ROM.

KARABIBER, K.; VALLET, M. Classroom acoustics policies- an overview. **In:** EURONOISE CONGRESS, 2003, Naples, Italy. **Proceedings....** Naples, Italy, 2003.

KNUDSEN, V.; HARRIS, C. **Acoustical Design in Architecture**. USA: Acoustical Society of America.-ASA, 1988. 408p.

KOWALTOWSKI D.C.C.K.; LABAKI L.C. O projeto arquitetônico e o conforto ambiental: necessidade de uma metodologia. **In:** ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENCAC, 5, 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo, EPUSP/ANTAC, 1993, v.2, p. 785-794. 1 CD-ROM.

KOWALTOWSKI D.C.C.K.; et al. Ambiente construído e comportamento humano: Necessidade de uma metodologia. **In:** ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO-ENTAC, 8., 2000, Salvador. **Anais...** Salvador, Bahia, 2000, 1CD-ROM.

KOWALTOWSKI D. C.C. K. et al. **Melhoria do conforto ambiental em edificações escolares de Campinas, SP. Relatório científico de projeto de pesquisa**. São Paulo: Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.136p.

KUTTRUFF, H. **Room Acoustics**. 2.ed. London, UK: Applied Science Publishers LTD.,1979.

LANG, Dale. C. **Volume, scale and shape**. University of Washington, Seattle, WA, 2003. 4p. Disponível em: < http://www.edfacilities.org/rl/classroom_design.cfm>. Acesso em ago 2007.

LE MOS, Carlos A. C. A república ensina a morar (melhor). **Estudos Históricos**. São Paulo: Hucitec, 1999, n. 39.

LOSSO, M. A. F. **Qualidade acústica de edificações escolares em Santa Catarina: avaliação e elaboração de diretrizes para projeto e implantação.** 2003. 149p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://ufsc.gov.br>>. Acesso em: 13 set. 2005.

LOUDEN, M.M. Dimension-ratios of rectangular rooms with good distribution of eigntones. **Acustica**, v.24, p. 101-103, 1971.

LUBMAN, I.C.; SUTHERLAND, D.. The impact of classroom acoustics on scholastic achievement. **In:** INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS-ICA, 17.th, Sep- 2001a, Rome, Italy. **Proceedings...**Rome: University of Rome-La Sapienza, 2001, v.3, session 5_05, 2p. 4 CD-ROM.

_____. Good classroom acoustics is a good investment. **In:** INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS-ICA, 17.th, Sep- 2001b, Rome, Italy. **Proceedings...** Rome: University of Rome-La Sapienza, 2001, v.3, session 5_05, 2p. 1 CD-ROM.

MASCARO, J.L. **O custo das decisões arquitetônicas.** 4.ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2004. 180p.

MASIERO; Bruno S.; IAZZETTA, Fernando. **Estudo e implementação de métodos de medição de resposta impulsiva em salas de pequeno porte.** Relatório Final de Iniciação Científica –Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP e Departamento de Música da Escola de Comunicação e Artes da Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2004. 89p.

MEDRADO, L. O.; TENENBAUM, R. A. Speech intelligibility study in university classrooms: an improved metric to assess high background noise levels. **In:** INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING. Environmental Noise Control- INTERNOISE, 34.th, Aug. 2005, Rio de Janeiro, Brazil. **Proceedings...** Rio de Janeiro, 2005, session RA-2, doc.1423, 8p. 1CD-ROM.

MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORT, J. **Architectural acoustics: principles and design**. Columbus: Prentice Hall, 1999. 446p.

MELENDEZ, Adilson. Escolas-parque são alternativa educacional e referenciais urbanos. **Projeto Design**, n. 284, p.62-68, Out.2003.

MENEZES, Maria C.; SILVA, Eva C. L. da; TEIXEIRA JR., Oscar.(Orgs.). **Escola Normal: 100 anos de formação de professores. Escola Estadual Carlos Gomes, Campinas, S.P.** Catálogo de Exposição, Campinas: UNICAMP, 2003.

MILLINGTON, J. G. A modified formula for reverberation. **Journal of the Acoustical Society of America**, v. 4, n.1, p. 69-82, 1932.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. MEC. **Critérios para elaboração, aprovação e avaliação de projetos e construções escolares**. Brasília: CEBRACE, 1976. 109p.

_____. MEC. **Espaços Educativos- ensino fundamental: subsídios para elaboração de projetos e adequação de edificações escolares**. Cadernos técnicos n.º 4. v. 2. Brasília: FUNDESCOLA, 2002. 128p.

MIR, S. H.; A BDOU, A. A. Impact of education equipment noise on smart classroom acoustics. In: INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING. Environmental Noise Control- INTERNOISE, 34.th. Aug. 2005, Rio de Janeiro, Brazil. **Proceedings...** Rio de Janeiro, 2005, session BA-1, doc.1702, 8p. 1CD-ROM.

MOREIRA PINTO, Alfredo. **A cidade de São Paulo em 1900**. 2.ed. São Paulo: IMESP, 1979.

MÜLLER, S.; MASSARINI, P. Medições da resposta em frequência de sistemas de sonorização. **Journal Audio Engineering Society**, v. 49, n.6, p.443-471, 2001.

MÜLLER, S.; NABUCO, M.; MASSARINI, P. Medição de Inteligibilidade da Palavra em Duas Escolas Estaduais do Rio de Janeiro. **In:** ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC, 20, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES- SIBRAMA, 2, 2002, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2002.Seção 1, trabalho 75. 6p.1CD-ROM.

NAGEM, M. P.; BERTOLI, S.R. Desempenho acústico de uma sala de aula com características especiais. **In:** ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC, 20, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES- SIBRAMA, 2, 2002, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2002.Seção 1, trabalho 46. 6p.1CD-ROM.

NEPOMUCENO, Luiza de A. **Elementos de acústica e psicoacústica.** São Paulo: Edgar Blüncher, 1994. 106p.

NEUBAUER, Reinhard O. Classroom acoustics-Do existing reverberation time formulae provide reliable values?. **In:** INTERNATIONAL CONGRESS ON ACOUSTICS-ICA, 17.th, Sep. 2001, Rome, Italy. **Proceedings....** Rome: University of Rome-La Sapienza, 2001, v.3, session 5_05, 2p. 4 CD-ROM..

NOGUEIRA, M.C.J.A. ; NOGUEIRA, J. de S. Educação, meio ambiente e conforto térmico: caminhos que se cruzam. **In:** Revista Eletrônico do Mestrado em Educação Ambiental. Programa de Pós-graduação em Educação ambiental. Universidade Federal do Rio Grande, 2003, v.10, 5p, jan-jun. 2003.

OITICICA, M. L R. ; BERTOLI, S. R. (2006). Contribuição da absorção sonora de diferentes elementos em salas de aula. **In:** ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA-SOBRAC, 21, 2006, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: SOBRAC, 2006. 1 CD-ROM.

ORNSTEIN, Sheila W.; BORELLI NETO, José. (Coord.) **O desempenho dos edifícios da rede estadual de ensino. O caso da Grande São Paulo. Avaliação técnica: primeiros resultados.** São Paulo: FAU- Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo e CNPq: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1995. 72p.

PAIXÃO, Dinara X.; SANTOS, Jorge L. P. A acústica da sala de aula. **In:** ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA-SOBRAC, 16., 1995, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: Plêiade Ltda M. E., p. 61-64, 1995.

PEUTZ, V.M.A. Articulation loss of consonants as a criterion for speech transmission in a room. **Journal Audio Engineering Society**, v. 19, p. 915-919, 1971.

PINHEIRO, Maria de L. **A escola normal de campinas no período 1920- 1936: práticas e representações**. 2003, 165p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. 2003.

PICARD, M.; BRADLEY, J. Revisiting speech interference in classrooms. **Audiology**. v. 40, p.221-244, 2001.

QUERIDO, J.G.; CAPASSO, C.A.A. Parâmetros empíricos que garantam a inclusão da discussão Acústica no projeto e gestão de espaços escolares. **In:** INTERNATIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION, 11th, 2004, Guimarães, Portugal. **Proceedings...** Guimarães, 2004. Paper ID: 058, 8p. 1CD-ROM.

RAMALHO, Maria Lúcia P.; WOLFF, Silvia F.S. As escolas públicas paulistas na Primeira República. **In: PROJETO**. São Paulo: Projeto, n.87, maio 1986, p.66-67.

RUSSO, Ieda; BEHLAU, Mara. **Percepção da fala: análise acústica do português brasileiro**. São Paulo: Lovise Ltda., 1993, 57p.

SABINE, W. C. **Collected Papers on Acoustics**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1922.

SALGADO, A. B. S. **Validación de software para predicción de acústica de salas y aplicación al diseño de aulas**. 2003. 220p. Monografia (Proyeto Fin de Carrera)- Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones, Universidad de Vigo, Vigo, Pontevedra, Spain. Disponível em: <<http://www.gts.tsc.uvigo.es/audio/research/auralizacion/proyecto.pdf>>. Acesso em: 24 ago.2005.

SALIBA, Tuffi M. **Manual prático de avaliações e controle de ruído**. São Paulo: LTR, 2000, 112p.

SÃO PAULO (Estado). **Anuário do Ensino do Estado de São Paulo**. Diretoria Geral de Instrução Pública. São Paulo: Typ. Augusto Siqueira & C., 1905-1906.

_____. **Anuário do Ensino do Estado de São Paulo**. Diretoria Geral de Instrução Pública. São Paulo: Typ. Augusto Siqueira & C., 1907-1908.

_____. **Anuário do Ensino do Estado de São Paulo**. Diretoria Geral de Instrução Pública. São Paulo: Typ. Augusto Siqueira & C., 1908-1909.

_____. **Anuário do Ensino do Estado de São Paulo**. Diretoria Geral de Instrução Pública. São Paulo: Typ. Augusto Siqueira & C., 1913.

_____. **Anuário do Ensino do Estado de São Paulo**. Diretoria Geral de Instrução Pública. São Paulo: Typ. Augusto Siqueira & C., 1915.

_____. **Anuário do Ensino do Estado de São Paulo**. Diretoria Geral de Instrução Pública. São Paulo: Typ. Augusto Siqueira & C., 1936.

_____. Secretaria de Educação. **Listas das escolas de ensino médio e fundamental da cidade de Campinas/SP**. Disponível em: <<http://www.educacao.sp.gov.br/>>. Acesso em: 08 set. 2005 e 14 fev. 2006.

SCHNEIDER, Mark. Do school facilities affect academic outcomes? **National Clearinghouse for Educational Facilities**. Washington, USA, 2002. 24p. Disponível em: <<http://www.edfacilities.org>>. Acesso em: set. 2005.

SCHROEDER, M. R. New method for measuring reverberation time. **Journal Acoustic Society of America**, v. 37, p. 409-412, 1965.

SEEP, B.; HULCE, E., LINN, M.; WHO, P.A. **Classroom Acoustics I: a resource for creating learning environment with desired listening conditions**. Technical Committee on Architectural Acoustics of the Acoustical Society of America- ASA, Melville, NY, USA, Ago-2000, 28p. Disponível em: <<http://asa.aip.org/classroom/booklet.html>www.asa.aip.org> ou <www.sobrac.ufsc.br/artigos/Artigo01-29.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2005.

SEGAWA, Hugo. Arquiteturas escolares. **Projeto**. São Paulo: Projeto, n.87, p.64-65, maio 1986.

_____. **Arquiteturas no Brasil. 1990-1990**. São Paulo: Edusp, 1999. 224p.

SEPMEYER, L.W. Computed frequency and angular distribution of the normal modes of vibration in rectangular rooms. **Journal Acoustic Society of America**, v.37, ano 3, p. 413-423, march 1965.

SERAPIÃO, Fernando. Estrutura pré-fabricada marca a nova etapa das escolas paulistas. **Projeto design**, n.296, p.58-74, out 2004.

SETTE, W. J. A new reverberation time formula. **Journal of the Acoustical Society of America**. v.4, p.193-210, 1933.

SMITH, B.J.; PETERS R.J.; OWEN, S. **Acoustics and noise control**. New York: Longman, 1983.

SOUZA, Léa Cristina L. de; ALMEIDA, Manuela G. de; BRAGANÇA, Luís. **Bê-a-Bá da acústica arquitetônica. Ouvindo a arquitetura**. 1.ed. Bauru, SP: LCL de Souza, 2003. 149p.

STAKE, R. E. **Case Studies**. In: DENZIN, N.; LINCOLN, Y. (Ed.). 2. ed. Handbook of qualitative research. Thousands Oaks: Sage, 2000.

SUTTON, A.; WAIT, A.; BENSEMAN, J. **New Secondary Schools Consultation Project**. Ministry of Education. New Zealand, Feb. 2001. 167p. Disponível em: <[http:// www.new-schools.org](http://www.new-schools.org)>. Acesso: ago.2007.

TOOLE, F.E. **Loudspeakers and rooms for multi-channel audio reproduction**. Part 3. section "White Papers", 2002. Origin: < www.harman.com/in >.

U.S. ACCESS BOARD. **Listening for Learning 1: The Importance of Good Classroom Acoustics**. FEDERAL AGENCY COMMITTED TO ACCESSIBLE DESIGN. Washington, Oct 2003a. Disponível em: <<http://www.edfacilities.org/rl/acoustics.cfm>>. Acesso: fev. 2007.

_____. **Listening for Learning 2: Will Our New Classrooms Meet the Standard?** FEDERAL AGENCY COMMITTED TO ACCESSIBLE DESIGN. Washington, Oct 2003b. Disponível em: <<http://www.edfacilities.org/rl/acoustics.cfm>>. Acesso: fev. 2007.

VERMEIR, G.; GEETERE, L. Classrooms acoustics in Belgium schools: experiences, analysis, design. **In: INTERNOISE 2002. Proceedings....** Dearborn, Michigan, USA, 2002.

VIEIRA, S.; ALARCÃO, D.; BENTO COELHO, J.L.; ZINDELUK, M.; GERGES, S.N.Y. Assessment of classroom acoustics- a quantitative survey. **In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION**, 12.th, 2005, Lisboa, Portugal. **Proceedings...** Lisboa, 2005. FP 1019, 8p. 1 CD-ROM.

VILANOVA ARTIGAS, J. B. **Caminhos da arquitetura**. São Paulo: Cosac & Naify Edições, 1999. 172p.

VILELA, Ana Luisa M. **In: Anatomia e Fisiologia Humanas: o sistema sensorial**. Disponível em: <<http://www.afh.bio.br/sentidos/Sentidos6.asp>>. Acesso em: 20 Set 2006.

VIVEIROS, Elvira B. Excelência Acústica: O objetivo de projeto de uma edificação escolar. **In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC**, 19., 2000, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2000, p.183-188.

VOLKMANN, J.E. Pylindrical diffusers in room acoustical design. **Journal Acoustic Society of America**, v.13, p. 413-423, 1942.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Book-man, 2001.

WOLFF, Silvia F.S. **Espaço e educação. Os primeiros passos da arquitetura das escolas públicas paulistas**. (1992). Dissertação (Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 1992.

XAVIER, Alberto; LEMOS, Carlos; CORONA, Eduardo. **Arquitetura moderna paulistana**. São Paulo: PINI, 1983. 251p.

ZANNIN, P.H.T.; LORO, C. P. Acoustical quality of educational buildings- the acoustic of modular classrooms. **In: INTERNATIONAL CONGRESS AND EXPOSITION ON NOISE CONTROL ENGINEERING**. Environmental Noise Control- INTERNOISE, 34.th, Aug. 2005, Rio de Janeiro, Brazil. **Proceedings...** Rio de Janeiro, Brazil, 2005, session BA-1, doc.1971, 10p. 1 CD-ROM. Disponível em: <www.iep.org.br/lit/Dissertacoes_PPGCC.doc>. Acesso em: 18 ago. 2005.

ZWIRTES, Daniele P. Z. **Avaliação do desempenho acústico de salas de aula: estudo de caso nas escolas estaduais do Paraná**. 2006. 148p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)- Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Universidade Federal de Paraná, Paraná, 2006.

APÊNDICES A - Q

(EM BRANCO: VERSO DA PÁG. n.º189)

APÊNDICE A

GRUPO A (7X7) SALA 1 - ESCOLA: Campinas F-1

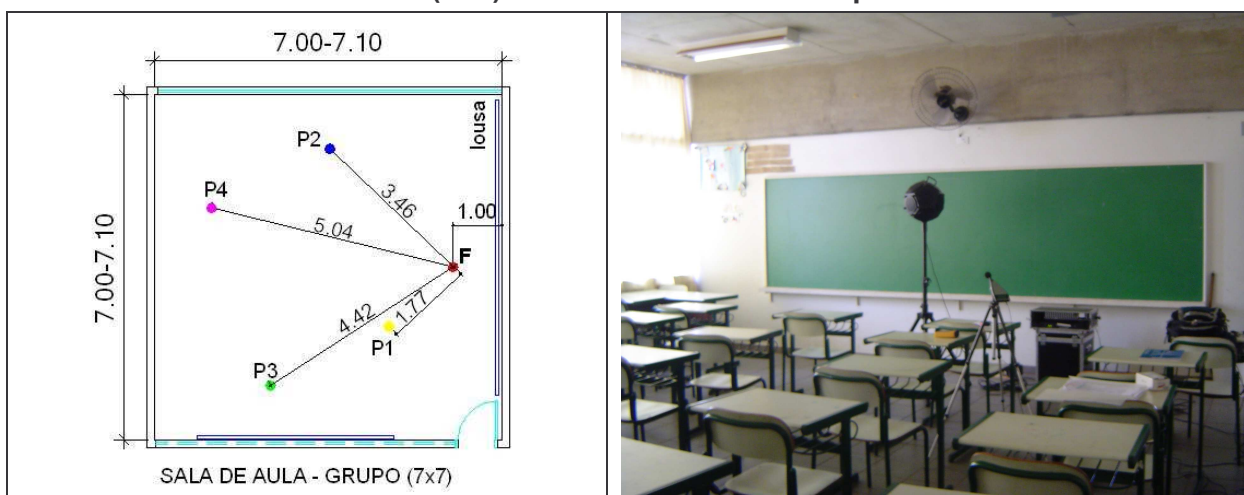


Figura A.1 : Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo A (7x7m).

Foto A.1: Vista interna da sala de aula 1-Campinas F1, com os equipamentos de medição acústica instalados.
Data: 13/10/2006.

A.1 – Parâmetros arquitetônicos

a) **Localização da Escola:** Bairro Nova Aparecida

b) **Data da construção:** 2003-2004, pela FDE.

c) **Localização da sala:** pavimento superior; acima: cobertura metálica sobre a laje; abaixo: salas administrativas.

d) **Posicionamento das aberturas da sala:** portas voltadas para a circulação que circunda a quadra de esportes interna e coberta com estrutura e telhas metálicas.

e) **Dimensões internas:**

Largura* (m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
7,05	7,05	3,13	49,70	155,57

* dimensão paralela à lousa.

f) **Esquadrias:**

- Portas: (0,80x2,10m), de madeira, tipo aglomerado.
- Janelas: do tipo basculante, caixilhos metálicos e vidraçaria 4mm.
- Outros (aberturas): janelas basculantes com caixilhos metálicos, ao longo da parede, sobre a porta.

g) **Estrutura:** modulada, em concreto armado pré-fabricado e aparente.

h) **Piso:** tipo granilite.

i) **Teto:** laje em concreto armado aparente.

j) **Paredes:** alvenaria de tijolos, (esp.15cm), acabamento em pintura de tinta acrílica sobre massa.

k) **Lousa:** 4,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) **Mobiliário:**

- ❖ Carteiras: (35 unidades), estrutura metálica, pintadas, com tinta esmalte cor verde escuro.
- ❖ Cadeiras: (35 unidades), estrutura metálica, com encosto e assento em madeira compensada.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com tampo, encosto e assento em madeira compensada.

m) **Iluminação artificial:** 6 luminárias tipo calhas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada.

n) **Ventilação artificial:** um ventilador (sem potencia identificada), fixado em parede sobre a lousa.

o) **Outros:** Janelas com cortinas de tecido (espessura média).

A.2 - Parâmetros acústicos

a) Data de medição: 13/10/2006.

b) Horário: manhã.

c) Condições de uso: sala e escola desocupadas.

d) Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo: 45,8dB(A).d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 63,1$ dB(A).d.2) Externo à escola: $L_{Aeq} = 57,1$ dB(A).e) Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):**TABELA A.1-** Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 1, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	1,23	1,19	1,01	0,91	0,86	0,81	0,66
	P2	0,99	1,17	0,97	0,90	0,89	0,80	0,65
	P3	1,32	1,12	1,00	0,92	0,89	0,79	0,66
	P4	0,98	1,09	0,97	0,89	0,90	0,81	0,65
	Média	1,13	1,14	0,99	0,91	0,88	0,80	0,66
	Desvio-padrão	0,17	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01
EDT (s)	P1	0,96	1,08	0,83	0,88	0,81	0,75	0,61
	P2	0,91	1,02	0,96	0,83	0,76	0,72	0,58
	P3	1,33	1,36	0,99	0,86	0,83	0,75	0,63
	P4	1,20	1,14	0,86	0,87	0,76	0,78	0,62
	Média	1,10	1,15	0,91	0,86	0,79	0,75	0,61
	Desvio-padrão	0,20	0,15	0,08	0,02	0,04	0,02	0,02
D_{50}	P1	0,43	0,54	0,63	0,61	0,69	0,72	
	P2	0,57	0,53	0,63	0,60	0,60	0,66	
	P3	0,24	0,45	0,51	0,66	0,62	0,65	
	P4	0,60	0,45	0,46	0,55	0,50	0,57	
	Média	0,46	0,49	0,56	0,61	0,60	0,65	
	Desvio-padrão	0,16	0,05	0,09	0,05	0,08	0,06	

TABELA A.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 1.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)			
		P1 (1,77m)	P2 (3,46m)	P3 (4,42m)	P4 (5,04m)
STI	(s/vent.)	0,58 (razoável)	0,60 (bom)	0,60 (razoável)	0,57(razoável)
%ALCons		7,3	6,5	6,7	7,7
STI	(c/vent.)	0,49 (razoável)	0,54 (razoável)	0,57(razoável)	0,53 (razoável)
%ALCons		12,2	8,9	7,6	9,6

Nota: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado) c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

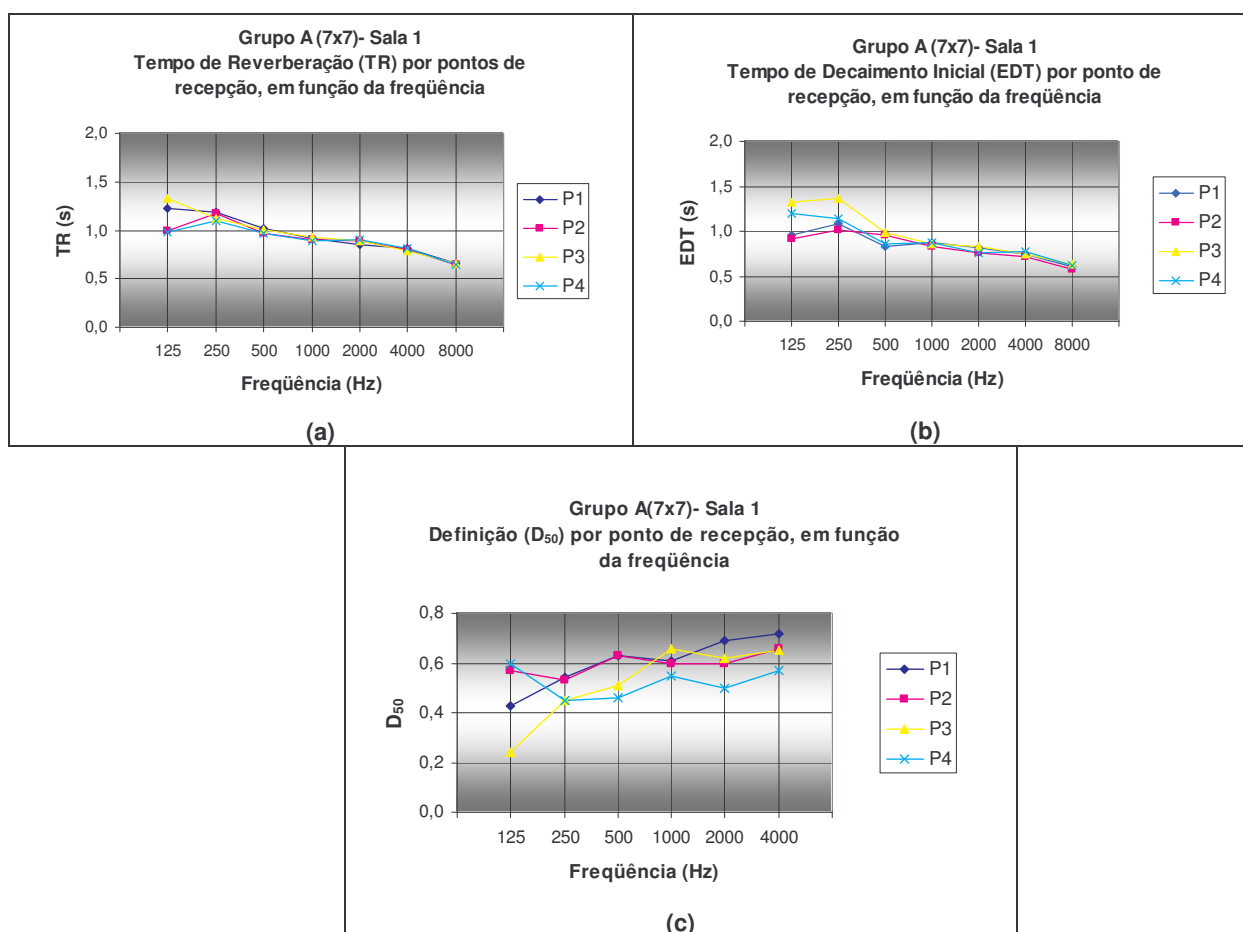


GRÁFICO A.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 1, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

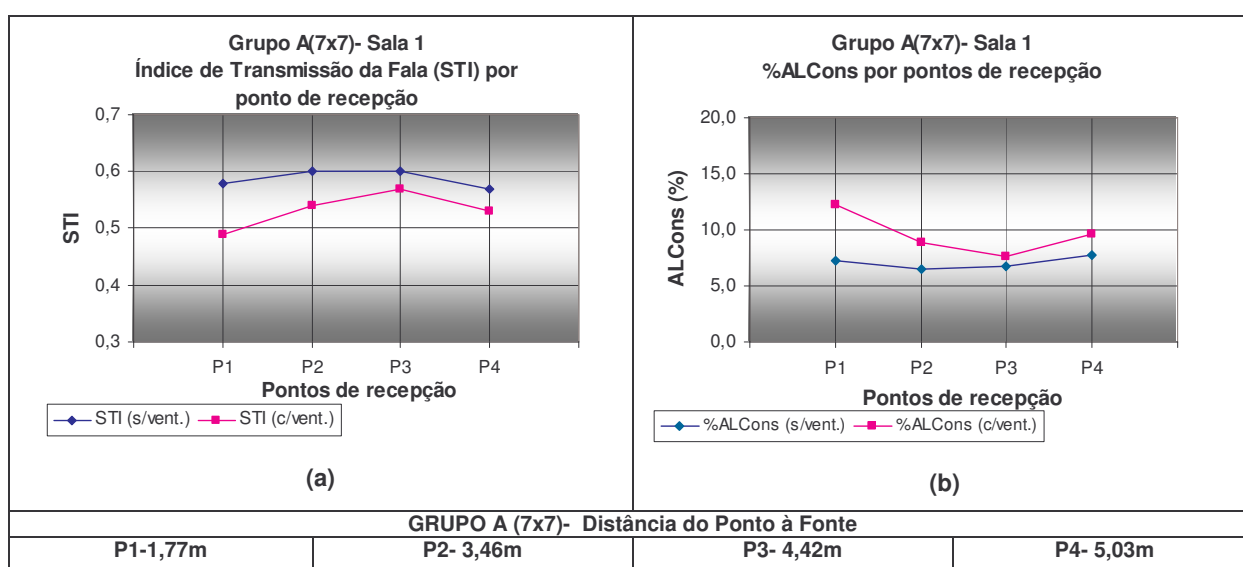


GRÁFICO A.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 1. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica.

APÊNDICE B

GRUPO A (7X7) SALA 2 - ESCOLA: CH- EB-1

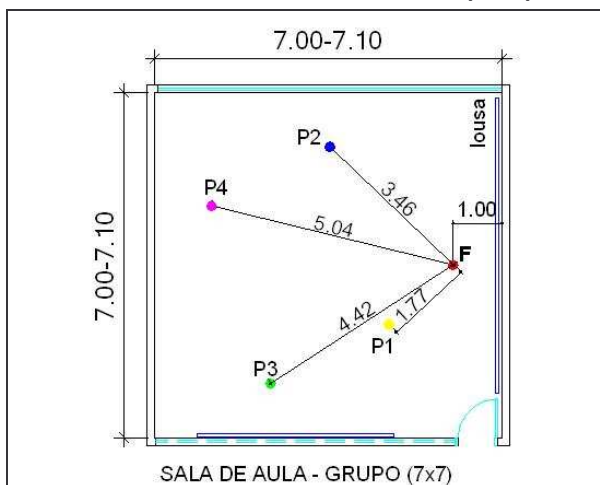


Figura B.1 : Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo A (7x7m).

Foto B.1: Vista interna da sala de aula 2- CH EB1, com os equipamentos de medição acústica instalados.
Data: 03/11/2006.

B.1 - Parâmetros arquitetônicos

a) **Localização da Escola:** periférica, no Bairro San Martin.

b) **Data da construção:** 2003-2004, pela FDE.

c) **Localização da sala:** pavimento superior; acima: cobertura metálica; abaixo: salas administrativas e pátio interno de recreação.

d) **Posicionamento das aberturas da sala:** janelas voltadas para área externa urbana. Portas voltadas para circulação interna.

e) **Dimensões internas:**

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
7,10	7,05	3,00	50,06	150,17

* dimensão paralela à lousa.

f) **Esquadrias:**

- Portas: (0,80x2,10m) de madeira, tipo aglomerado.
- Janelas: ao logo da parede, do tipo basculante, caixilhos metálicos e vidraçaria de 4mm.
- Outros (aberturas): janelas basculantes com caixilhos metálicos, ao longo da parede, sobre a porta.

g) **Estrutura:** modulada, em concreto armado pré-fabricado.

h) **Piso:** granilite.

i) **Teto:** laje em concreto armado aparente.

j) **Paredes:** espessura de 15cm, acabamento em tinta acrílica sobre massa corrida.

k) **Lousa:** 4,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) **Mobiliário:**

- ❖ Carteiras: (35 unidades), estrutura metálica, pintadas, com tinta esmalte cor verde escuro.
- ❖ Cadeiras: (35 unidades), estrutura metálica, com encosto e assento em madeira compensada.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com tampo, encosto e assento em madeira compensada.
- ❖ Outros: armários de madeira acabamento em fórmica.

m) **Ventilação artificial:** não tem ventilador.

n) **Iluminação artificial:** 6 luminárias tipo calhas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada (40W, luz do dia).

o) **Outros:** Janelas com cortinas, tipo persianas verticais de tecido.

B.2 - Parâmetros acústicos

a) Data de medição: 03/11/2006.

b) Horário: manhã.

c) Condições de uso: sala e escola desocupadas.

d) Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo: 45,8dB(A).d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 63,0$ dB(A).d.2) Externo à escola: $L_{Aeq} = 55,8$ dB(A).e) Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):**TABELA B.1-** Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 2, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	1,09	1,45	1,38	1,38	1,31	1,11	0,83
	P2	1,16	1,28	1,30	1,38	1,32	1,11	0,83
	P3	1,15	1,41	1,36	1,42	1,33	1,12	0,83
	P4	1,10	1,40	1,32	1,46	1,34	1,12	0,83
	Média	1,13	1,38	1,34	1,41	1,32	1,12	0,83
	Desvio-padrão	0,04	0,07	0,03	0,04	0,01	0,00	0,00
EDT (s)	P1	0,94	1,13	1,26	1,42	1,37	1,14	0,74
	P2	1,00	1,33	1,32	1,43	1,38	1,08	0,78
	P3	1,28	0,91	1,28	1,48	1,34	1,04	0,79
	P4	1,12	1,20	1,26	1,44	1,40	1,11	0,77
	Média	1,09	1,14	1,28	1,44	1,37	1,09	0,77
	Desvio-padrão	0,15	0,18	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02
D_{50}	P1	0,64	0,53	0,52	0,38	0,38	0,55	
	P2	0,41	0,41	0,36	0,36	0,40	0,46	
	P3	0,54	0,49	0,47	0,42	0,44	0,51	
	P4	0,74	0,64	0,33	0,43	0,42	0,49	
	Média	0,58	0,52	0,42	0,40	0,41	0,50	
	Desvio-padrão	0,14	0,10	0,09	0,03	0,03	0,04	

TABELA B.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 2.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)			
		P1 (1,77m)	P2 (3,46m)	P3 (4,42m)	P4 (5,04m)
STI	(s/vent.)	0,56 (razoável)	0,54 (razoável)	0,55 (razoável)	0,53 (razoável)
%ALCons		8,2%	9,2%	8,5%	9,8%
STI	(c/vent.)	-	-	-	-
%ALCons		-	-	-	-

Nota: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado) c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

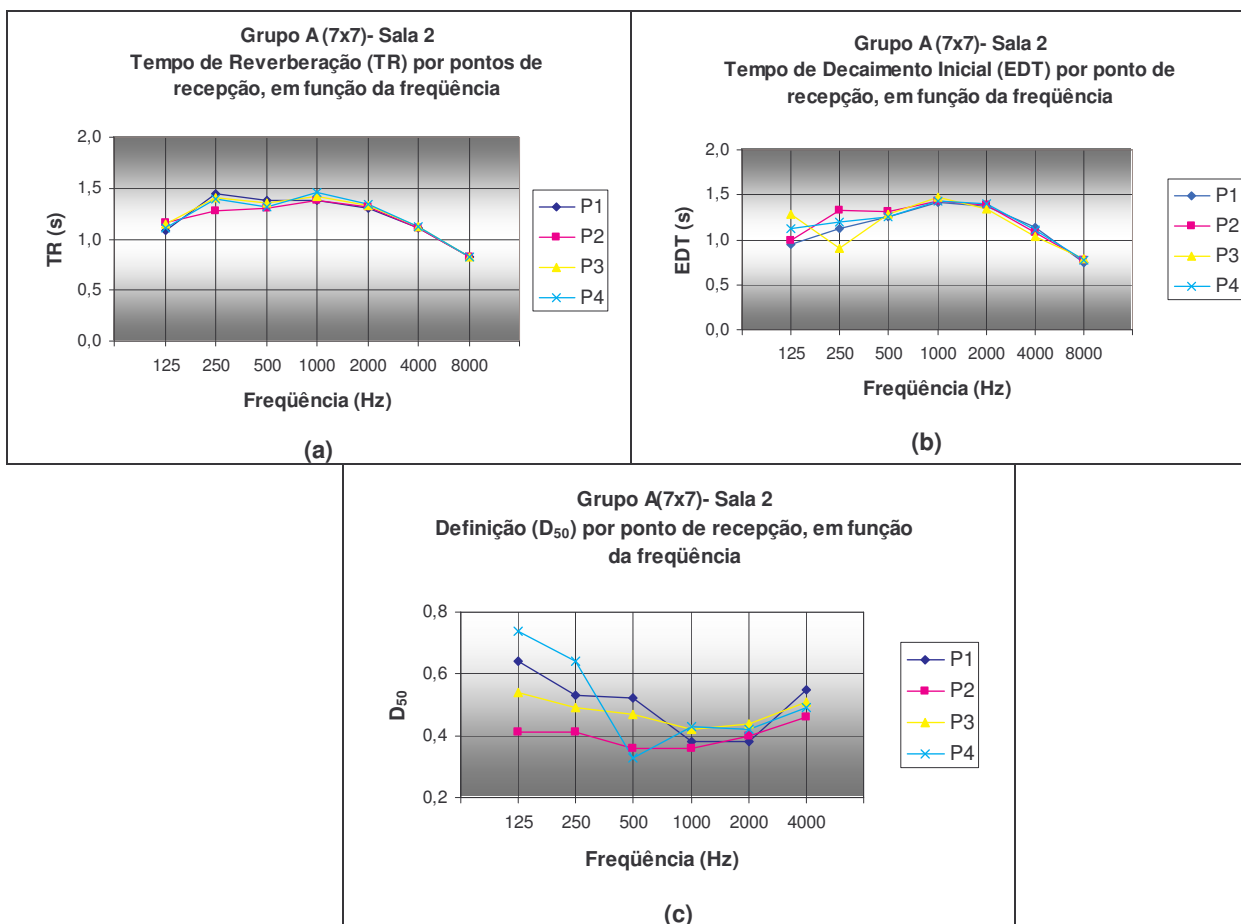


GRÁFICO B.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 2, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

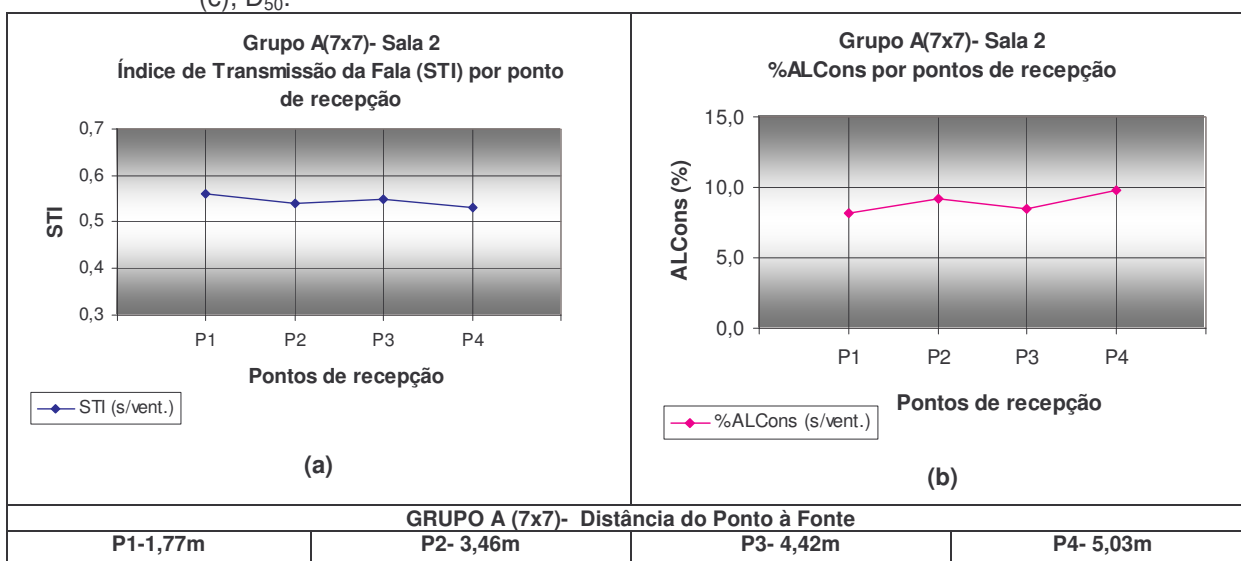


GRÁFICO B.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 2. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica

APÊNDICE C

GRUPO A (7X7) SALA 3 - ESCOLA: Maria Alice

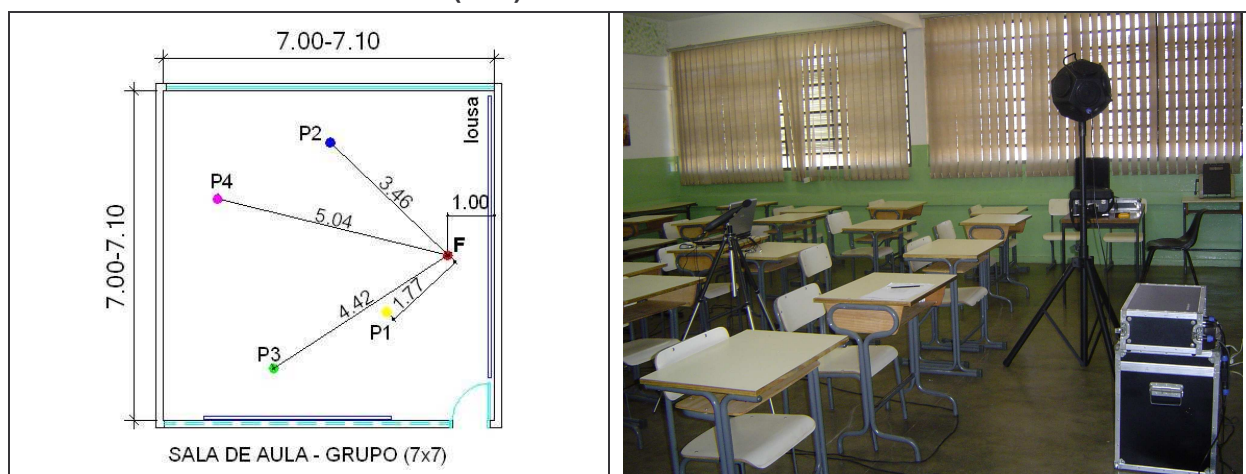


Figura C.1 : Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo A (7x7m).

Foto C.1: Vista interna da sala de aula 3- Maria Alice, com os equipamentos de medição acústica instalados. **Data:** 14/07/2006.

C.1 - Parâmetros arquitetônicos

a) **Localização da Escola:** urbana, bairro Barão Geraldo.

b) **Data da construção:** anos 1990.

c) **Localização da sala:** pavimento superior; acima: cobertura com telhado fibrocimento; abaixo: salas administrativas e pátio interno de recreação.

d) **Posicionamento das aberturas da sala:** janelas voltadas para área externa urbana. Portas voltadas para circulação interna, com 1,70m de largura.

e) **Dimensões internas:**

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
7,05	7,05	3,20	49,70	159,05

* dimensão paralela à lousa

f) **Esquadrias:**

- Portas: (0,80x2,10m) de madeira, tipo aglomerado.
- Janelas: 2 ao longo da parede, do tipo basculante, caixilhos metálicos e vidraçaria de 4mm.
- Outros (aberturas): vão superior sobre a parede da porta de entrada.

g) **Estrutura:** concreto armado, com vigas superiores aparentes.

h) **Piso:** cimento queimado com pigmento cinza.

i) **Teto:** laje em concreto armado, revestimento massa acrílica, acabamento em tinta látex.

j) **Paredes:** até 1,20m do piso: tinta esmalte cor verde; acima: tinta látex, sobre massa.

k) **Lousa:** 4,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) **Mobiliário:**

- ❖ Cadeiras: (35 unidades), estrutura metálica, com encosto e assento em madeira compensada, acabamento em fórmica cor bege.
- ❖ Carteiras: (35 unidades), estrutura metálica, pintadas, com tinta esmalte cor cinza claro.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com tampo, encosto e assento em madeira compensada.
- ❖ Outros: 3 armários de aço.

m) **Iluminação artificial:** 4 luminárias tipo calhas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada (40W, luz do dia).

n) **Ventilação artificial:** um ventilador (sem potencia identificada) fixado em parede (posterior), lado oposto à lousa.

o) **Outros:** Janelas com cortinas, tipo persianas verticais de tecido, cor bege.

C.2 - Parâmetros acústicos

a) **Data de medição:** 14/07/2006.

b) **Horário:** manhã.

c) **Condições de uso:** sala e escola desocupadas.

d) **Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo:** 42,6dB(A).

d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 54,5$ dB(A).

d.2) Externo à escola: $L_{Aeq} = 57,5$ dB(A).

e) **Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):**

TABELA C.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 3, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	1,62	1,71	1,56	1,47	1,40	1,13	0,76
	P2	1,84	1,71	1,53	1,46	1,36	1,11	0,76
	P3	1,84	1,84	1,49	1,46	1,37	1,12	0,75
	P4	1,54	1,77	1,59	1,52	1,36	1,15	0,76
	Média	1,71	1,76	1,54	1,48	1,37	1,13	0,76
	Desvio-padrão	0,15	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
EDT (s)	P1	2,00	2,13	1,53	1,44	1,43	1,11	0,62
	P2	1,07	1,70	1,52	1,41	1,31	1,06	0,64
	P3	1,53	1,42	1,53	1,38	1,37	1,05	0,64
	P4	1,51	1,71	1,64	1,47	1,40	1,10	0,74
	Média	1,53	1,74	1,56	1,42	1,37	1,08	0,66
	Desvio-padrão	0,38	0,29	0,06	0,04	0,05	0,03	0,05
D_{50}	P1	0,46	0,47	0,40	0,44	0,46	0,55	
	P2	0,47	0,47	0,38	0,42	0,44	0,50	
	P3	0,28	0,29	0,39	0,35	0,32	0,48	
	P4	0,39	0,35	0,28	0,40	0,38	0,43	
	Média	0,40	0,40	0,36	0,40	0,40	0,49	
	Desvio-padrão	0,09	0,09	0,06	0,04	0,06	0,05	

TABELA C.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 3.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)			
		P1 (1,77m)	P2 (3,46m)	P3 (4,42m)	P4 (5,04m)
STI	(s/vent.)	0,55 (razoável)	0,55(razoável)	0,53 (razoável)	0,52 (razoável)
%ALCons		8,9%	8,6%	9,7%	10,3%
STI		0,44(pobre)	0,49(razoável)	0,47(razoável)	0,45 (pobre)
%ALCons		15,9%	11,8%	13,3%	15,0%

Nota: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado) c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

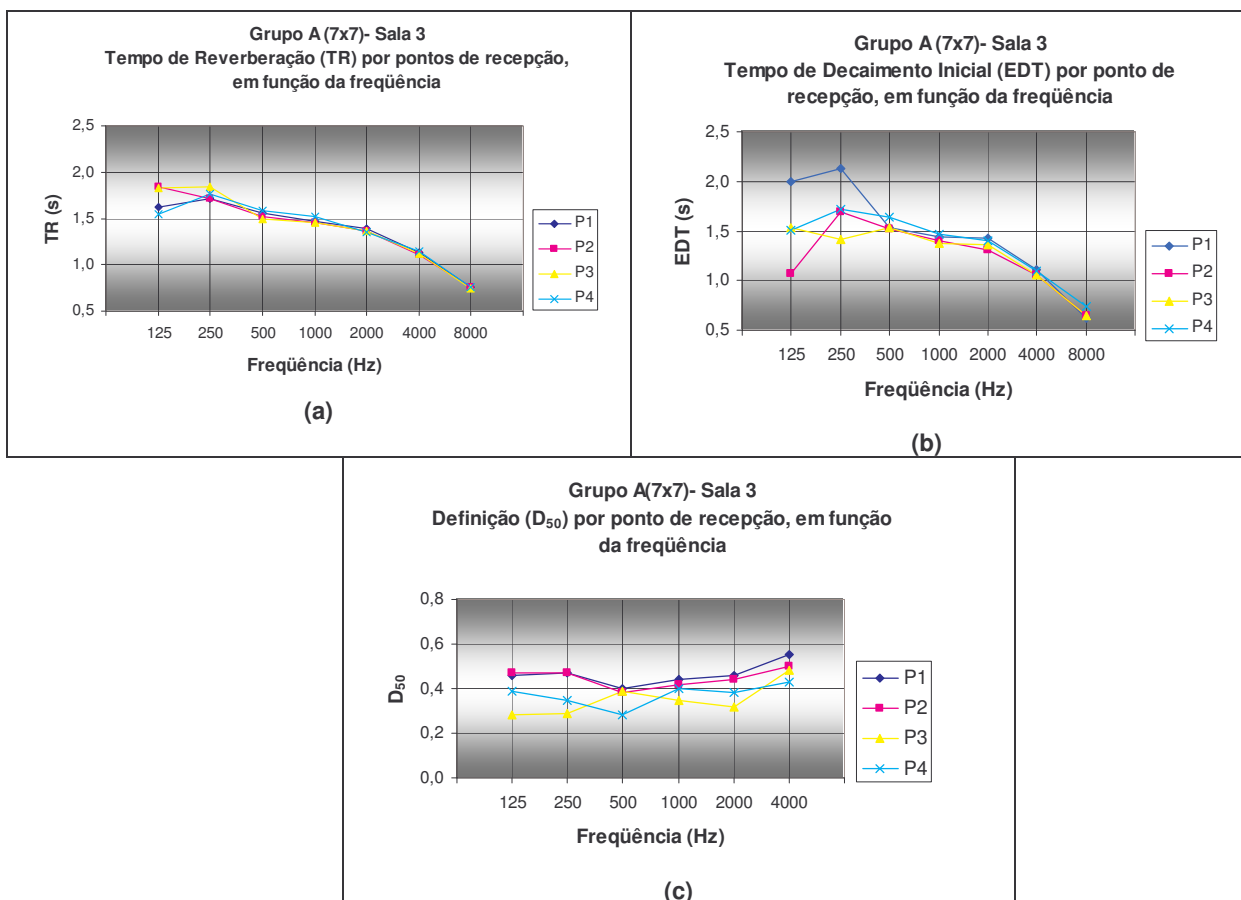


GRÁFICO C.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 3, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

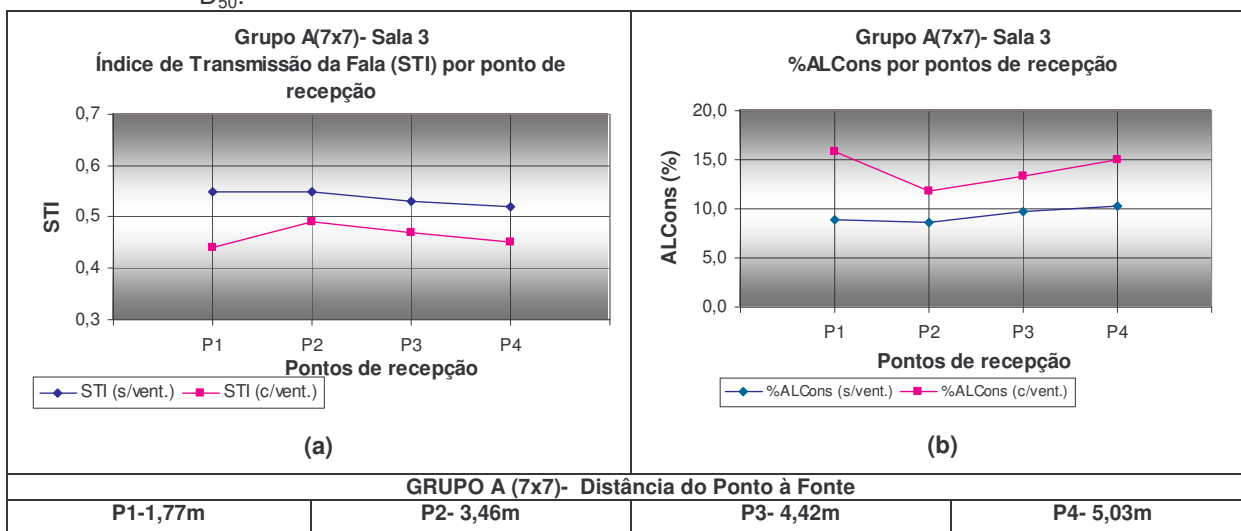


GRÁFICO C.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 3. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica.

APÊNDICE D

GRUPO A (7X7) SALA 4 - ESCOLA: Roberto Marinho

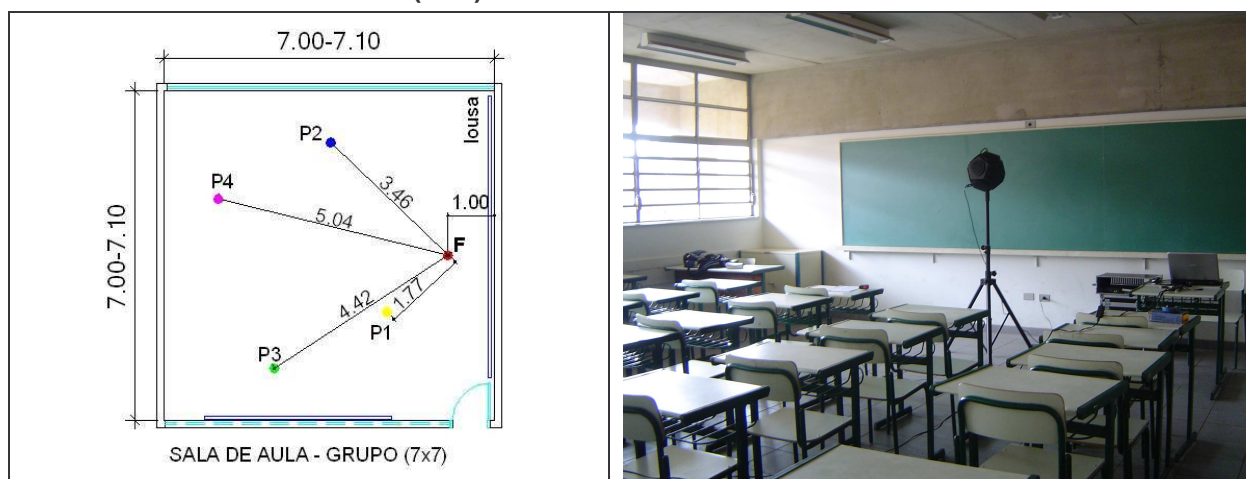


Figura D.1 : Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo A (7x7m).

Foto D.1: Vista interna da sala de aula 4- Roberto Marinho, com os equipamentos de medição acústica instalados. **Data:** 13/10/2006.

D.1 - Parâmetros arquitetônicos

a) **Localização da Escola:** periférica, no Bairro Nova Aparecida.

b) **Data de construção:** 2003-2004, pela FDE.

c) **Localização da sala:** pavimento superior; acima: laje com telhado metálico; abaixo: salas administrativas e pátio interno de recreação.

d) **Posicionamento das aberturas da sala:** janelas voltadas para divisa de terreno. Portas voltadas para a circulação que circunda o pátio interno coberto.

e) **Dimensões internas:**

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
7,05	7,05	2,92	49,70	145,13

* dimensão paralela à lousa.

f) **Esquadrias:**

- Portas: (0,80x2,10m) de madeira, tipo aglomerado.
- Janelas: do tipo basculante, caixilhos metálicos e vidraçaria de 4mm.
- Outros (aberturas): janelas basculantes com caixilhos metálicos, ao longo da parede, sobre a porta.

g) **Estrutura:** modulada, em concreto armado pré-fabricado.

h) **Piso:** granilite.

i) **Teto:** laje em concreto armado aparente.

j) **Paredes:** alvenaria espessura de 15cm, acabamento em tinta acrílica sobre massa corrida.

k) **Lousa:** 4,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) **Mobiliário:**

- ❖ Cadeiras: (35 unidades), estrutura metálica, com encosto e assento em madeira compensada, acabamento em fórmica.
- ❖ Carteiras: (35 unidades), estrutura metálica, acabamentos em fórmica.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com tampo, encosto e assento em madeira compensada, acabamentos em fórmica.

m) **Ventilação artificial:** não tem ventilador.

n) **Iluminação artificial:** 4 luminárias tipo calhas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada (40W, luz do dia).

o) **Outros:** Janelas não têm cortinas.

D.2 - Parâmetros acústicos

a) **Data de medição:** 13/10/2006.

b) **Horário:** manhã.

c) **Condições de uso:** sala e escola desocupadas.

d) **Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo:**

d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 43,0\text{dB(A)}$.

d.2) Externo à escola: $L_{Aeq} = 62,2\text{dB(A)}$.

e) **Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):**

TABELA D.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 4, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	1,39	1,57	1,97	2,06	1,84	1,53	1,12
	P2	1,94	1,77	1,87	2,04	1,86	1,57	1,14
	P3	1,66	1,82	1,90	2,20	2,00	1,64	1,18
	P4	1,65	1,81	1,89	2,11	1,84	1,58	1,16
	Média	1,66	1,74	1,91	2,10	1,88	1,58	1,15
	Desvio-padrão	0,23	0,12	0,04	0,07	0,08	0,05	0,02
EDT (s)	P1	1,57	1,79	1,76	2,02	1,85	1,61	1,08
	P2	0,99	1,32	1,74	2,13	1,86	1,47	1,08
	P3	1,15	1,85	1,86	2,15	1,97	1,63	1,13
	P4	1,71	1,82	1,85	2,22	1,81	1,48	1,11
	Média	1,35	1,69	1,80	2,13	1,87	1,55	1,10
	Desvio-padrão	0,34	0,25	0,06	0,08	0,07	0,09	0,02
D_{50}	P1	0,60	0,47	0,33	0,36	0,35	0,42	
	P2	0,55	0,38	0,44	0,31	0,37	0,37	
	P3	0,25	0,39	0,35	0,26	0,27	0,31	
	P4	0,70	0,55	0,38	0,26	0,28	0,35	
	Média	0,53	0,45	0,38	0,30	0,32	0,36	
	Desvio-padrão	0,19	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	

TABELA D.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 4.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)			
		P1 (1,77m)	P2 (3,46m)	P3 (4,42m)	P4 (5,04m)
STI		0,62 (bom)	0,55 (razoável)	0,48(razoável)	0,51(razoável)
%ALCons	(s/vent.)	6,0	8,8	12,5	10,9
STI	(c/vent.)	-	-	-	-
%ALCons		-	-	-	-

Nota: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado) c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

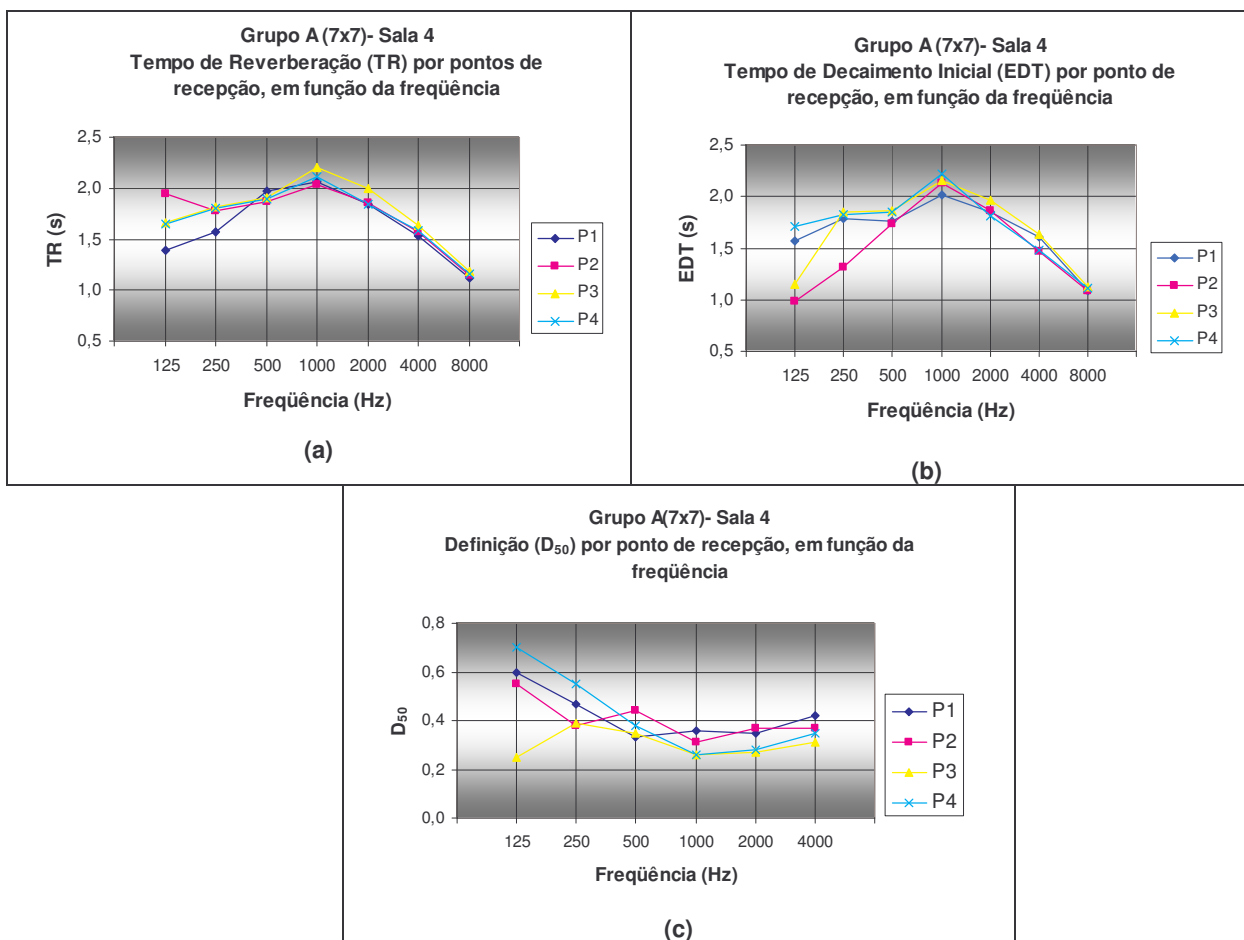


GRÁFICO D.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 4, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

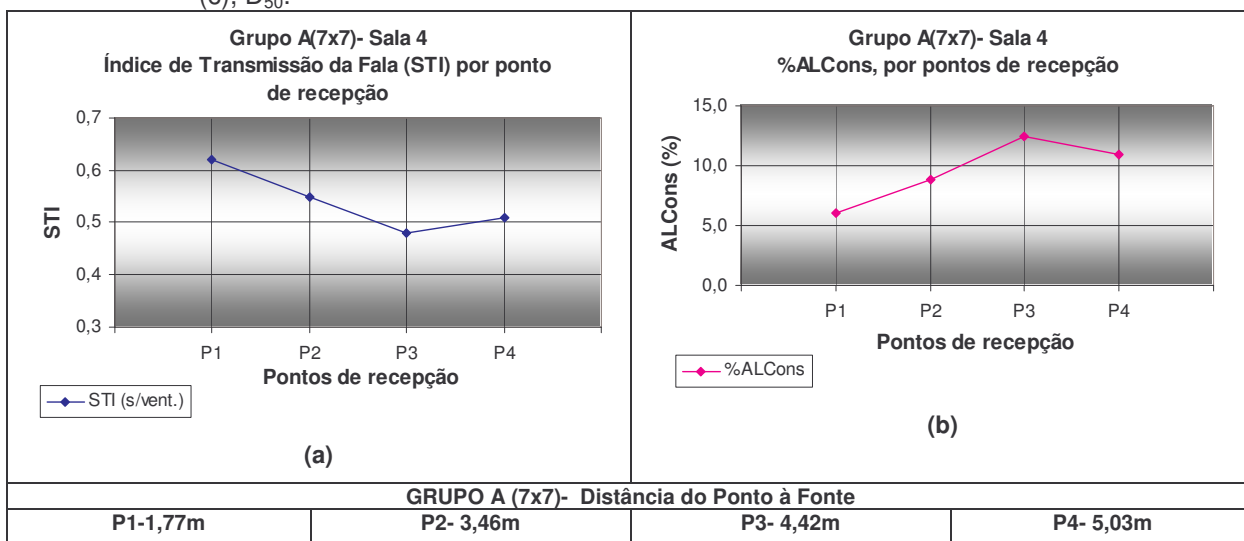


GRÁFICO D.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 4. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica

APÊNDICE E

GRUPO A (7X7) SALA 5 - ESCOLA: Sérgio Porto

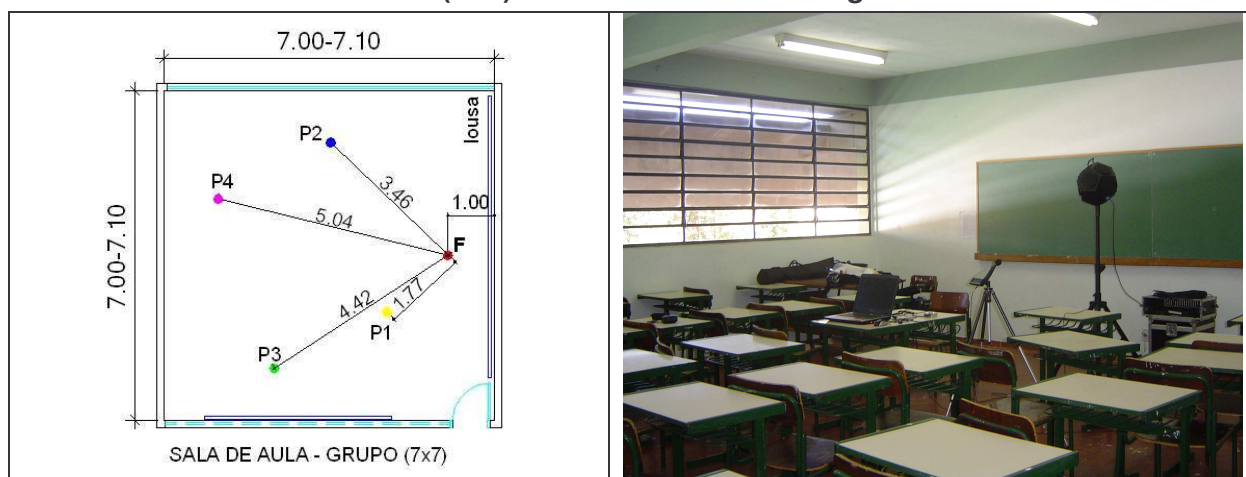


Figura E.1 : Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo A (7x7m).

Foto E.1: Vista interna da sala de aula 5- Sérgio Porto, com os equipamentos de medição acústica instalados. **Data:** 18/07/2006.

E.1 - Parâmetros arquitetônicos

a) **Localização da Escola:** Cidade Universitária –UNICAMP

b) **Data da construção:** anos 1991-1993.

c) **Localização da sala:** no pavimento superior; acima: cobertura de telhas de fibrocimento sobre a laje; abaixo: pátio interno.

d) **Posicionamento das aberturas da sala:** janelas voltadas para pátio externo (descoberto) de recreação.

e) **Dimensões internas:**

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
7,05	7,05	2,93	49,70	145,63

* dimensão paralela à lousa.

f) **Esquadrias:**

- Portas: (0,80x2,10m), de madeira tipo aglomerado.
- Janelas: 2 (3,50x1,50m) do tipo basculante, caixilhos metálicos pintados de preto e vidraçaria de 4mm.
- Outros (aberturas): tipo elemento vazado na parte superior da parede sobre a porta.

g) **Estrutura:** concreto armado, com vigas superiores aparentes.

h) **Piso:** cimento queimado com pigmento avermelhado.

i) **Teto:** laje em concreto armado; acabamento em tinta látex sobre massa.

j) **Paredes:** espessura de 15cm, acabamento em pintura de tinta acrílica sobre massa.

k) **Lousa:** 4,00m (comprimento) x 1,00m (altura).

l) **Mobiliário:**

- ❖ Cadeiras: (35 unidades), estrutura metálica, com encosto e assento em madeira compensada.
- ❖ Carteiras: (35 unidades), estrutura metálica, pintadas, com tinta esmalte cor verde escuro.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com tampo, encosto e assento em madeira compensada.
- ❖ Outros: 2 armários em madeira e um em aço.

m) **Iluminação artificial:** 4 luminárias tipo calhas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada (40W, luz do dia).

n) **Ventilação artificial:** um ventilador (sem potencia identificada) fixado em parede (posterior), no lado oposto à lousa.

o) **Outros:** Janelas não têm cortinas.

E.2 - Parâmetros acústicos

a) Data de medição: 18/07/2006.

b) Horário: manhã.

c) Condições de uso: sala e escola desocupadas.

d) Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo:d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 39,8\text{dB(A)}$.d.2) Na sala, com o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 57,0\text{dB(A)}$.d.3) Externo à escola: $L_{Aeq} = 55,8\text{dB(A)}$.e) Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):**TABELA E.1-** Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 5, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	1,71	1,64	1,94	2,06	1,82	1,55	1,03
	P2	1,53	1,60	1,81	2,03	1,79	1,46	1,01
	P3	1,81	1,70	1,87	1,92	1,72	1,44	0,99
	P4	1,52	1,59	1,91	1,99	1,81	1,50	1,02
	Média	1,64	1,63	1,88	2,00	1,79	1,49	1,01
	Desvio-padrão	0,14	0,05	0,06	0,06	0,04	0,05	0,02
EDT (s)	P1	1,18	1,41	1,93	1,90	1,74	1,48	0,86
	P2	1,49	1,42	2,19	2,06	1,63	1,31	0,88
	P3	1,67	1,42	1,68	1,96	1,69	1,50	0,88
	P4	1,70	1,73	1,90	2,00	1,54	1,43	0,95
	Média	1,51	1,49	1,93	1,98	1,65	1,43	0,89
	Desvio-padrão	0,24	0,15	0,11	0,07	0,09	0,08	0,04
D_{50}	P1	0,51	0,45	0,34	0,39	0,37	0,43	
	P2	0,39	0,44	0,31	0,36	0,32	0,43	
	P3	0,57	0,42	0,27	0,26	0,32	0,39	
	P4	0,44	0,30	0,36	0,32	0,35	0,33	
	Média	0,48	0,40	0,32	0,33	0,34	0,40	
	Desvio-padrão	0,08	0,07	0,04	0,06	0,02	0,05	

TABELA E.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 5.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)			
		P1 (1,77m)	P2 (3,46m)	P3 (4,42m)	P4 (5,04m)
STI	(s/vent.)	0,52(razoável)	0,51(razoável)	0,51(razoável)	0,50 (razoável)
%ALCons		10,2	11,0	11,0	11,6
STI	(c/vent.)	0,50 (razoável)	0,49 (razoável)	0,46 (razoável)	0,38 (pobre)
%ALCons		11,2	12,0	14,1	21,3

Nota: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado) c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

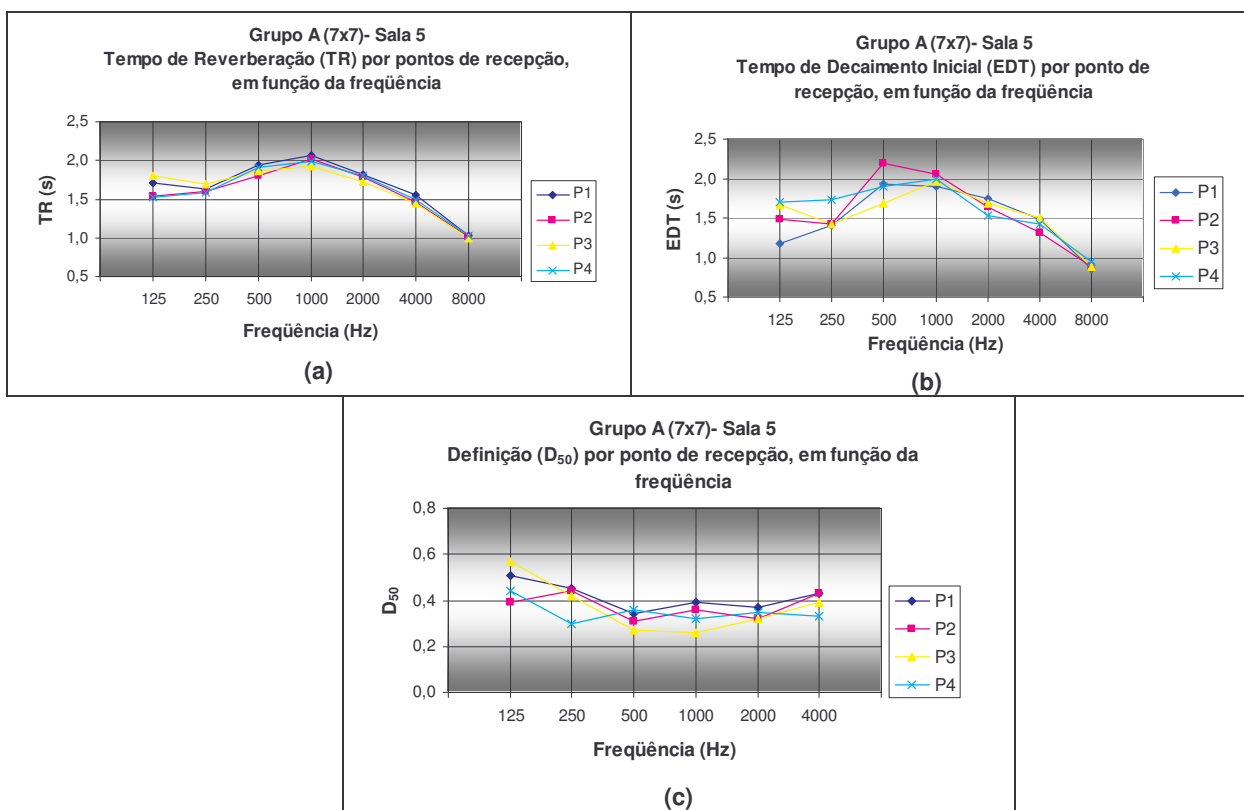


GRÁFICO E.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 5, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

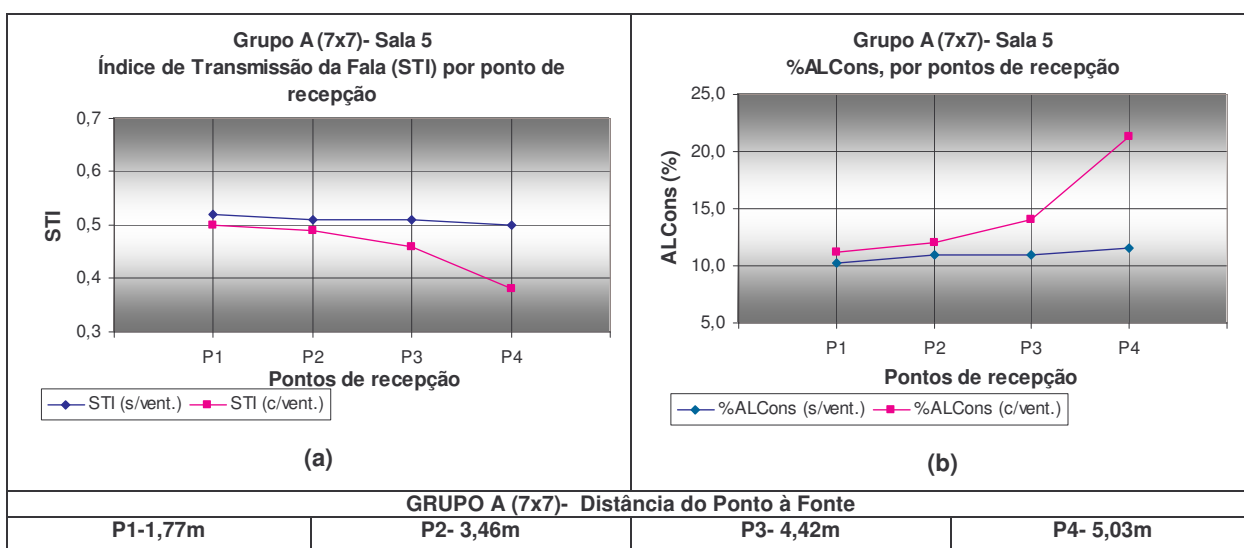


GRÁFICO E.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 5. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica.

APÊNDICE F

GRUPO A (7X7) SALA 6 - ESCOLA: Telêmaco Paioli

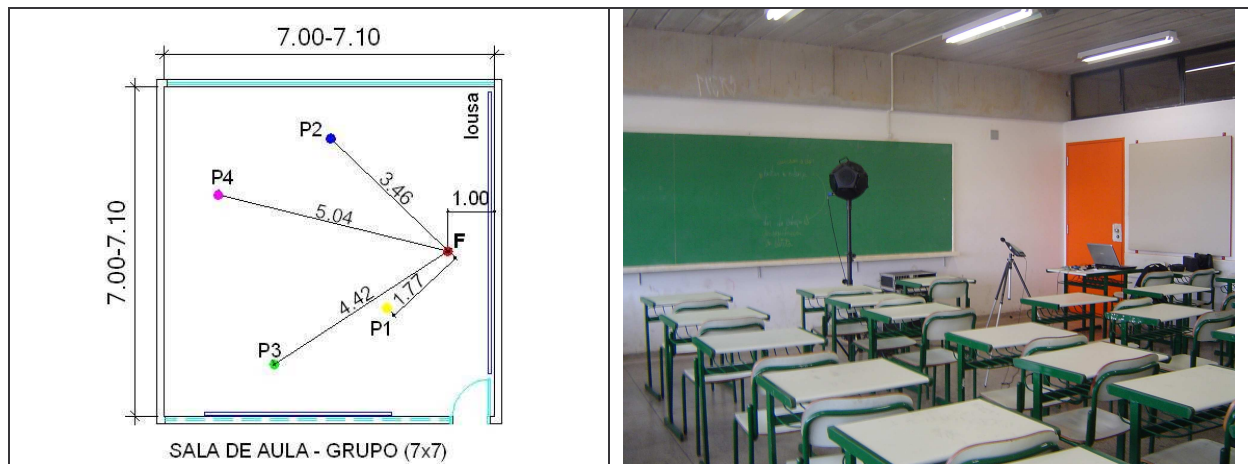


Figura F.1 : Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo A (7x7m).

Foto F.1: Vista interna da sala de aula 6- Telêmaco Paioli, com os equipamentos de medição acústica instalados. **Data:** 03/11/2006.

F.1 - Parâmetros arquitetônicos

a) **Localização da Escola:** periférica, Bairro San Martin.

b) **Data de construção:** 2003-2004, pela FDE.

c) **Localização da sala:** 2.º pavimento superior; acima: cobertura metálica; abaixo: salas de aula, administrativas.

d) **Posicionamento das aberturas da sala:** portas voltadas para a circulação interna de acesso às salas. Janelas voltadas para rua secundária e sem saída.

e) **Dimensões internas:**

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m²)	Volume (m³)
7,00	7,05	3,00	49,35	148,05

* dimensão paralela à lousa.

f) **Esquadrias:**

- Portas: (0,80x2,10m) madeira, tipo aglomerado.
- Janelas: do tipo basculante, caixilhos metálicos e vidraçaria 4mm.
- Outros (aberturas): janelas basculantes com caixilhos metálicos, ao longo da parede sobre a porta.

g) **Estrutura:** modulada, em concreto armado pré-fabricado (pilares revestidos; vigas e laje aparentes).

h) **Piso:** tipo granilite.

i) **Teto:** lajes alveolares, em concreto armado aparente.

j) **Paredes:** painéis de alvenaria de tijolos (esp. 15cm); acabamento em pintura de tinta acrílica sobre massa.

k) **Lousa:** 4,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) **Mobiliário:**

❖ Cadeiras: (35 unidades), estrutura metálica, com encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.

❖ Carteiras: (35 unidades), estrutura metálica, pintadas, com tinta esmalte cor verde escuro, acabamento em fórmica.

❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com tampo, encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.

m) **Iluminação artificial:** 6 luminárias tipo calhas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada (40W, luz do dia).

n) **Ventilação artificial:** um ventilador de teto (sem potencia identificada).

o) **Outros:** Janelas não têm cortinas.

F.2 - Parâmetros acústicos

a) Data de medição: 03/11/2006.

b) Horário: tarde.

c) Condições de uso: sala e escola desocupadas (feriado).

d) Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo:

d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 42,2\text{dB(A)}$.

d.2) Na sala, com o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 60,5\text{dB(A)}$.

d.3) Externo à escola: $L_{Aeq} = 55,0\text{dB(A)}$.

e) Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):

TABELA F.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 6, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	1,51	1,62	1,56	1,77	1,70	1,39	0,98
	P2	1,57	1,62	1,64	1,81	1,79	1,41	0,98
	P3	1,46	1,57	1,62	1,80	1,76	1,44	0,98
	P4	1,67	1,62	1,51	1,65	1,61	1,28	0,92
	Média	1,55	1,61	1,58	1,76	1,71	1,38	0,96
	Desvio-padrão	0,09	0,03	0,06	0,08	0,08	0,07	0,03
EDT (s)	P1	1,44	1,46	1,66	1,79	1,68	1,39	0,90
	P2	0,73	1,34	1,52	1,73	1,61	1,32	0,93
	P3	1,30	1,51	1,61	1,81	1,73	1,34	0,97
	P4	1,77	1,42	1,42	1,70	1,57	1,18	0,88
	Média	1,31	1,43	1,55	1,76	1,65	1,30	0,92
	Desvio-padrão	0,43	0,07	0,11	0,05	0,07	0,09	0,04
D_{50}	P1	0,70	0,52	0,37	0,41	0,36	0,48	
	P2	0,43	0,37	0,41	0,34	0,32	0,46	
	P3	0,29	0,46	0,36	0,32	0,31	0,42	
	P4	0,63	0,52	0,38	0,30	0,37	0,45	
	Média	0,51	0,47	0,38	0,34	0,34	0,45	
	Desvio-padrão	0,19	0,07	0,02	0,05	0,03	0,03	

TABELA F.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 6.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)			
		P1 (1,77m)	P2 (3,46m)	P3 (4,42m)	P4 (5,04m)
STI	(s/vent.)	0,54 (razoável)	0,53(razoável)	0,50(razoável)	0,54(razoável)
%ALCons		9,2	9,6	11,1	9,3
STI	(c/vent.)	0,53 (razoável)	0,52 (razoável)	0,49 (razoável)	0,49 (razoável)
%ALCons		9,9	10,3	12,0	11,7

Nota: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado) c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

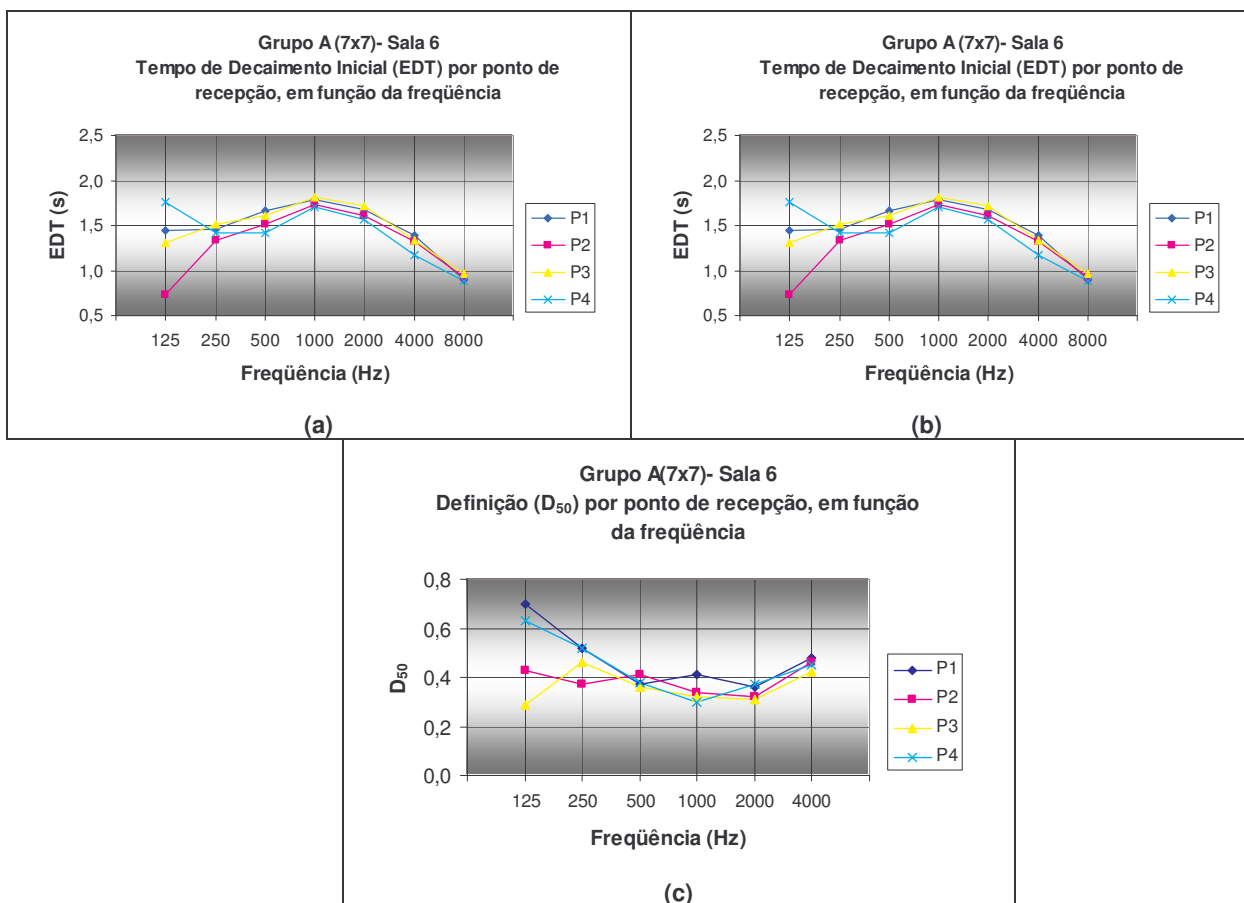


GRÁFICO F.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 6, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

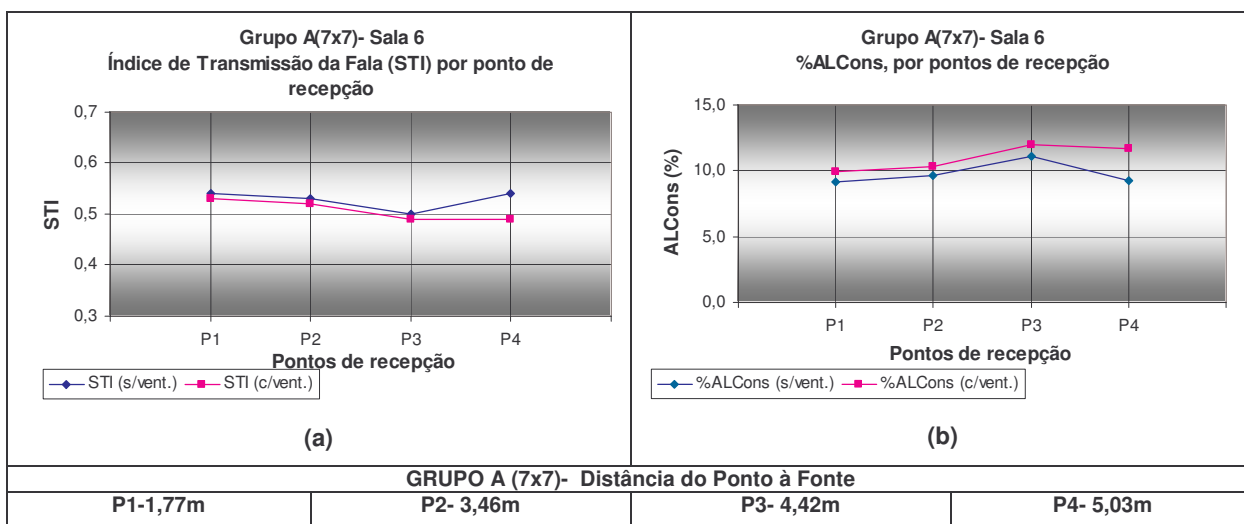


GRÁFICO F.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 6. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica.

APÊNDICE G

GRUPO B (6X8) SALA 7 - ESCOLA: Adalberto Nascimento

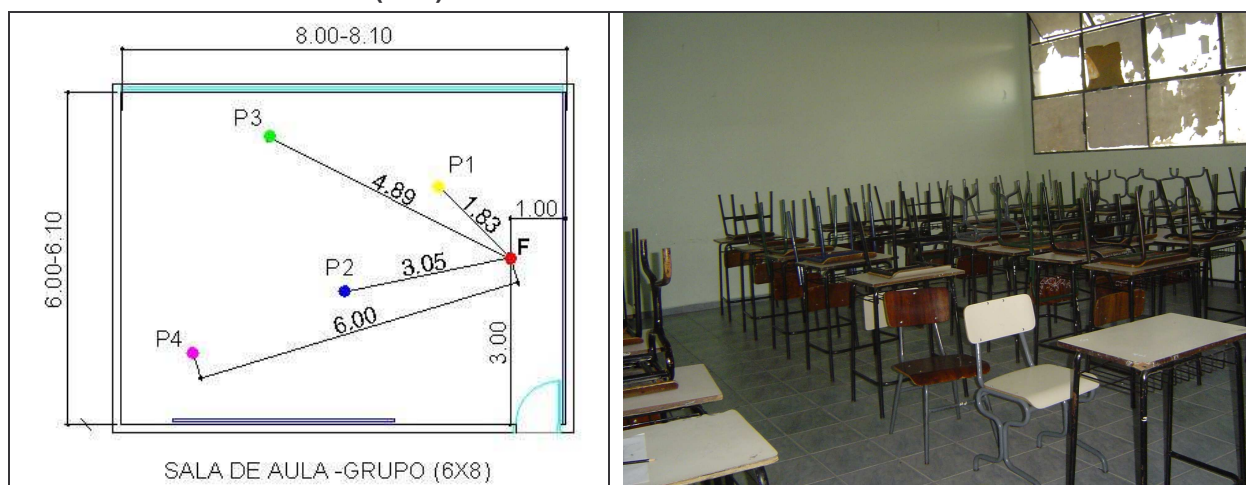


Figura G.1 : Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo B (6x8m).

Foto G.1: Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo B (6x8m).

G.1 - Parâmetros arquitetônicos

a) **Localização da Escola:** Bairro Taquaral.

b) **Data da construção:** anos 1960 e reformada nos anos 1990.

c) **Localização da sala:** pavimento superior; acima do teto: cobertura de fibrocimento sobre a laje; abaixo do piso: salas administrativas.

d) **Posicionamento das aberturas da sala:** portas voltadas para a circulação interna, janelas voltadas para área lateral à rua principal de acesso à escola.

e) **Dimensões internas:**

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
6,00	8,00	3,50	48,00	168,00

* dimensão paralela à lousa.

f) **Esquadrias:**

- Portas: 0,80x2,10m, de madeira, tipo aglomerado.
- Janelas: do tipo basculante, caixilhos metálicos e vidraçaria 4mm.
- Outros (aberturas): não.

g) **Estrutura:** concreto armado revestida.

h) **Piso:** cerâmico.

i) **Teto:** laje em concreto armado com revestimento.

j) **Paredes:** alvenaria de tijolos (esp. 15cm), acabamento em pintura de tinta acrílica sobre massa.

k) **Lousa:** 6,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) **Mobiliário:**

- ❖ Cadeiras: (35 unidades), estrutura metálica, com encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.
- ❖ Carteiras: (35 unidades), estrutura metálica e acabamento em fórmica.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com tampo, encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.

m) **Iluminação artificial:** 6 luminárias tipo calhas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada (40W, luz do dia).

n) **Ventilação artificial:** um ventilador de teto (sem potencia identificada).

o) **Outros:** Janelas não têm cortinas.

G.2 - Parâmetros acústicos

a) Data de medição: 13/07/2006.

b) Horário: tarde.

c) Condições de uso: sala e escola desocupadas.

d) Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo:d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 43,0\text{dB(A)}$.d.2) Na sala, com o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 63,0\text{dB(A)}$.d.3) Externo à escola: $L_{Aeq} = 52,6\text{dB(A)}$.e) Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):**TABELA G.1-** Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 7, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	2,00	2,22	2,10	2,11	1,84	1,48	0,93
	P2	1,93	2,20	2,21	2,10	1,84	1,55	0,99
	P3	2,26	1,99	2,00	2,03	1,88	1,54	1,01
	P4	2,02	2,14	2,12	2,13	1,86	1,54	0,99
	Média	2,05	2,14	2,11	2,09	1,85	1,53	0,98
	Desvio-padrão	0,14	0,11	0,09	0,04	0,02	0,03	0,03
EDT (s)	P1	1,34	1,49	1,78	1,89	1,80	1,32	0,76
	P2	3,04	1,87	1,93	2,13	1,97	1,46	0,89
	P3	2,56	2,04	2,34	2,19	1,97	1,52	0,90
	P4	1,97	1,99	1,73	2,07	1,90	1,51	0,82
	Média	2,23	1,85	1,95	2,07	1,91	1,45	0,84
	Desvio-padrão	0,74	0,25	0,08	0,13	0,08	0,09	0,07
D_{50}	P1	0,48	0,45	0,41	0,40	0,48	0,60	
	P2	0,11	0,33	0,29	0,35	0,34	0,38	
	P3	0,31	0,26	0,36	0,34	0,31	0,39	
	P4	0,14	0,36	0,40	0,34	0,29	0,38	
	Média	0,26	0,35	0,37	0,36	0,36	0,44	
	Desvio-padrão	0,17	0,08	0,05	0,03	0,09	0,11	

TABELA G.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 7.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)			
		P1 (1,83m)	P2 (3,05m)	P3 (4,89m)	P4 (6,00m)
STI	(s/vent.)	0,53 (razoável)	0,47 (razoável)	0,46 (razoável)	0,48 (razoável)
%ALCons		9,5	13,4	14,1	12,5
STI	(c/vent.)	0,43 (pobre)	0,38 (pobre)	0,40 (pobre)	0,40 (pobre)
%ALCons		16,4	21,6	19,5	20,0

Nota: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado) c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

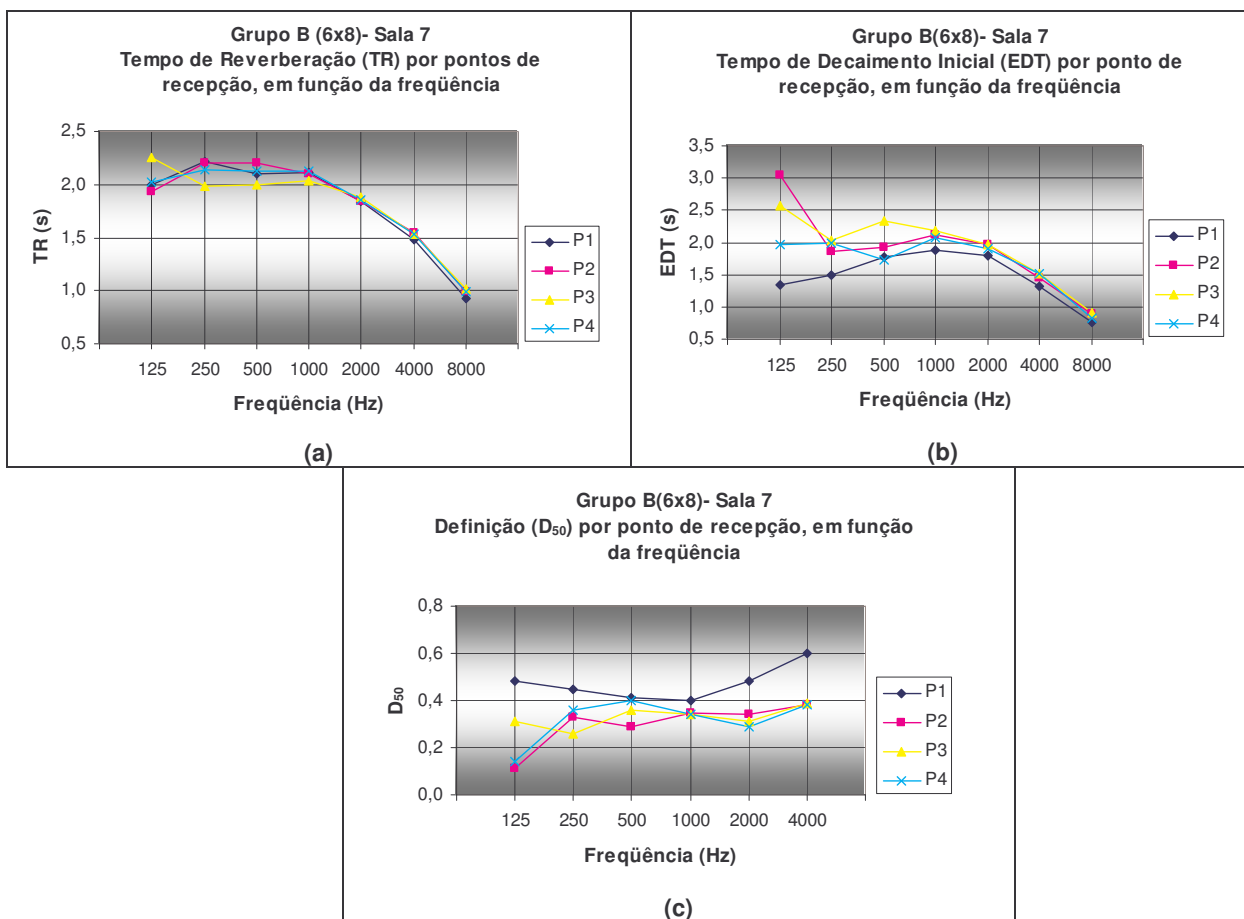


GRÁFICO G.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 7, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

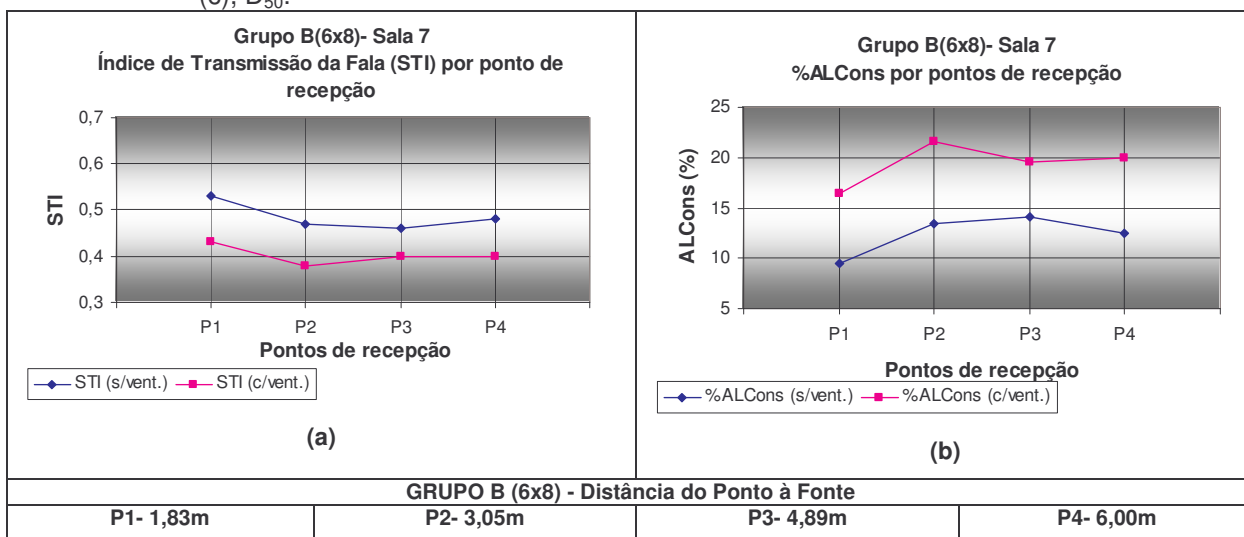


GRÁFICO G.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 7. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica.

APÊNDICE H

GRUPO B (6X8) SALA 8 - ESCOLA: Adiwalde Oliveira Coelho

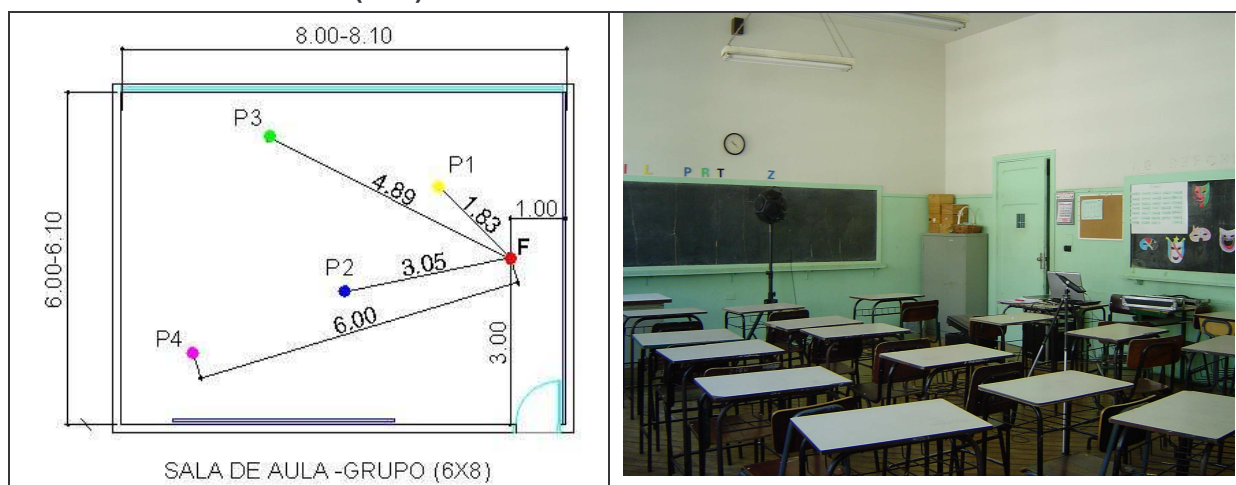


Figura H.1 : Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo B (6x8m).

Foto H.1: Vista interna da sala de aula 8- Adiwalde, com os equipamentos de medição acústica instalados.
Data: 10/03/2007.

H.1 - Parâmetros arquitetônicos

a) **Localização da Escola:** Bairro Taquaral

b) **Data da construção:** anos 1932-1935

c) **Localização da sala:** pavimento térreo.

d) **Posicionamento das aberturas da sala:** portas voltadas para a circulação interna, janelas voltadas para área lateral à rua principal de acesso à escola.

e) **Dimensões internas:**

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
6,00	8,10	3,90	48,60	189,54

* dimensão paralela à lousa.

f) **Esquadrias:**

- Portas: (0,90x2,20m), de madeira, tipo aglomerado.
- Janelas: 3 x (1,90x1,80m) do tipo basculante, caixilhos metálicos e vidraçaria 4mm.
- Outros (aberturas): não tem.

g) **Estrutura:** concreto armado revestida.

h) **Piso:** tábuas de madeira.

i) **Teto:** laje em concreto armado com revestimento.

j) **Paredes:** espessura de 17cm, acabamento em pintura de tinta acrílica sobre massa; e tinta esmalte até 1,80m do piso.

k) **Lousa:** 2 lousas com dimensões de 4,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) **Mobiliário:**

- ❖ Cadeiras: (35 unidades), estrutura metálica, com encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.
- ❖ Carteiras: (35 unidades), estrutura metálica, acabamento em fórmica.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com tampo, encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.
- ❖ Armários: um armário de aço.

m) **Iluminação artificial:** 4 luminárias tipo calhas, suspensas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada.

n) **Ventilação artificial:** dois ventiladores de teto (sem potência identificada).

o) **Outros:** Janelas não têm cortinas.

H.2 - Parâmetros acústicos

a) **Data de medição:** 10/03/2007.

b) **Horário:** manhã.

c) **Condições de uso:** sala e escola desocupadas (final de semana).

d) **Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo:**

d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 42,5$ dB(A).

d.2) Na sala, com o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 62,0$ dB(A).

d.3) Externo à escola: $L_{Aeq} = 57,5$ dB(A).

e) **Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):**

TABELA H.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 8, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	1,04	1,35	1,77	2,14	2,01	1,63	1,14
	P2	1,08	1,28	1,71	2,14	2,05	1,69	1,16
	P3	1,07	1,35	1,80	2,26	2,04	1,65	1,15
	P4	1,07	1,26	1,78	2,13	2,08	1,72	1,17
	Média	1,07	1,31	1,76	2,17	2,04	1,67	1,16
	Desvio-padrão	0,02	0,05	0,04	0,06	0,03	0,04	0,01
EDT (s)	P1	1,14	1,38	1,70	2,03	1,99	1,54	1,01
	P2	1,24	1,03	1,50	2,07	2,01	1,62	1,09
	P3	0,73	1,07	1,56	1,99	2,06	1,66	1,07
	P4	1,19	1,30	1,72	2,00	1,97	1,55	1,05
	Média	1,08	1,19	1,62	2,02	2,01	1,59	1,05
	Desvio-padrão	0,24	0,17	0,11	0,04	0,04	0,05	0,03
D_{50}	P1	0,47	0,46	0,34	0,35	0,34	0,48	
	P2	0,49	0,48	0,48	0,36	0,30	0,34	
	P3	0,49	0,62	0,35	0,38	0,31	0,31	
	P4	0,50	0,41	0,38	0,30	0,25	0,36	
	Média	0,49	0,49	0,39	0,35	0,30	0,37	
	Desvio-padrão	0,01	0,09	0,06	0,03	0,04	0,07	

TABELA H.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 8.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)			
		P1 (1,83m)	P2 (3,05m)	P3 (4,89m)	P4 (6,00m)
STI		0,50 (razoável)	0,50 (razoável)	0,51 (razoável)	0,49 (razoável)
%ALCons	(s/vent.)	11,1	11,2	10,6	11,9
STI	(c/vent.)	0,33 (pobre)	0,37 (pobre)	0,36 (pobre)	0,35 (pobre)
%ALCons		28,0	22,7	24,5	26,1

Nota: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado) c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

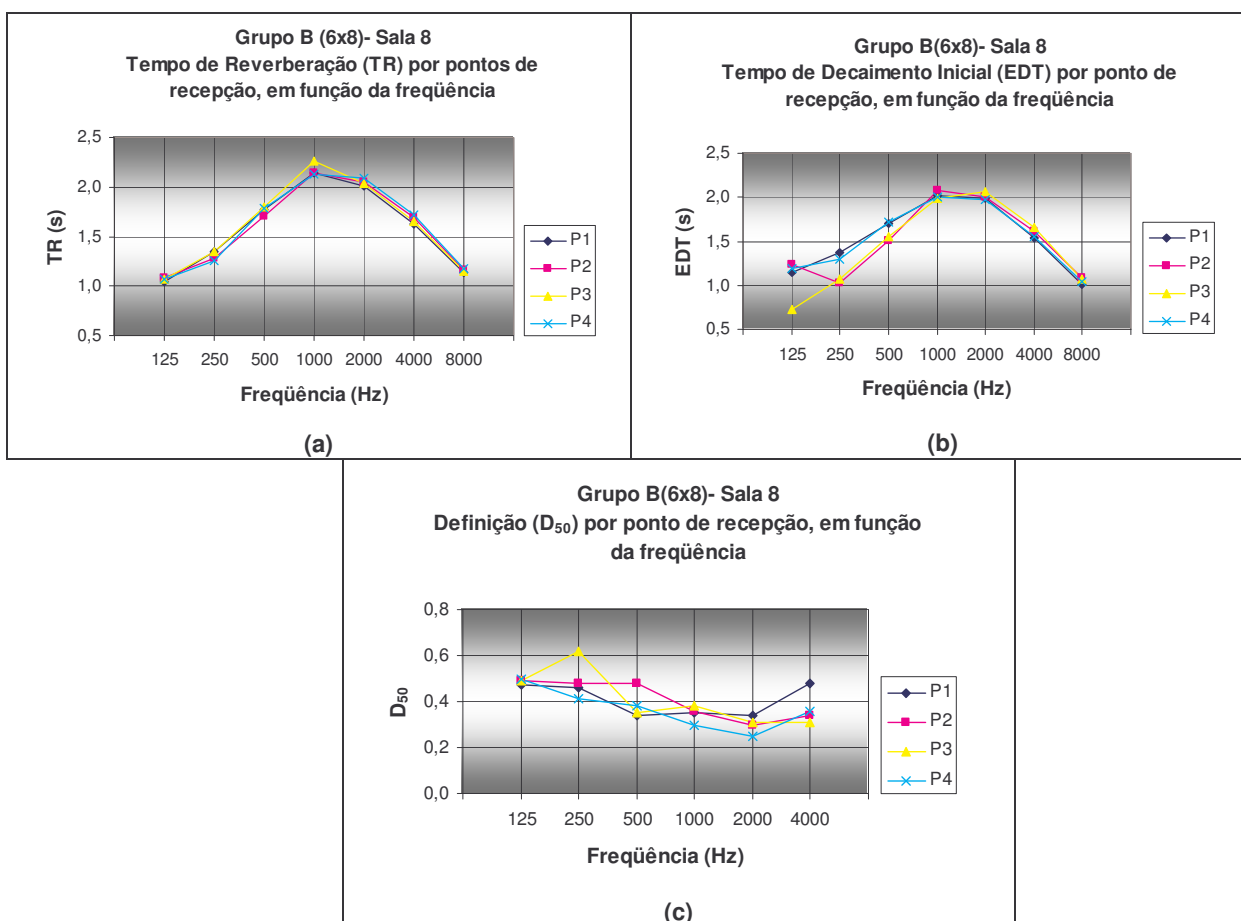


GRÁFICO H.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 8, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

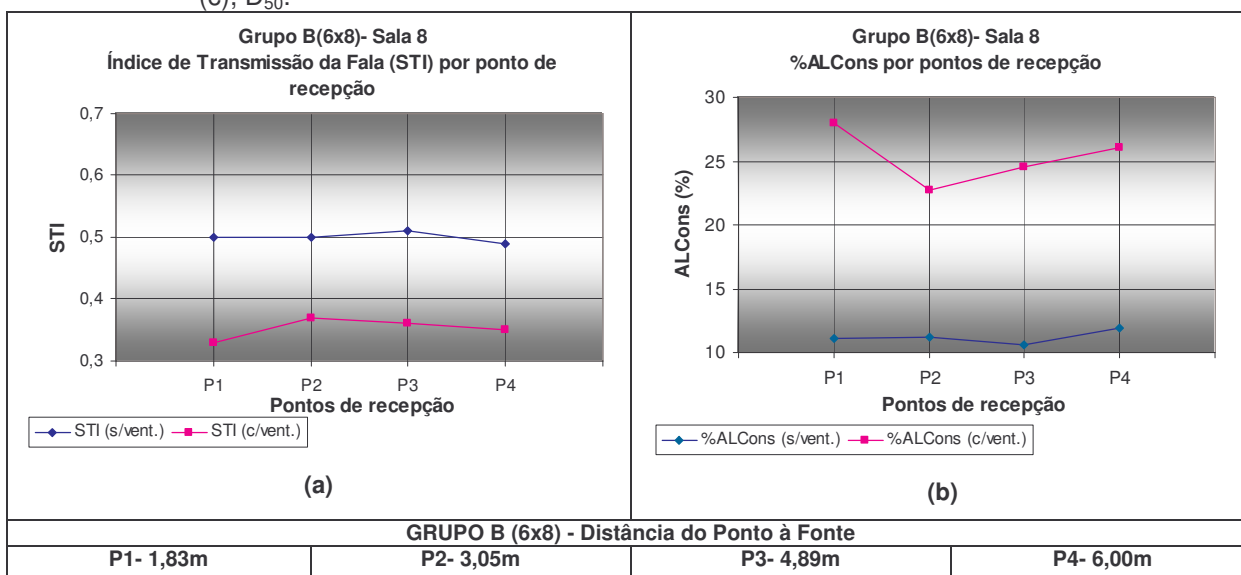


GRÁFICO H.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 8. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica

APÊNDICE I

GRUPO B (6X8) SALA 9 - ESCOLA: Ana Rita Godinho Pousa

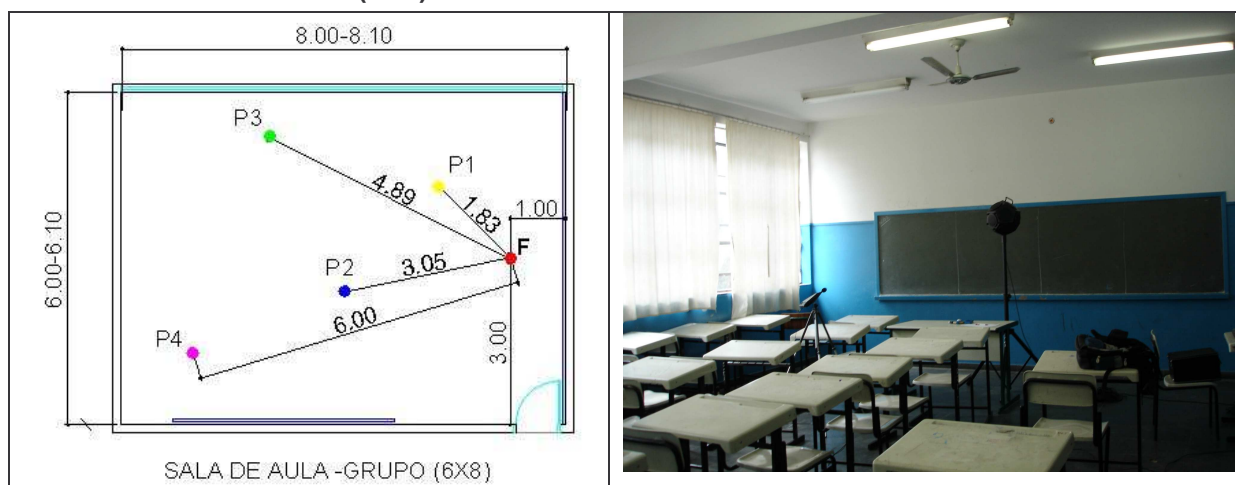


Figura I.1 : Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo B (6x8m).

Foto I.1.: Vista interna da sala de aula 9- Ana Rita com os equipamentos de medição acústica instalados.

Data: 17/03/2007.

I.1 - Parâmetros arquitetônicos

a) Localização da Escola: Bairro Vila Esmeralda/Taquaral.

b) Data da construção: ano 1962.

c) Localização da sala: pavimento superior, piso abaixo: salas de aula; piso acima: cobertura em telhas de fibrocimento sobre laje de concreto.

d) Posicionamento das aberturas da sala: portas voltadas para a circulação interna, janelas voltadas para área de lazer da escola.

e) Dimensões internas:

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
6,00	8,10	3,10	48,60	150,66

* dimensão paralela à lousa.

f) Esquadrias:

- Portas: 0,80x2,10m, de madeira, tipo aglomerado.
- Janelas: ao longo da parede, do tipo basculante, caixilhos metálicos e vidraçaria 4mm.
- Outros (aberturas): elementos vazados cerâmicos na parede oposta à janela, sobre a porta de acesso.

g) Estrutura: concreto armado revestida.

h) Piso: pedra ardósia.

i) Teto: laje em concreto armado com revestimento.

j) Paredes: espessura de 15cm, acabamento em pintura de tinta acrílica sobre massa.

k) Lousa: 2 lousas com dimensões de 4,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) Mobiliário:

- ❖ Cadeiras: (35 unidades), estrutura metálica, com encosto e assento em fibra de vidro.
- ❖ Carteiras: (35 unidades), estrutura metálica e tampo em fibra de vidro.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com tampo, encosto e assento em fibra de vidro.

m) Iluminação artificial: 6 luminárias tipo calhas, suspensas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada.

n) Ventilação artificial: 2 ventiladores de teto (sem potência identificada).

o) Outros: cortinas de tecido.

I.2 - Parâmetros acústicos

a) Data de medição: 17/03/2007.

b) Horário: manhã.

c) Condições de uso: sala e escola desocupadas (final de semana).

d) Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo:

d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 43,0\text{dB(A)}$.

d.2) Na sala, com o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 62,0\text{dB(A)}$.

d.3) Externo à escola: $L_{Aeq} = 58,8\text{dB(A)}$.

e) Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):

TABELA I.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 9, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	2,54	2,10	1,48	1,37	1,25	1,15	0,87
	P2	3,36	2,11	1,52	1,36	1,25	1,14	0,86
	P3	2,80	2,02	1,46	1,38	1,27	1,13	0,87
	P4	2,90	2,04	1,41	1,31	1,26	1,15	0,88
	Média	2,90	2,07	1,46	1,35	1,26	1,14	0,87
	Desvio-padrão	0,34	0,04	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01
EDT (s)	P1	2,93	2,15	1,43	1,30	1,29	1,09	0,77
	P2	3,24	2,21	1,18	1,34	1,24	1,07	0,83
	P3	3,26	1,90	1,39	1,31	1,25	1,14	0,78
	P4	3,33	1,76	1,50	1,42	1,25	1,08	0,82
	Média	3,19	2,00	1,38	1,34	1,26	1,10	0,80
	Desvio-padrão	0,18	0,21	0,14	0,06	0,02	0,03	0,03
D_{50}	P1	0,30	0,41	0,50	0,57	0,57	0,62	
	P2	0,11	0,29	0,46	0,41	0,39	0,48	
	P3	0,22	0,28	0,47	0,40	0,39	0,48	
	P4	0,12	0,26	0,26	0,37	0,36	0,45	
	Média	0,19	0,31	0,42	0,44	0,43	0,51	
	Desvio-padrão	0,09	0,07	0,11	0,09	0,10	0,08	

TABELA I.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 9.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)			
		P1 (1,83m)	P2 (3,05m)	P3 (4,89m)	P4 (6,00m)
STI		0,55 (razoável)	0,52 (razoável)	0,50 (razoável)	0,47 (razoável)
%ALCons	(s/vent.)	8,8	10,1	11,1	13,3
STI	(c/vent.)	0,30 (ruim)	0,35 (pobre)	0,27 (ruim)	0,25 (ruim)
%ALCons		33,8	25,2	38,6	43,1

Nota: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado) c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

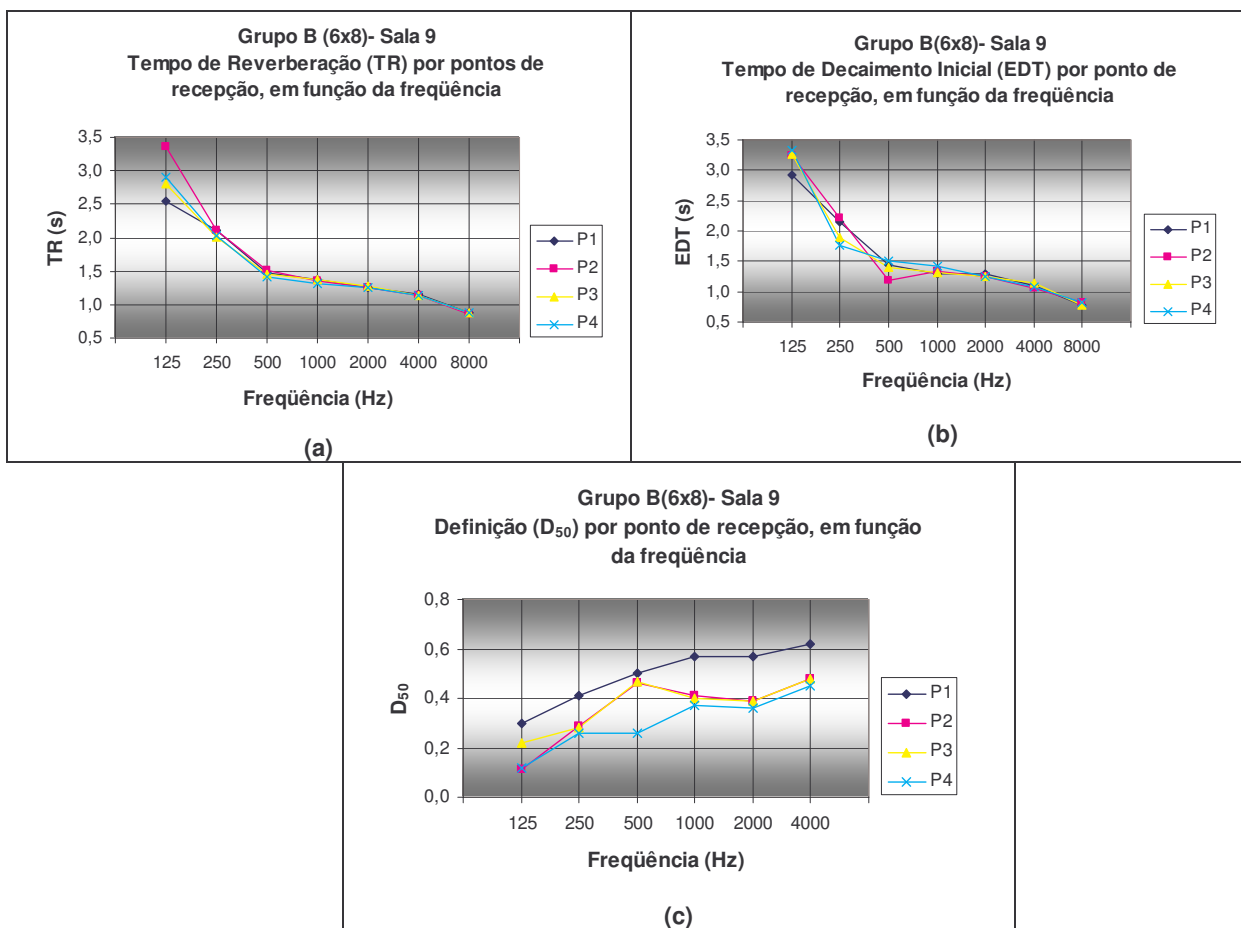


GRÁFICO I.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 9, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

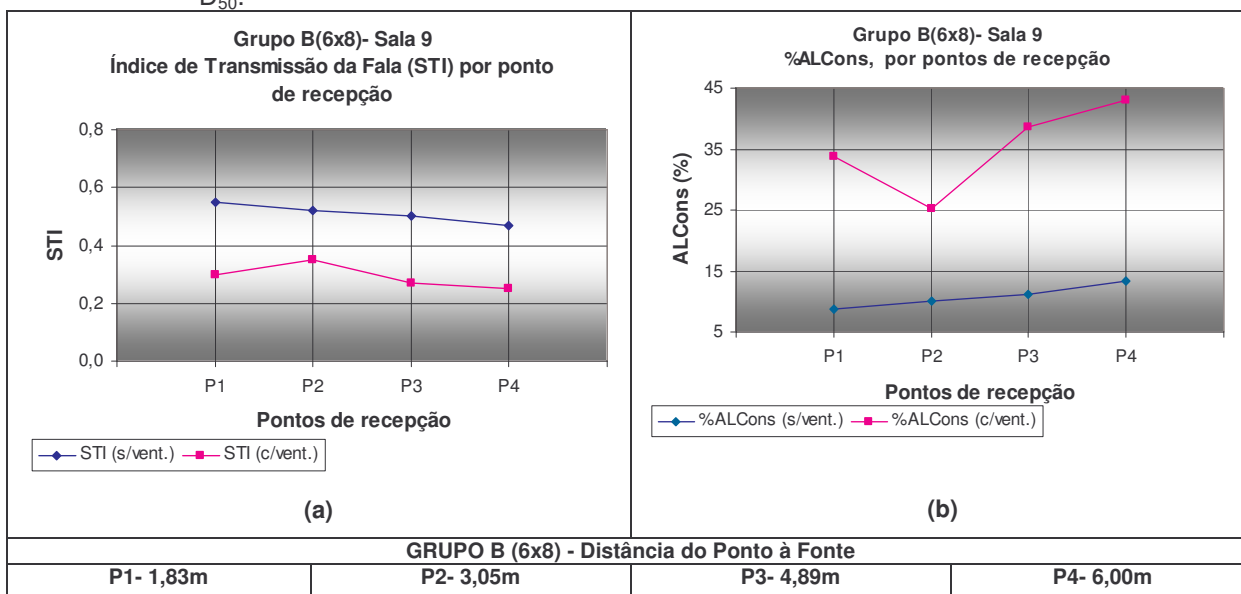


GRÁFICO I.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 9. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica.

APÊNDICE J

GRUPO B (6X8) SALA 10- ESCOLA: Carlos Pimentel

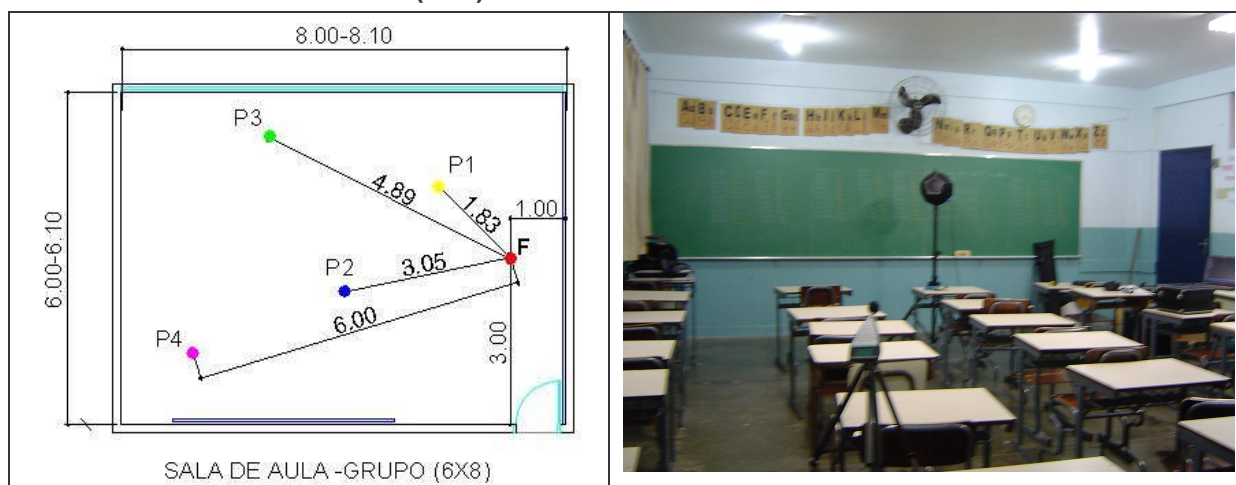


Figura J.1 : Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo B (6x8m).

Foto J.1: Vista interna da sala de aula 10- Carlos Pimentel com os equipamentos de medição acústica instalados. **Data:** 28/03/2007.

J.1 - Parâmetros arquitetônicos

a) **Localização da Escola:** Bairro Jardim Santa Genebra.

b) **Data da construção:** anos 1972-1974.

c) **Localização da sala:** pavimento térreo.

d) **Posicionamento das aberturas da sala:** portas voltadas para a circulação externa de frente para rua principal de acesso; janelas voltadas para a circulação externa entre blocos de salas.

e) **Dimensões internas:**

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
6,00	8,00	2,94	48,00	141,12

* dimensão paralela à lousa.

f) **Esquadrias:**

- Portas: (0,80x2,10m), de madeira, tipo aglomerado.
- Janelas: ao longo da parede, do tipo basculante, caixilhos metálicos e vidraçaria 4mm.
- Outros (aberturas): elementos vazados cerâmicos na parede oposta à janela, sobre a porta de acesso.

g) **Estrutura:** concreto armado revestida.

h) **Piso:** cimento queimado cor natural.

i) **Teto:** laje em concreto armado com revestimento, sob telhas de fibrocimento.

j) **Paredes:** espessura de 15cm, acabamento em pintura de tinta acrílica sobre massa.

k) **Lousa:** 2 lousas com dimensões de 4,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) **Mobiliário:**

- ❖ Cadeiras: (35 unidades), estrutura metálica, com encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.
- ❖ Carteiras: (35 unidades), estrutura metálica, pintadas, com tinta esmalte cor cinza, acabamento em fórmica.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com tampo, encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.
- ❖ Armários: um armário de aço.

m) **Iluminação artificial:** 6 luminárias tipo calhas, suspensas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada.

n) **Ventilação artificial:** um ventilador fixado na parede, acima da lousa (sem potência identificada).

o) **Outros:** cortinas de tecido espesso drapeado.

J.2 - Parâmetros acústicos

a) Data de medição: 28/03/2007.

b) Horário: à noite.

c) Condições de uso: sala e escola desocupadas.

d) Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo:d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 42,6\text{dB(A)}$.d.2) Na sala, com o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 60,3\text{dB(A)}$.d.3) Externo à escola: $L_{Aeq} = 53,2\text{dB(A)}$.e) Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):**TABELA J.1-** Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 10, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	1,47	1,45	1,11	1,12	1,02	0,91	0,67
	P2	1,52	1,49	1,13	1,15	1,06	0,94	0,72
	P3	1,46	1,46	1,17	1,08	1,01	0,89	0,69
	P4	1,55	1,55	1,16	1,20	1,06	0,94	0,71
	Média	1,50	1,49	1,14	1,14	1,04	0,92	0,70
	Desvio-padrão	0,04	0,04	0,03	0,05	0,03	0,02	0,02
EDT (s)	P1	1,92	1,71	1,43	1,20	1,03	0,80	0,60
	P2	1,38	1,50	1,21	1,12	1,07	0,95	0,63
	P3	1,58	1,46	1,06	1,10	0,95	0,92	0,66
	P4	1,54	1,73	1,42	1,21	1,03	0,84	0,66
	Média	1,61	1,60	1,28	1,16	1,02	0,88	0,64
	Desvio-padrão	0,22	0,14	0,18	0,06	0,05	0,07	0,03
D_{50}	P1	0,46	0,48	0,58	0,54	0,57	0,64	
	P2	0,22	0,44	0,49	0,45	0,47	0,52	
	P3	0,29	0,32	0,43	0,45	0,53	0,60	
	P4	0,24	0,44	0,48	0,47	0,45	0,57	
	Média	0,30	0,42	0,50	0,48	0,51	0,58	
	Desvio-padrão	0,11	0,07	0,06	0,04	0,06	0,05	

TABELA J.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 10.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)			
		P1 (1,83m)	P2 (3,05m)	P3 (4,89m)	P4 (6,00m)
STI	(s/vent.)	0,57 (razoável)	0,55 (razoável)	0,55 (razoável)	0,55 (razoável)
%ALCons		7,7	8,5	8,5	8,9
STI	(c/vent.)	0,42 (pobre)	0,45 (pobre)	0,36 (pobre)	0,44 (pobre)
%ALCons		17,7	14,8	24,2	15,8

Nota: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado) c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

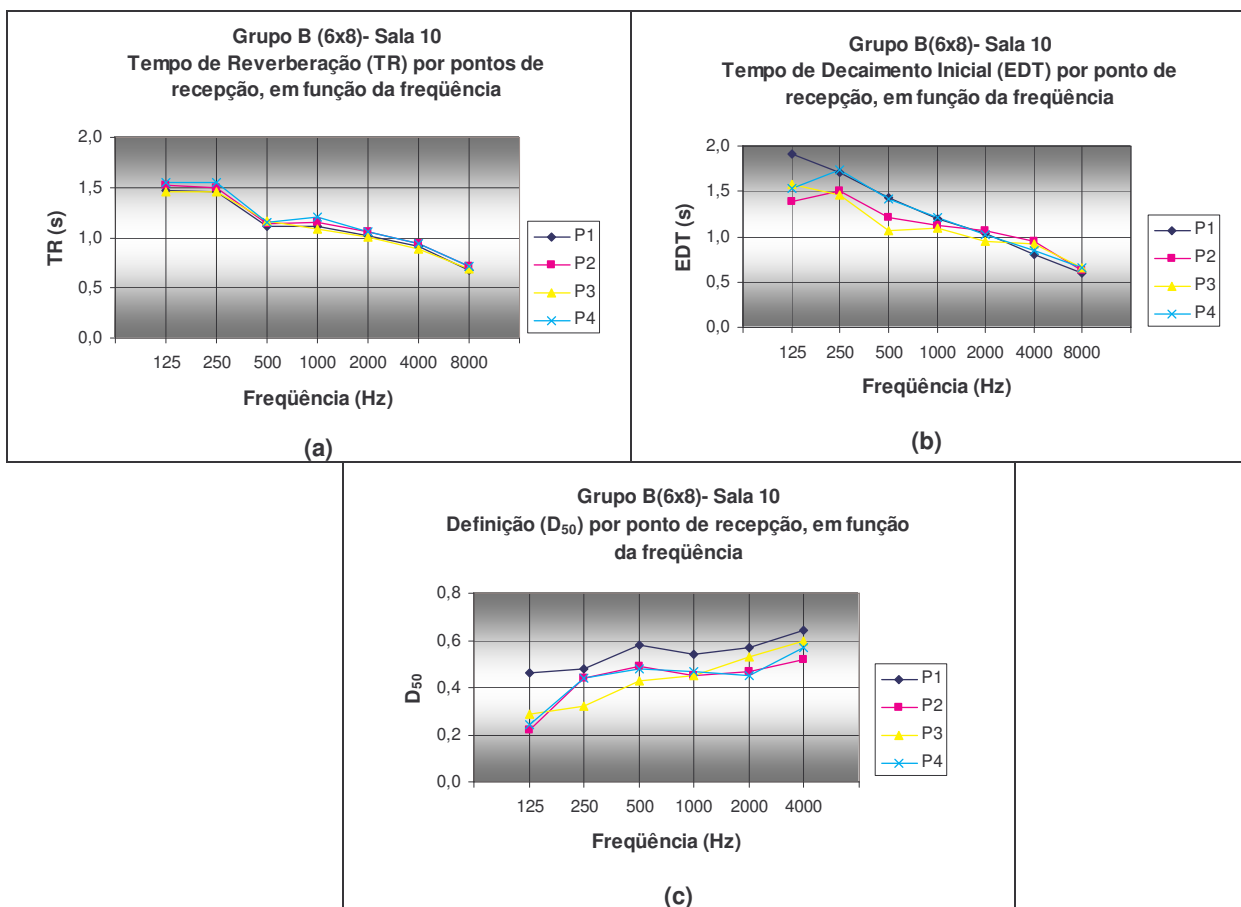


GRÁFICO J.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 10, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

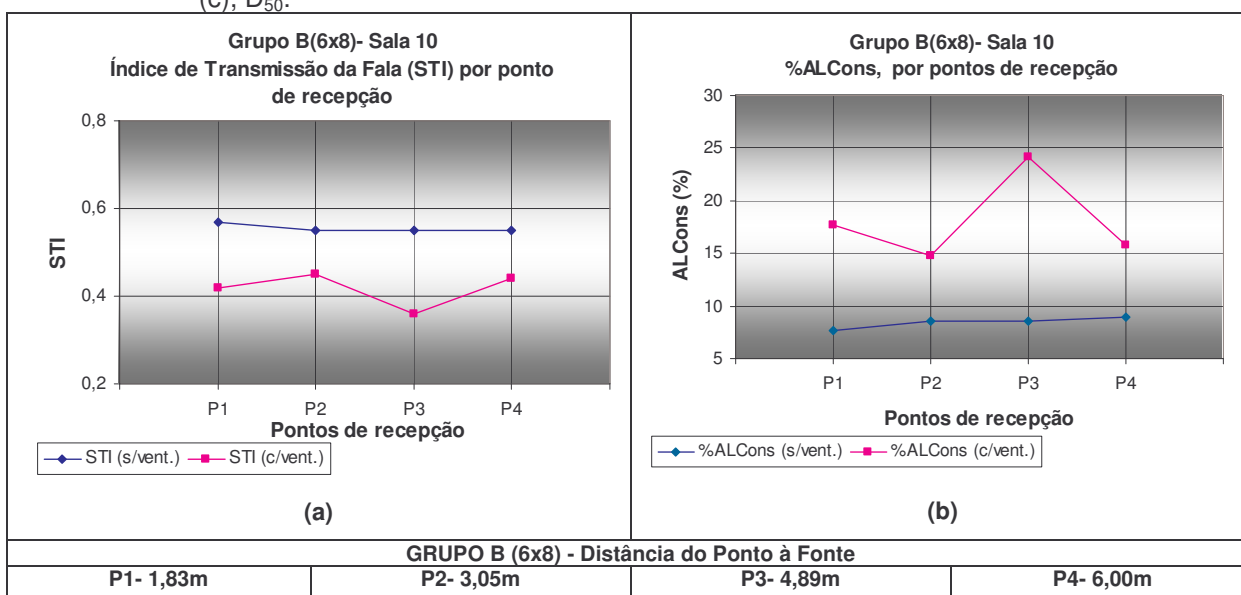


GRÁFICO J.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 10. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica.

APÊNDICE K

GRUPO B (6X8) SALA 11- ESCOLA: José Pedro Oliveira

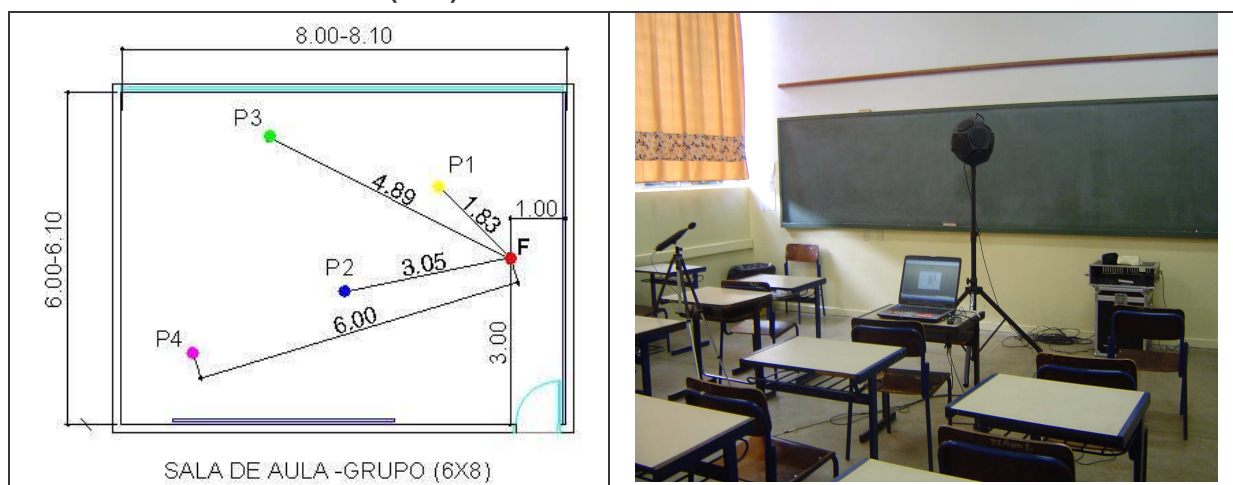


Figura K.1 : Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo B (6x8m).

Foto K.1: Vista interna da sala de aula 11- José Pedro, com os equipamentos de medição acústica instalados. **Data:** 03/10/2006.

K.1 - Parâmetros arquitetônicos

- a) **Localização da Escola:** Bairro Barão Geraldo.
b) **Data da construção:** ano de 1977, da CONESP.
c) **Localização da sala:** pavimento térreo.
d) **Posicionamento das aberturas da sala:** portas voltadas para pátio interno descoberto, entre blocos de salas; janelas voltadas para avenida principal de acesso.
e) **Dimensões internas:**

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
6,00	8,00	3,50	48,00	168,00

* dimensão paralela à lousa.

f) **Esquadrias:**

- Portas: (0,80x2,10m), de madeira, tipo aglomerado.
- Janelas: 2 (2,90x1,90m), do tipo basculante, caixilhos metálicos e vidraçaria 4mm.
- Outros (aberturas): não tem.

g) **Estrutura:** concreto armado revestida.h) **Piso:** granilite.i) **Teto:** laje em concreto armado com revestimento, sob telhas cerâmicas.j) **Paredes:** espessura de 15cm, acabamento em pintura de tinta esmalte até 1,60m do piso; restante em tinta látex.k) **Lousa:** 1 lousa com dimensões de 6,00m (comprimento) x 1,00 (altura).l) **Mobiliário:**

- ❖ Cadeiras: (35 unidades), estrutura metálica, com encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.
- ❖ Carteiras: (35 unidades), estrutura metálica, acabamento em fórmica.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com tampo, encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.
- ❖ Armários: 2 armários de aço com portas e 2 armários do tipo estante de aço.

m) **Iluminação artificial:** 4 luminárias tipo calhas, suspensas, com 2 lâmpadas fluorescentes cada.n) **Ventilação artificial:** um ventilador de teto (sem potência identificada).o) **Outros:** cortinas de tecido.

K.2 - Parâmetros acústicos

a) Data de medição: 03/10/2006.

b) Horário: manhã.

c) Condições de uso: sala e escola desocupadas (final de semana).

d) Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo:d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 45,8\text{dB(A)}$.d.2) Na sala, com o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 59,5\text{dB(A)}$.d.3) Externo à escola: $L_{Aeq} = 69,3\text{dB(A)}$.e) Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):**TABELA K.1-** Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 11, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	1,08	1,40	1,22	1,13	1,14	1,05	0,84
	P2	1,42	1,57	1,17	1,20	1,15	1,06	0,85
	P3	1,71	1,57	1,14	1,10	1,12	1,04	0,82
	P4	1,38	1,49	1,13	1,11	1,13	1,03	0,82
	Média	1,40	1,51	1,16	1,13	1,14	1,04	0,83
	Desvio-padrão	0,25	0,08	0,04	0,04	0,01	0,01	0,02
EDT (s)	P1	1,49	1,58	1,06	1,11	0,99	0,94	0,71
	P2	0,22	1,32	1,22	1,12	0,98	0,99	0,78
	P3	0,23	1,07	0,99	1,14	1,00	0,97	0,74
	P4	1,63	1,42	1,19	1,11	0,94	0,87	0,72
	Média	0,89	1,35	1,12	1,12	0,98	0,94	0,74
	Desvio-padrão	0,77	0,22	0,11	0,01	0,02	0,05	0,03
D_{50}	P1	0,36	0,52	0,54	0,53	0,59	0,64	
	P2	0,26	0,31	0,41	0,52	0,50	0,53	
	P3	0,29	0,32	0,48	0,46	0,57	0,56	
	P4	0,45	0,34	0,40	0,50	0,58	0,58	
	Média	0,34	0,37	0,46	0,50	0,56	0,58	
	Desvio-padrão	0,08	0,10	0,07	0,03	0,04	0,05	

TABELA K.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 11.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)			
		P1 (1,83m)	P2 (3,05m)	P3 (4,89m)	P4 (6,00m)
STI	(s/vent.)	0,55 (razoável)	0,50 (razoável)	0,43 (pobre)	0,54(razoável)
%ALCons		8,8	11,3	16,2	9,3
STI	(c/vent.)	0,49 (razoável)	0,41 (pobre)	0,26 (ruim)	0,46 (razoável)
%ALCons		12,3	18,3	23,8	14,4

Nota: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado) c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

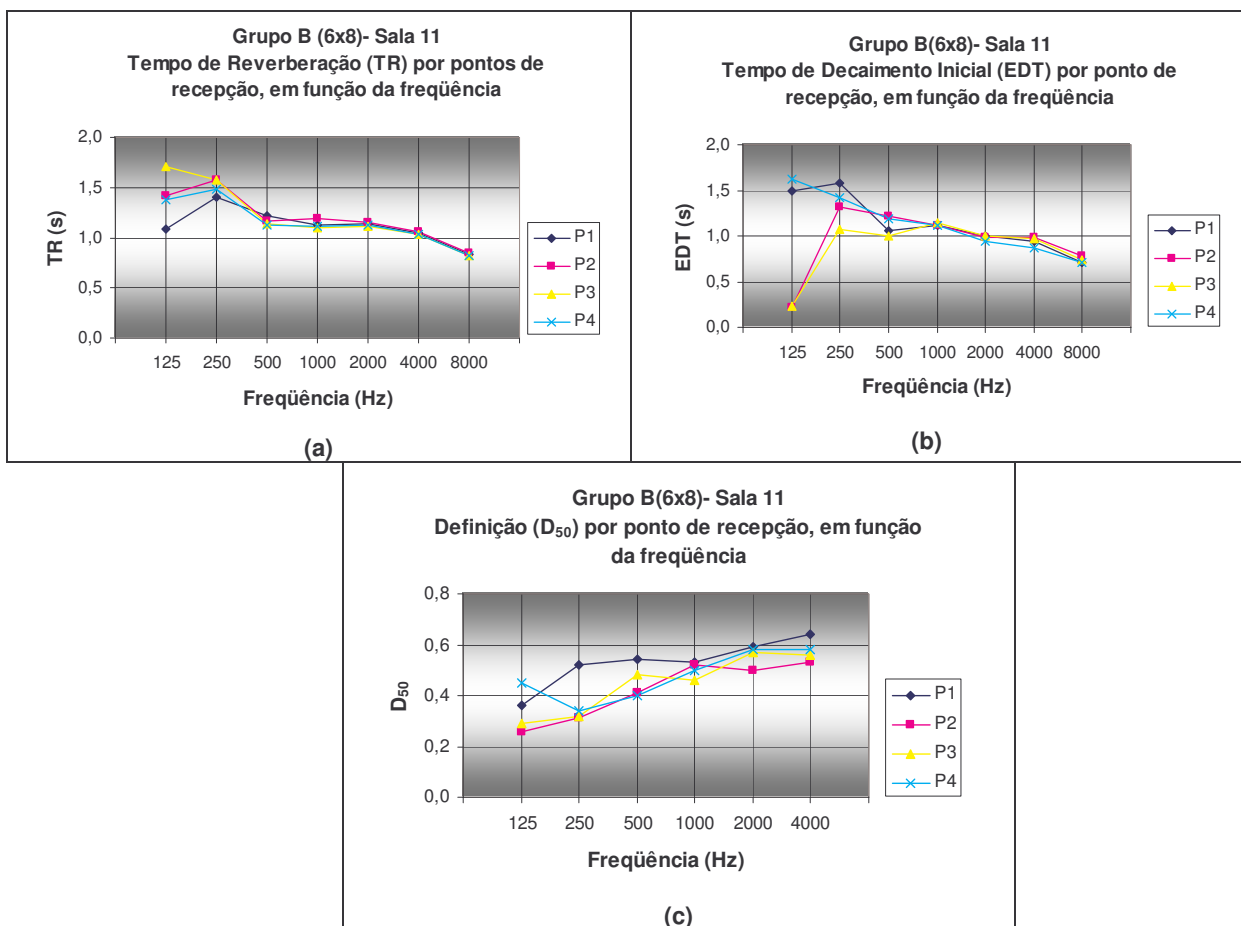


GRÁFICO K.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 11, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

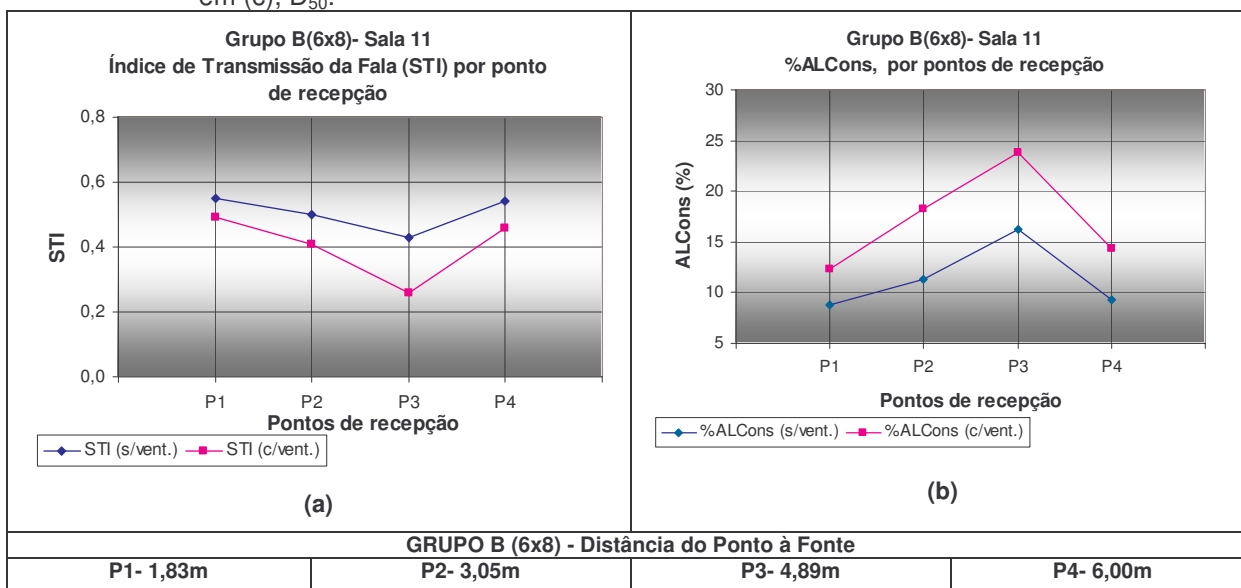


GRÁFICO K.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 11. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica.

APÊNDICE L

GRUPO C (5X8) SALA 12- ESCOLA: Adiwalde O.Coelho

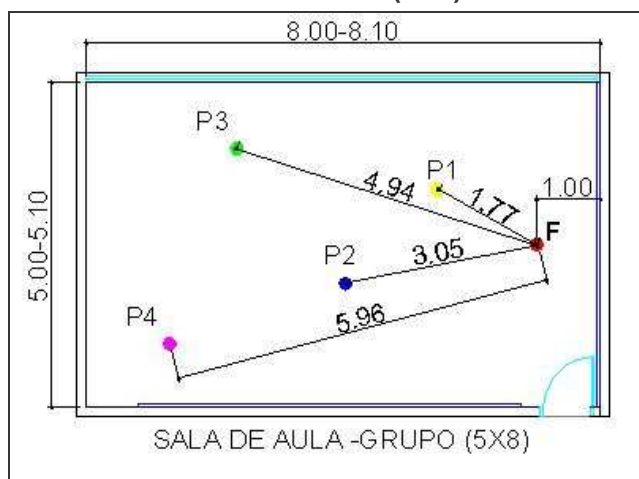


Figura L.1: Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo C (5x8m).

Foto L.1: Vista interna da sala de aula Adiwalde Coelho, com os equipamentos de medição acústica instalados. **Data:** 10/03/2007.

L.1 - Parâmetros arquitetônicos

a) **Localização da Escola:** Bairro Taquaral.

b) **Data de construção:** anos 1930-1932

c) **Localização da sala:** pavimento térreo.

d) **Posicionamento das aberturas da sala:** portas voltadas para a circulação interna.

e) **Dimensões internas:**

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
5,10	7,90	3,65	40,29	147,06

* dimensão paralela à lousa.

f) **Esquadrias:**

- Portas: (0,90x2,20m), de madeira.
- Janelas: 2 x (2,20x1,80m) do tipo basculante, caixilhos metálicos e vidraçaria 4mm.
- Outros (aberturas): não têm.

g) **Estrutura:** concreto armado.

h) **Piso:** tábuas de madeira.

i) **Teto:** forro de PVC.

j) **Paredes:** espessura de 20cm, acabamento em pintura de tinta esmalte sobre massa.

k) **Lousa:** 2 lousas com dimensões de 4,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) **Mobiliário:**

- ❖ Cadeiras: (35 unidades), estrutura metálica, com encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.
- ❖ Carteiras: (35 unidades), estrutura metálica, acabamento em fórmica.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com tampo, encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.
- ❖ Armários: 3 armários de aço.

m) **Iluminação artificial:** 4 luminárias tipo calhas, suspensas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada (40W, luz do dia).

n) **Ventilação artificial:** um ventilador fixado na parede, sobre a lousa (sem potência identificada).

o) **Outros:** não têm cortinas.

L.2 - Parâmetros acústicos

a) Data de medição: 10/03/2007.

b) Horário: manhã.

c) Condições de uso: sala e escola desocupadas (final de semana).

d) Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo:d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 43,8\text{dB(A)}$.d.2) Na sala, com o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 61,0\text{dB(A)}$.d.3) Externo à escola: $L_{Aeq} = 57,1\text{dB(A)}$.e) Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):**TABELA L.1-** Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 12, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	0,61	0,93	1,10	1,29	1,11	1,17	0,93
	P2	1,09	1,03	1,13	1,32	1,14	1,16	0,93
	P3	0,84	1,00	1,12	1,32	1,10	1,16	0,92
	P4	0,76	1,04	1,10	1,27	1,13	1,18	0,93
	Média	0,82	1,00	1,11	1,30	1,12	1,17	0,93
	Desvio-padrão	0,20	0,05	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
EDT (s)	P1	0,93	0,84	1,22	1,34	1,06	1,10	0,84
	P2	0,79	0,97	1,26	1,34	1,13	1,11	0,85
	P3	1,04	0,80	1,07	1,35	1,07	1,10	0,86
	P4	0,94	0,86	1,01	1,37	1,06	1,17	0,86
	Média	0,92	0,87	1,14	1,35	1,08	1,12	0,85
	Desvio-padrão	0,10	0,07	0,12	0,01	0,03	0,04	0,01
D_{50}	P1	0,63	0,74	0,51	0,44	0,51	0,52	
	P2	0,47	0,64	0,46	0,43	0,46	0,48	
	P3	0,56	0,36	0,42	0,36	0,45	0,45	
	P4	0,46	0,45	0,43	0,38	0,41	0,43	
	Média	0,53	0,55	0,46	0,40	0,46	0,47	
	Desvio-padrão	0,08	0,17	0,04	0,04	0,04	0,04	

TABELA L.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 12.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)			
		P1 (1,77m)	P2 (3,05m)	P3 (4,94m)	P4 (5,96m)
STI	(s/vent.)	0,59 (razoável)	0,56 (razoável)	0,57 (razoável)	0,56 (razoável)
%ALCons		7,0	8,0	7,7	8,1
STI	(c/vent.)	0,41 (pobre)	0,44 (pobre)	0,48 (razoável)	0,45 (pobre)
%ALCons		18,0	15,4	12,4	15,2

Nota: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado) c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

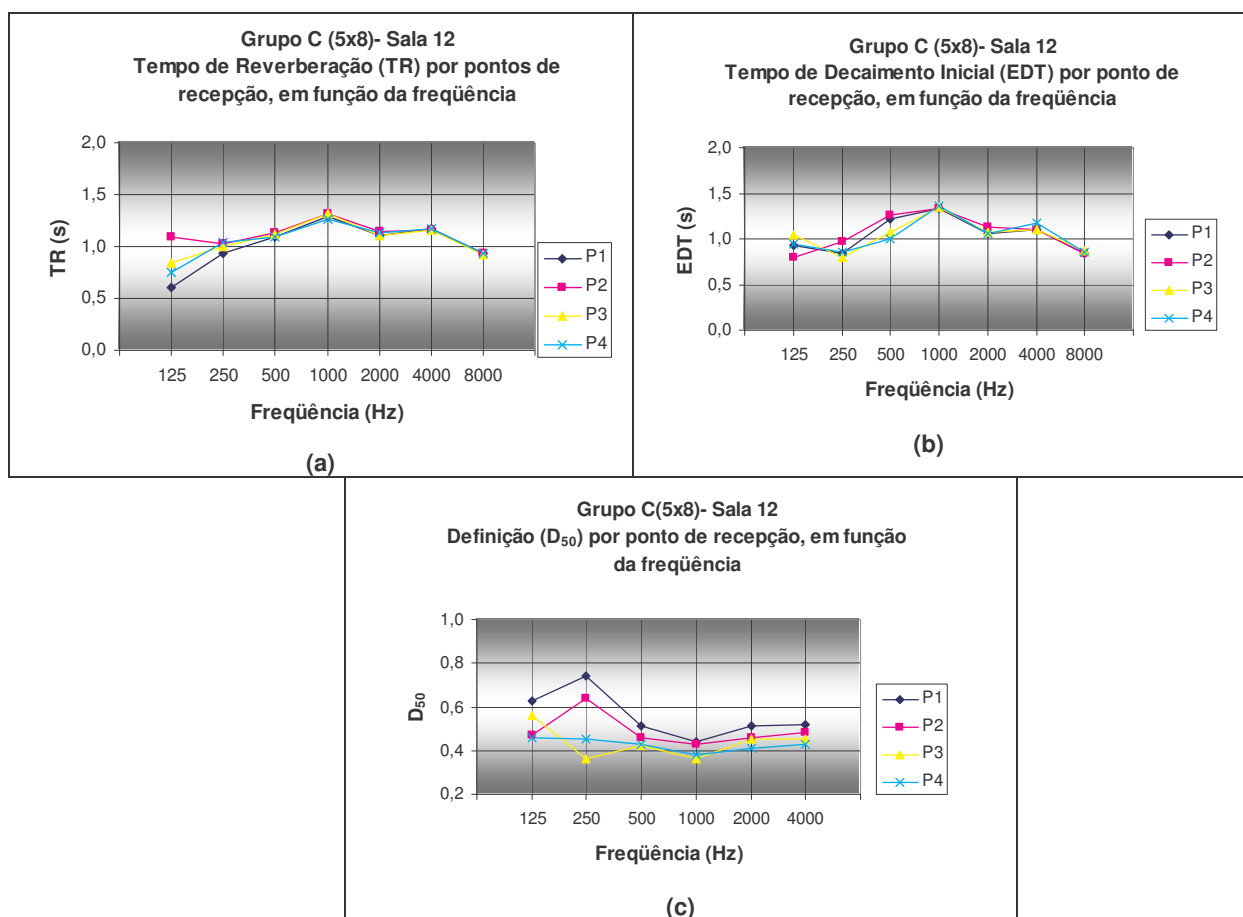


GRÁFICO L.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 12, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

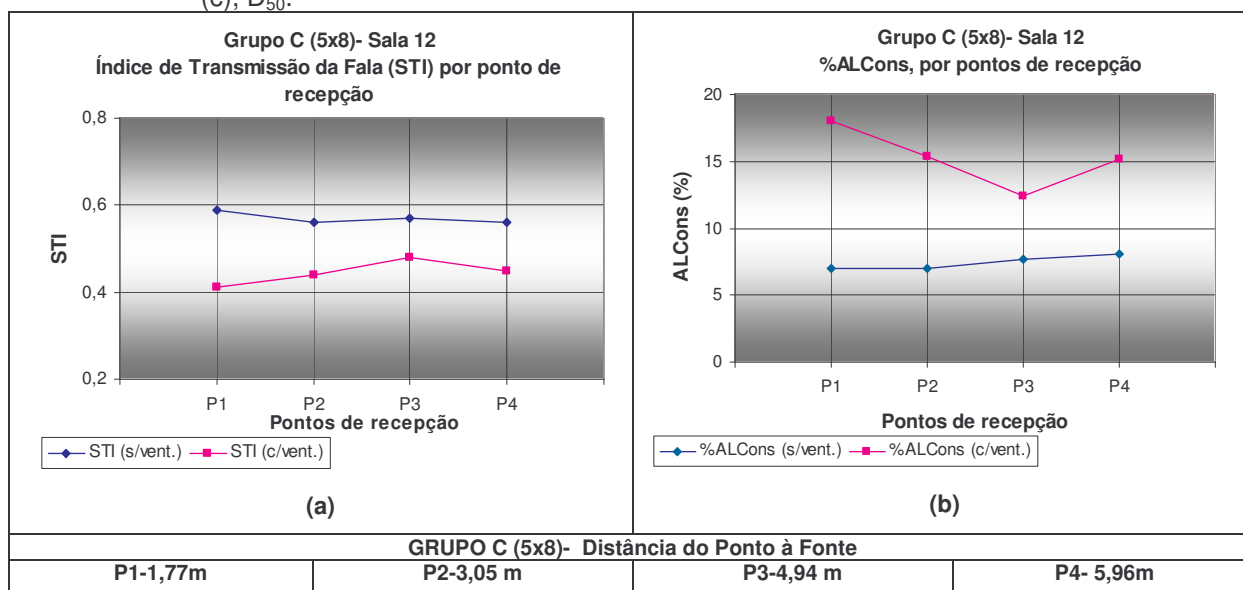


GRÁFICO L.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 12. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica.

APÊNDICE M

GRUPO C (5X8) SALA 13- ESCOLA: Artur Segurado

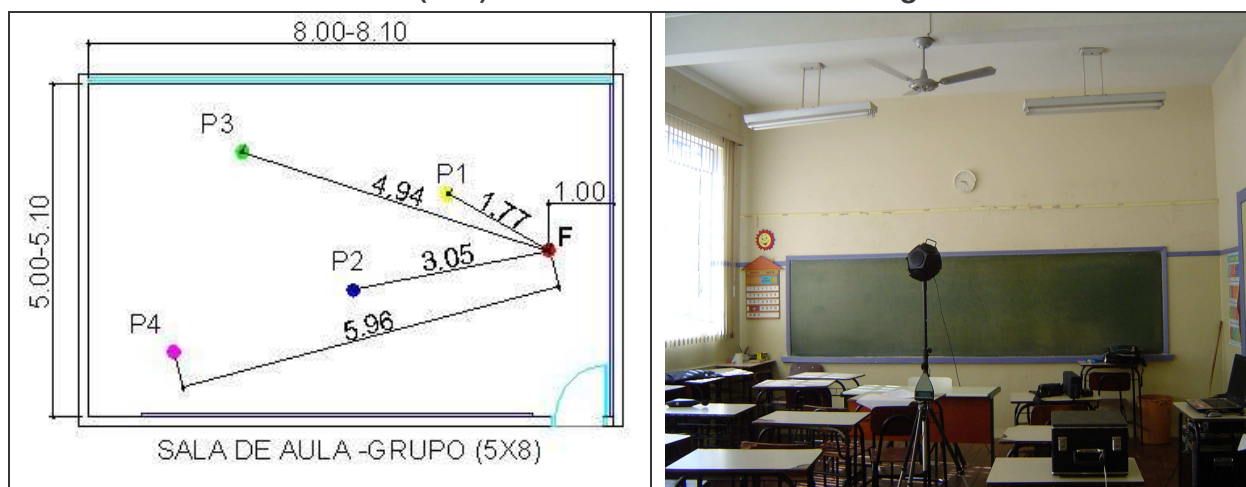


Figura M.1: Locação dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo C (5x8m).

Foto M.1: Vista interna da sala de aula Artur Segurado com os equipamentos de medição acústica instalados. **Data:** 24/03/2007.

M.1 - Parâmetros arquitetônicos

a) **Localização da Escola:** Bairro Jardim Brasil.

b) **Data de construção:** 1910

c) **Localização da sala:** pavimento superior; acima: cobertura de telhado cerâmico sobre a laje; abaixo: salas de aula.

d) **Posicionamento das aberturas da sala:** portas voltadas para a circulação interna. Janelas voltadas para pátio externo, que faz divisa de terreno nos fundos.

e) **Dimensões internas:**

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
5,10	7,90	3,50	40,29	141,02

* dimensão paralela à lousa.

f) **Esquadrias:**

- Portas: (0,90x2,20m), de madeira.
- Janelas: 2 x (2,30x1,80m) do tipo basculante, caixilhos metálicos e vidraçaria 4mm.
- Outros (aberturas): não tem.

g) **Estrutura:** concreto armado.

h) **Piso:** tábuas de madeira.

i) **Teto:** laje em concreto armado revestida e acabamento de pintura sobre massa.

j) **Paredes:** alvenaria de tijolos (esp. 20cm), acabamento em pintura de tinta esmalte sobre massa.

k) **Lousa:** 2 lousas com dimensões de 4,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) **Mobiliário:**

- ❖ Cadeiras: (35 unidades), estrutura metálica, com encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.
- ❖ Carteiras: (35 unidades), estrutura metálica, acabamento em fórmica.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com tampo, encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.
- ❖ 4 armários de aço (2 de gavetas e 2 de 2 portas).

m) **Iluminação artificial:** 4 luminárias tipo calhas, suspensas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada.

n) **Ventilação artificial:** dois ventiladores de teto (sem potência identificada).

o) **Outros:** cortinas do tipo persianas verticais em tecido, cor bege.

.2 - Parâmetros acústicos**a) Data de medição:** 24/03/2007.**b) Horário:** manhã.**c) Condições de uso:** sala e escola desocupadas (final de semana).**d) Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo:****d.1)** Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 39,8\text{dB(A)}$.**d.2)** Na sala, com o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 60,3\text{dB(A)}$.**d.3)** Externo à escola: $L_{Aeq} = 67,1\text{dB(A)}$.**e) Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):****TABELA M.1-** Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 13, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	1,52	1,63	1,55	1,26	1,06	0,92	0,70
	P2	1,81	1,71	1,33	1,16	1,01	0,89	0,68
	P3	1,78	1,76	1,38	1,22	1,02	0,88	0,69
	P4	1,80	1,72	1,40	1,22	1,02	0,89	0,69
	Média	1,73	1,70	1,41	1,21	1,03	0,89	0,69
	Desvio-padrão	0,14	0,05	0,09	0,04	0,02	0,02	0,01
EDT (s)	P1	1,75	1,67	1,20	1,21	0,98	0,82	0,61
	P2	1,76	1,58	1,46	1,24	1,01	0,89	0,65
	P3	2,13	2,07	1,44	1,30	1,03	0,83	0,66
	P4	1,92	1,83	1,47	1,23	1,06	0,84	0,65
	Média	1,89	1,79	1,39	1,24	1,02	0,85	0,64
	Desvio-padrão	0,18	0,21	0,13	0,04	0,03	0,03	0,02
D_{50}	P1	0,42	0,42	0,62	0,50	0,60	0,69	
	P2	0,19	0,32	0,36	0,41	0,43	0,58	
	P3	0,32	0,32	0,41	0,39	0,41	0,60	
	P4	0,17	0,24	0,28	0,39	0,59	0,59	
	Média	0,28	0,33	0,42	0,42	0,51	0,62	
	Desvio-padrão	0,12	0,07	0,15	0,05	0,10	0,05	

TABELA M.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 13.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)			
		P1 (1,77m)	P2 (3,05m)	P3 (4,94m)	P4 (5,96m)
STI	(s/vent.)	0,58 (razoável)	0,52 (razoável)	0,54 (razoável)	0,53 (razoável)
%ALCons		7,5	9,9	9,2	9,9
STI	(c/vent.)	0,31 (pobre)	0,25 (ruim)	0,29 (ruim)	0,28 (ruim)
%ALCons		31,7	43,4	34,8	37,6

Nota: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado) c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

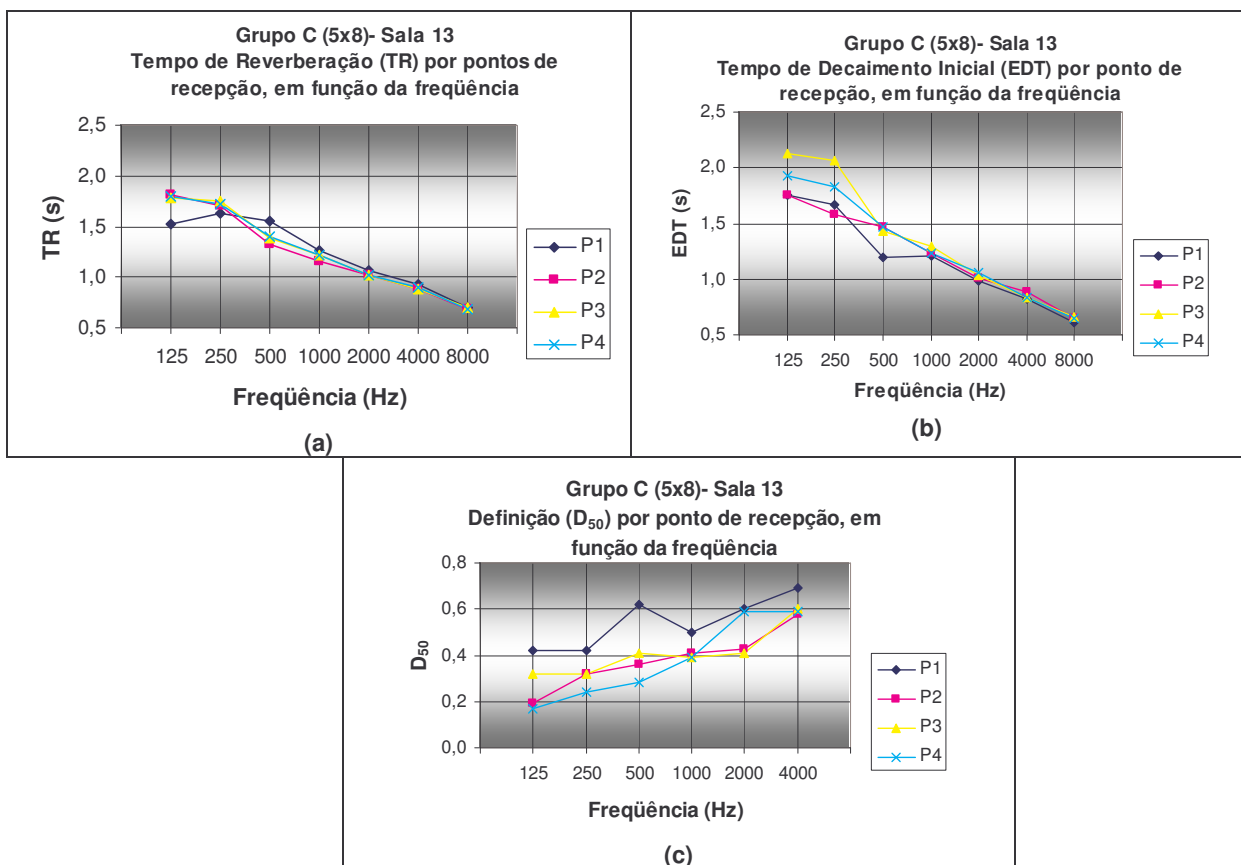


GRÁFICO M.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 13, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

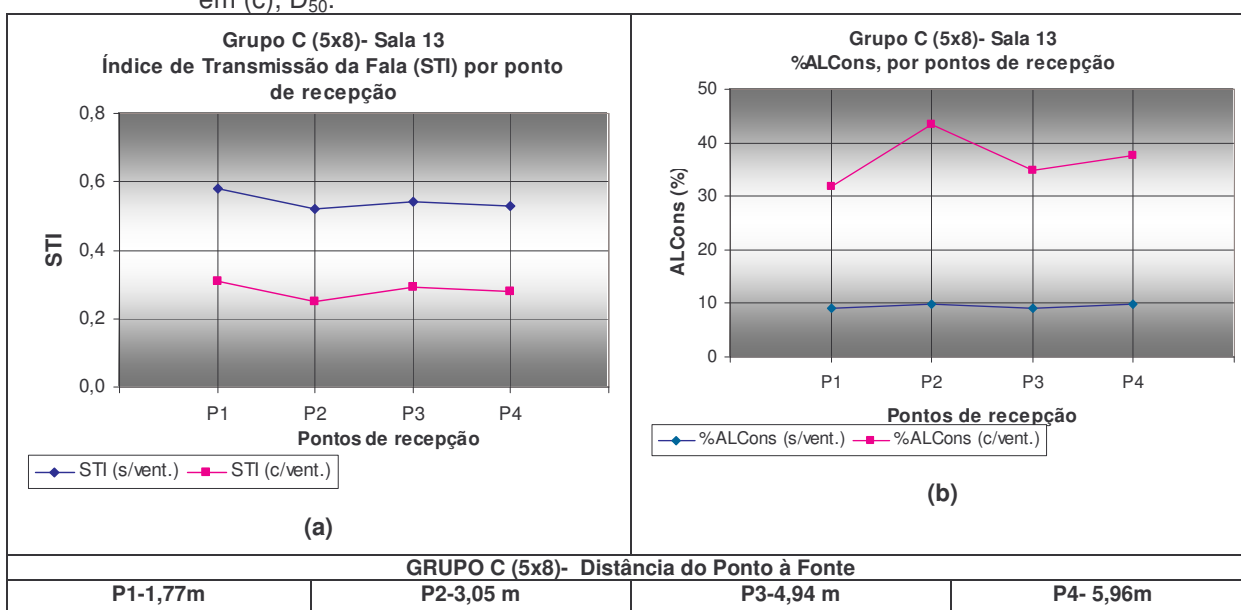


GRÁFICO M.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 13. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica.

APÊNDICE N

GRUPO D (7X3,5) SALA 14 - ESCOLA: Campinas F1

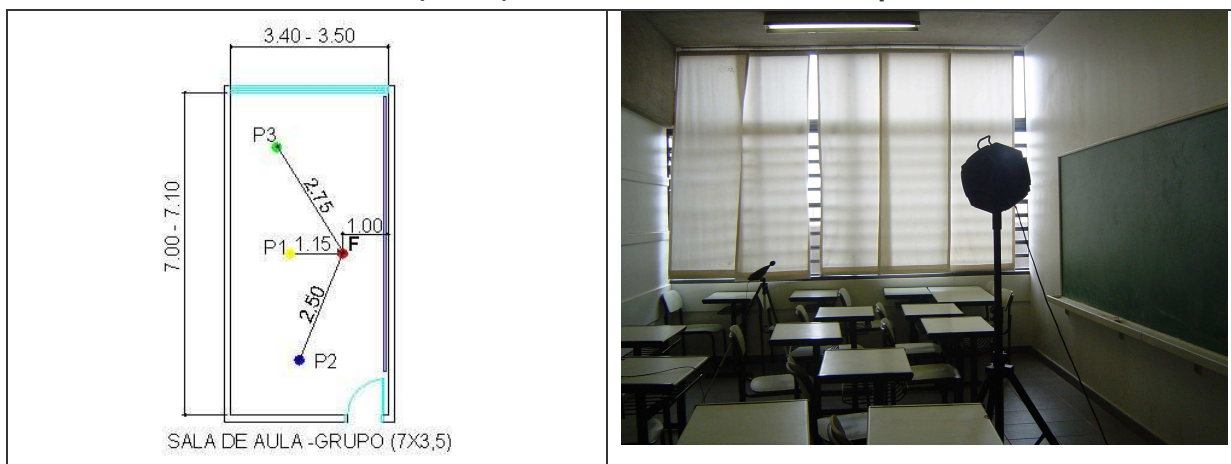


Figura N.1: Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo D (7x3,5m).

Foto N.1: Vista interna da sala de aula 14-Campinas F1, com os equipamentos de medição acústica instalados.

Data: 13/10/2006.

N.1 – Parâmetros arquitetônicos

a) Localização da Escola: Bairro Nova Aparecida.

b) Data da construção: ano 2003-2004, pela FDE.

c) Localização da sala: pavimento superior; acima: cobertura metálica sobre a laje; abaixo: salas administrativas.

d) Posicionamento das aberturas da sala: portas voltadas para a circulação que circunda a quadra de esportes interna e coberta com estrutura e telhas metálicas.

e) Dimensões internas:

Largura* (m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
7,05	3,45	3,13	24,32	76,12

* dimensão paralela à lousa.

f) Esquadrias:

- Portas: (0,80x2,10m), de madeira, tipo aglomerado.
- Janelas: ao longo da parede (3,45m), do tipo basculante, de caixilhos metálicos e vidraçaria 4mm.
- Outros (aberturas): janelas basculantes com caixilhos metálicos, ao longo da parede, sobre a porta

g) Estrutura: modulada, em concreto armado pré-fabricado.

h) Piso: tipo granilite.

i) Teto: laje em concreto armado aparente.

j) Paredes: espessura de 15cm, acabamento em pintura de tinta acrílica sobre massa.

k) Lousa: 4,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) Mobiliário: Cadeiras: (16 unidades), em estrutura metálica, com encosto e assento em madeira compensada, acabamento em fórmica.

❖ Carteiras: (16 unidades), estrutura metálica, tampo com acabamento em fórmica.

❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com tampo, encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.

m) Iluminação artificial: 3 luminárias tipo calhas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada (40W, luz do dia).

n) Ventilação artificial: não tem..

o) Outros: cortinas em tecido.

N.2 - Parâmetros acústicos

a) Data de medição: 13/10/2006.

b) Horário: manhã.

c) Condições de uso: sala e escola desocupadas (feriado).

d) Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo:

d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 44,7\text{dB(A)}$.

d.2) Externo à escola: $L_{Aeq} = 57,1\text{dB(A)}$.

e) Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D50):

TABELA N.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D50), em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	1,25	1,72	1,21	1,05	1,00	0,90	0,72
	P2	1,44	1,36	1,36	0,99	0,94	0,86	0,63
	P3	1,52	1,38	1,24	1,01	0,98	0,89	0,71
	Média	1,40	1,49	1,27	1,02	0,97	0,88	0,69
	Desvio-padrão	0,14	0,20	0,08	0,03	0,03	0,02	0,05
EDT (s)	P1	1,03	1,14	1,09	0,98	1,05	0,90	0,72
	P2	1,44	1,36	1,36	0,99	0,94	0,86	0,63
	P3	1,09	1,25	1,09	1,08	0,99	0,87	0,72
	Média	1,19	1,25	1,18	1,02	0,99	0,88	0,69
	Desvio-padrão	0,22	0,11	0,16	0,05	0,06	0,02	0,05
D ₅₀	P1	0,54	0,45	0,53	0,53	0,55	0,56	
	P2	0,31	0,52	0,50	0,50	0,54	0,59	
	P3	0,47	0,53	0,43	0,49	0,50	0,58	
	Média	0,44	0,50	0,49	0,51	0,53	0,58	
	Desvio-padrão	0,12	0,04	0,05	0,02	0,03	0,02	

TABELA N.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 14.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)		
		P1 (1,15m)	P2 (2,50m)	P3 (2,75m)
STI	(s/vent.)	0,64 (bom)	0,58 (razoável)	0,56 (razoável)
%ALCons		5,3	7,3	8,0
STI	(c/vent.)	---	---	---
%ALCons		---	---	---

Nota 1: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado). c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

Nota 2: a sala não possui ventilador.

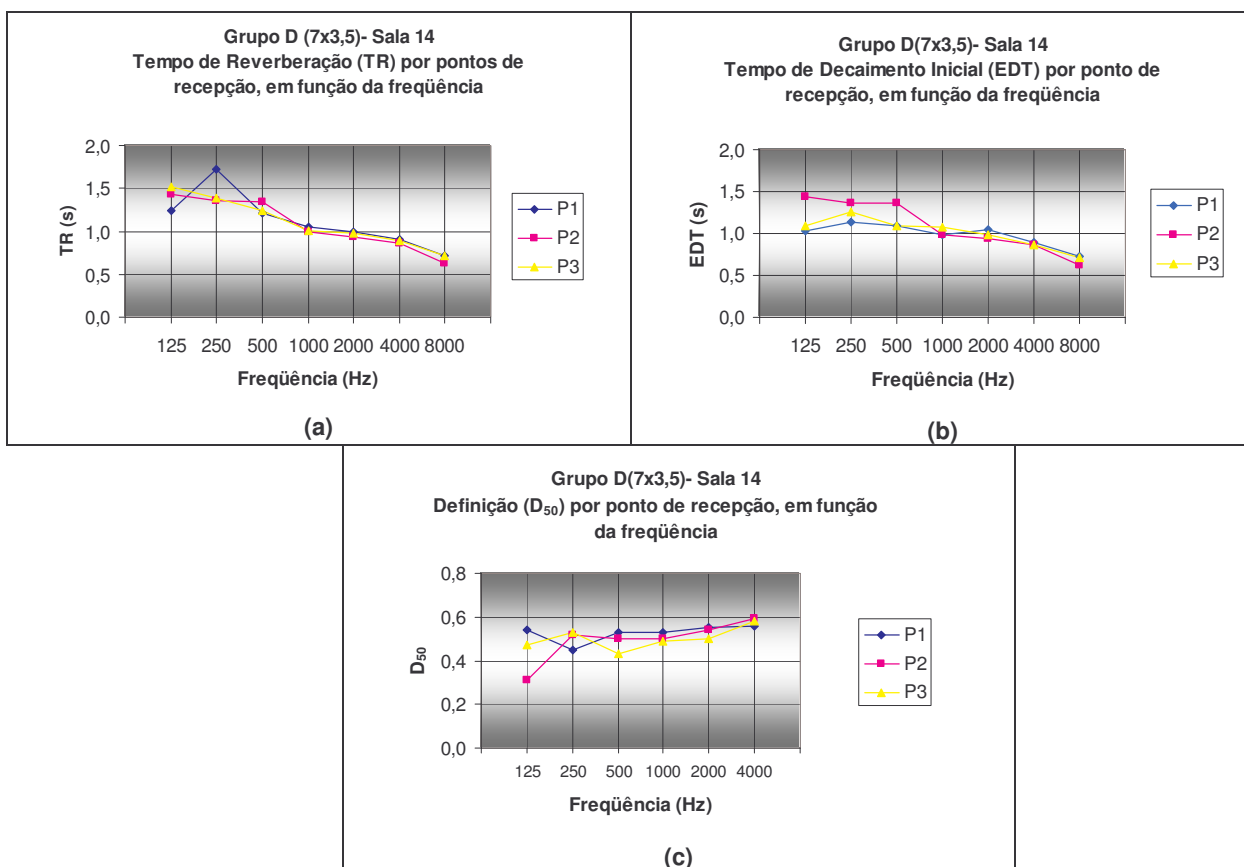


GRÁFICO N.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 14, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

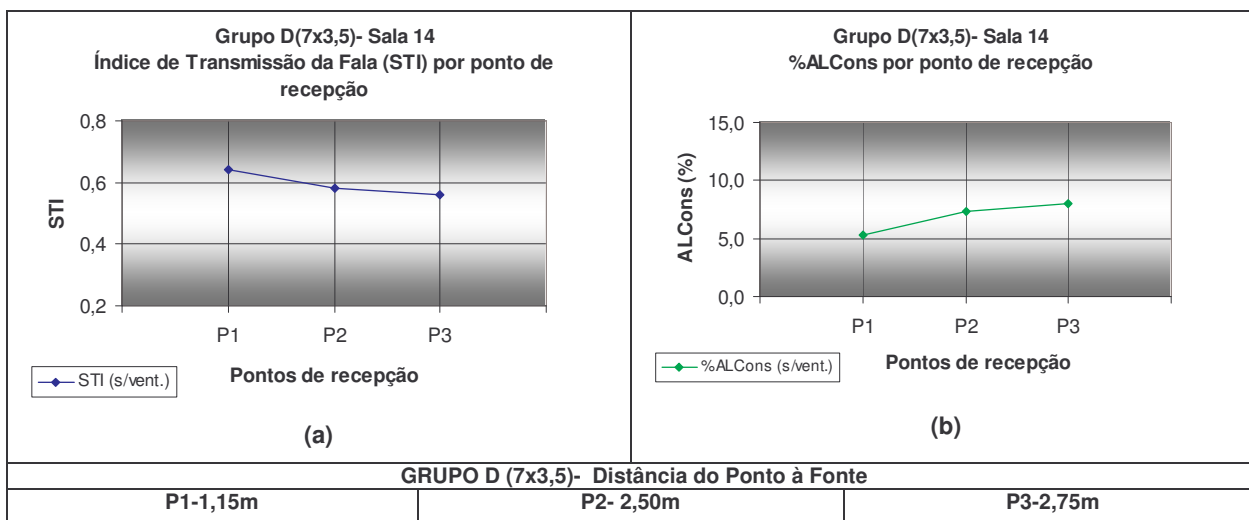


GRÁFICO N.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 14. Em (a), o STI, sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, sem ventilação mecânica

APÊNDICE O

GRUPO D (7X3,5) SALA 15 - ESCOLA: Maria Alice



Figura O.1 : Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo D (7x3,5m).

Foto O.1: Vista interna da sala de aula 15- Maria Alice, com os equipamentos de medição acústica instalados.
Data: 14/07/2006.

O.1 – Parâmetros arquitetônicos

a) **Localização da Escola:** urbana, bairro Barão Geraldo.

b) **Data da construção:** anos 1991- 1993.

c) **Localização da sala :** pavimento superior; abaixo: salas de aula; acima: cobertura.

d) **Posicionamento das aberturas da sala:** janelas voltadas para pátio de recreação e terreno de divisa posterior. Portas voltadas para circulação interna.

e) **Dimensões internas:**

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
7,05	3,45	3,20	24,32	77,83

* dimensão paralela à lousa

f) **Esquadrias:**

- Portas: (0,80x2,10m) de madeira, tipo aglomerado.
- Janelas: do tipo basculante, ao longo da parede (3,45m), com caixilhos metálicos e vidraçaria de 4mm.
- Outros (aberturas): vão superior sobre a parede da porta de entrada.

g) **Estrutura:** concreto armado, com vigas superiores aparentes.

h) **Piso:** cimento queimado com pigmento avermelhado.

i) **Teto:** laje em concreto armado, revestimento massa acrílica, acabamento em tinta látex.

j) **Paredes:** até 1,20m do piso: tinta esmalte; acima: tinta acrílica sobre massa corrida.

k) **Lousa:** 4,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) **Mobiliário:**

- ❖ Cadeiras: (16 unidades), estrutura metálica, com acabamento em fórmica.
- ❖ Carteiras: (16 unidades), estrutura metálica e tampo em fórmica.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com acabamentos em fórmica.
- ❖ Outros: 1 armários de aço e 1 rack de madeira para computadores.

m) **Ventilação artificial:** um ventilador de teto (sem potencia identificada).

n) **Iluminação artificial:** 2 luminárias tipo calhas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada (40W, luz do dia).

o) **Outros:** Janelas com cortinas, tipo persianas verticais de tecido, cor bege.

O.2 - Parâmetros acústicos

a) **Data de medição:** 14/07/2006.

b) **Horário:** manhã.

c) **Condições de uso:** sala e escola desocupadas (recesso escolar).

d) **Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo:** 42,3dB(A).

d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 54,7$ dB(A).

d.2) Externo à escola: $L_{Aeq} = 57,5$ dB(A).

e) **Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D50):**

TABELA O.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D50), por pontos de recepção da Sala 15, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	1,22	1,12	1,07	0,90	0,89	0,76	0,57
	P2	1,07	1,14	1,09	0,96	0,89	0,76	0,57
	P3	0,89	1,23	1,10	0,97	0,90	0,75	0,56
	Média	1,06	1,16	1,09	0,94	0,89	0,75	0,56
	Desvio-padrão	0,16	0,06	0,02	0,04	0,01	0,01	0,01
EDT (s)	P1	0,73	1,13	0,89	0,97	0,92	0,78	0,59
	P2	1,32	1,29	1,19	0,93	0,90	0,75	0,52
	P3	1,12	1,30	1,11	0,89	0,85	0,77	0,52
	Média	1,06	1,24	1,06	0,93	0,89	0,77	0,54
	Desvio-padrão	0,30	0,10	0,15	0,04	0,04	0,02	0,04
D ₅₀	P1	0,55	0,60	0,61	0,59	0,50	0,59	
	P2	0,47	0,54	0,55	0,48	0,57	0,64	
	P3	0,31	0,45	0,49	0,51	0,53	0,62	
	Média	0,44	0,53	0,55	0,53	0,53	0,62	
	Desvio-padrão	0,12	0,08	0,06	0,06	0,04	0,03	

TABELA O.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 15.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)		
		P1 (1,15m)	P2 (2,50m)	P3 (2,75m)
STI	(s/vent.)	0,59 (razoável)	0,59 (razoável)	0,58 (razoável)
%ALCons		6,9	7,0	7,4
STI	(c/vent.)	0,51 (razoável)	0,53 (razoável)	0,44 (pobre)
%ALCons		10,5	9,9	15,8

Nota 1: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado). c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

Nota 2: a sala não possui ventilador.

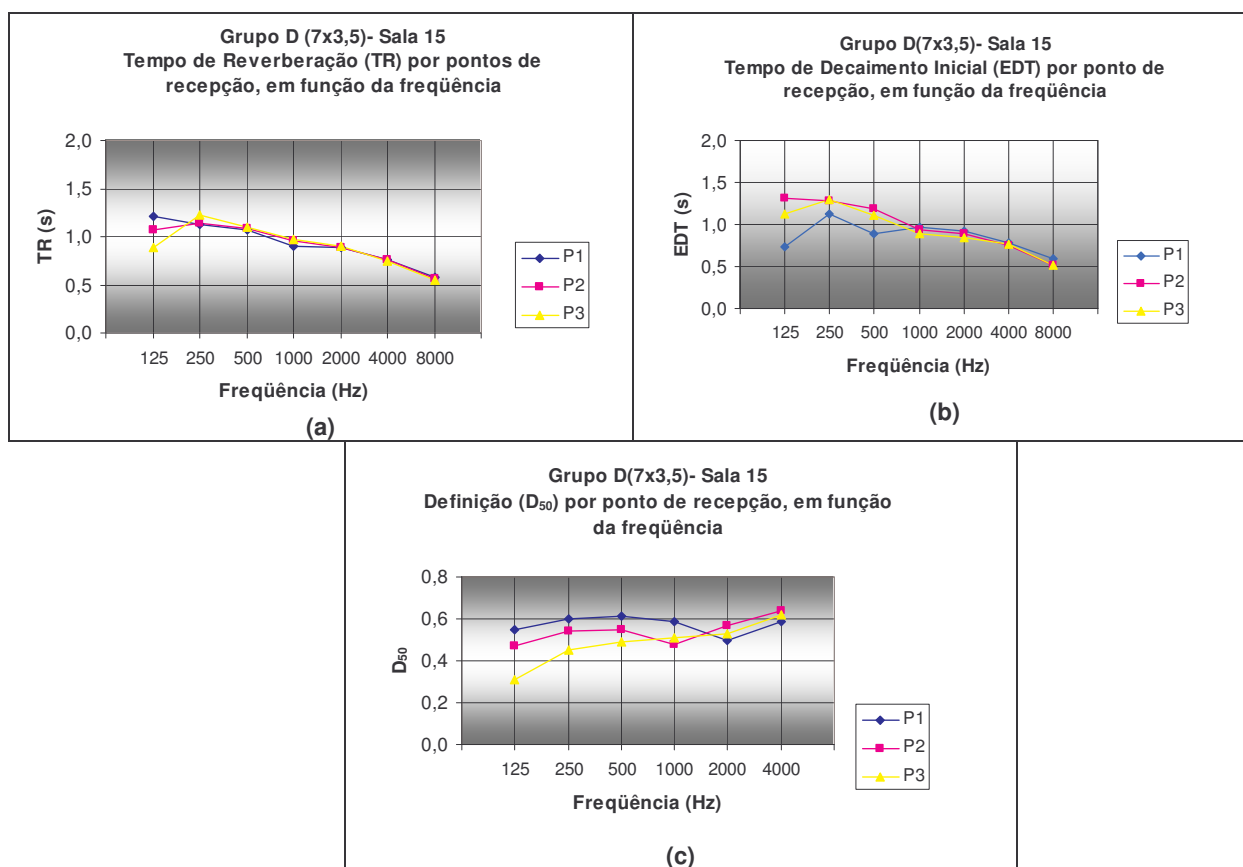


GRÁFICO O.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 15, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

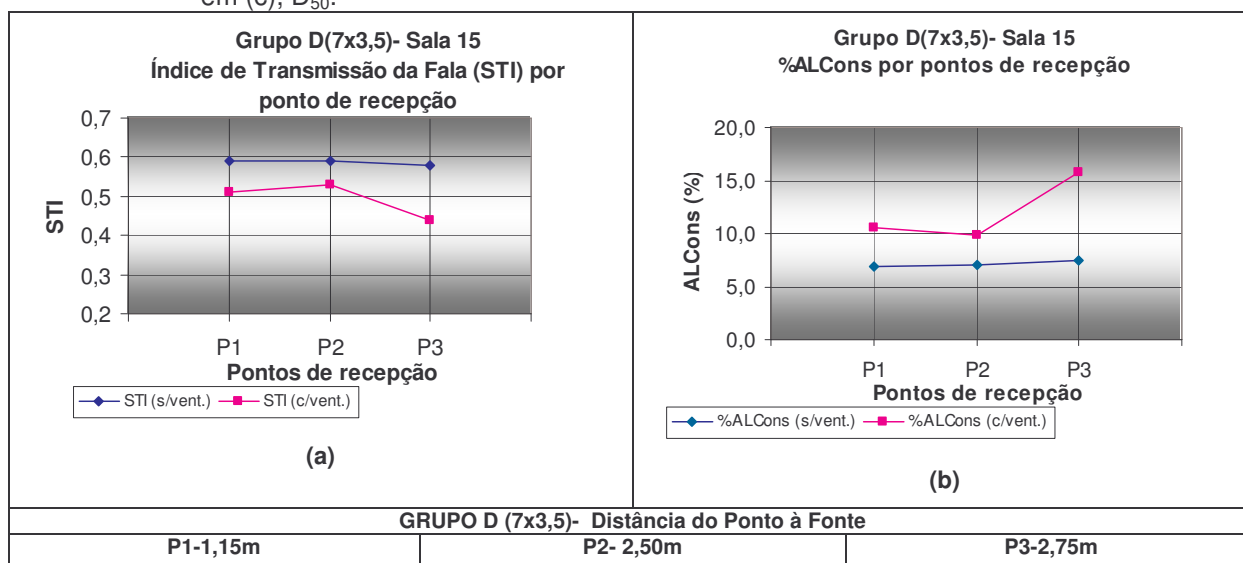


GRÁFICO O.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 15. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica.

APÊNDICE P

GRUPO D (7X3,5) SALA 16 - ESCOLA: Sérgio Porto

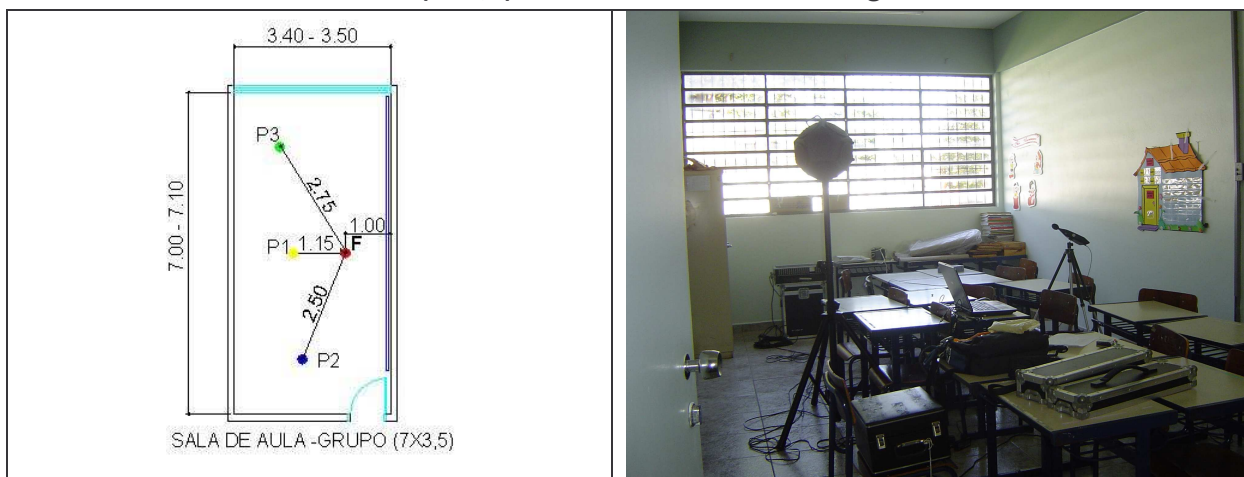


Figura P.1 : Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo D (7x3,5m).

Foto P.1: Vista interna da sala de aula 16- Sergio Porto, com os equipamentos de medição acústica instalados. **Data:** 18/07/2006.

P.1 – Parâmetros arquitetônicos

a) **Localização da Escola:** urbana, Cidade Universitária, Barão Geraldo.

b) **Data da construção:** anos 1990 (1991-1993).

c) **Localização da sala :** pavimento térreo; acima: salas de aula.

d) **Posicionamento das aberturas da sala:** janelas voltadas para pátio de recreação. Portas voltadas para circulação interna.

e) **Dimensões internas:**

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
7,05	3,45	3,13	24,32	76,12

* dimensão paralela à lousa

f) **Esquadrias:**

- Portas: (0,80x2,10m) de madeira, tipo aglomerado.
- Janelas: do tipo basculante, ao longo da parede (3,45m), com caixilhos metálicos e vidraçaria de 4mm.
- Outros (aberturas): não tem.

g) **Estrutura:** concreto armado revestida.

h) **Piso:** cerâmico.

i) **Teto:** laje em concreto armado, revestimento massa acrílica, acabamento em tinta látex.

j) **Paredes:** alvenaria de blocos de concreto (esp. 15cm). Acabamento em tinta sobre massa.

k) **Lousa:** 4,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) **Mobiliário:**

- ❖ Cadeiras: (16 unidades), estrutura metálica, com acabamento em fórmica.
- ❖ Carteiras: (16 unidades), estrutura metálica e tampo em fórmica.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com acabamentos em fórmica.
- ❖ Outros: 1 armários de aço.

m) **Ventilação artificial:** um ventilador de teto (sem potencia identificada).

n) **Iluminação artificial:** 3 luminárias tipo calhas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada (40W, luz do dia).

o) **Outros:** Janelas não têm cortinas.

.2 - Parâmetros acústicos

a) Data de medição: 18/07/2006.

b) Horário: manhã.

c) Condições de uso: sala e escola desocupadas (recesso escolar).

d) Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo: 40,3dB(A).d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 58,3\text{dB(A)}$.d.2) Externo à escola: $L_{Aeq} = 55,8\text{dB(A)}$.e) Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):**TABELA P.1-** Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 16, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	1,97	1,63	1,46	1,41	1,17	1,01	0,70
	P2	1,63	1,52	1,60	1,47	1,29	1,10	0,75
	P3	0,96	1,75	1,55	1,42	1,24	1,04	0,72
	Média	1,52	1,63	1,54	1,43	1,23	1,05	0,72
	Desvio-padrão	0,51	0,11	0,07	0,03	0,06	0,05	0,02
EDT (s)	P1	1,56	1,53	1,46	1,33	1,22	0,97	0,66
	P2	1,58	1,31	1,46	1,43	1,37	1,04	0,70
	P3	1,80	1,90	1,61	1,50	1,21	0,93	0,66
	Média	1,65	1,58	1,51	1,42	1,27	0,98	0,68
	Desvio-padrão	0,13	0,30	0,09	0,09	0,09	0,06	0,02
D_{50}	P1	0,51	0,43	0,34	0,41	0,51	0,53	
	P2	0,36	0,55	0,41	0,38	0,45	0,49	
	P3	0,35	0,23	0,37	0,42	0,42	0,53	
	Média	0,41	0,40	0,37	0,40	0,46	0,54	
	Desvio-padrão	0,09	0,16	0,04	0,02	0,05	0,05	

TABELA P.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 15.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)		
		P1 (1,15m)	P2 (2,50m)	P3 (2,75m)
STI	(s/vent.)	0,56 (razoável)	0,54 (razoável)	0,51 (razoável)
%ALCons		8,4	9,3	10,8
STI	(c/vent.)	0,43 (pobre)	0,37 (pobre)	0,38 (pobre)
%ALCons		16,7	22,4	21,3

Nota 1: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado). c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

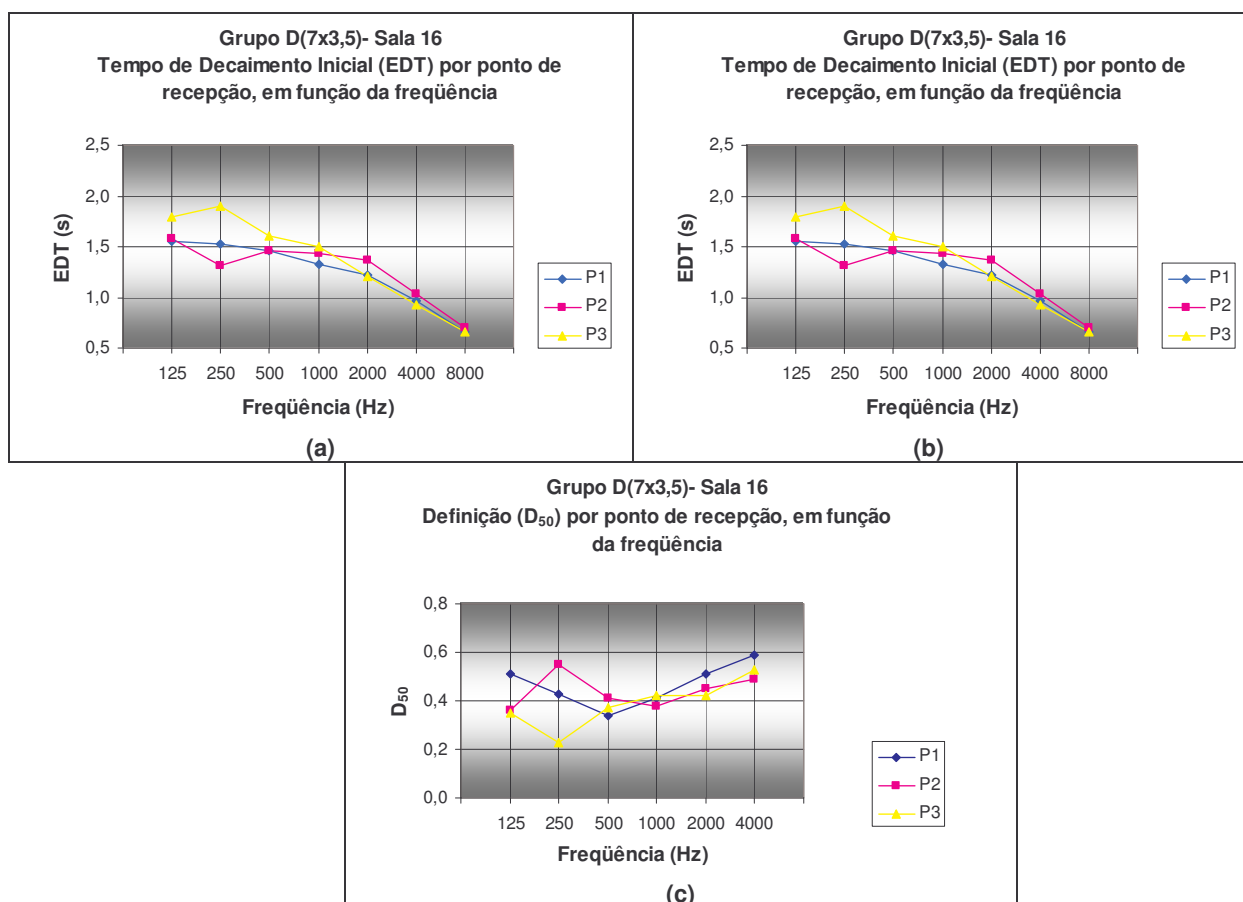


GRÁFICO P.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 16, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

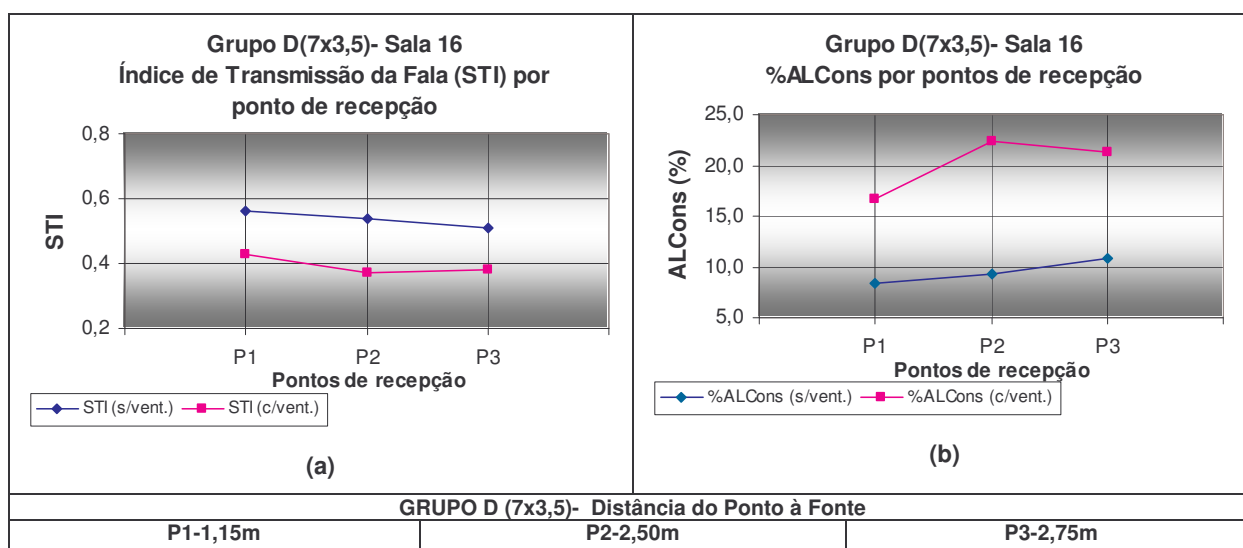


GRÁFICO P.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 16. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica.

APÊNDICE Q

GRUPO E (9X8) SALA 17- ESCOLA: Adalberto Nascimento

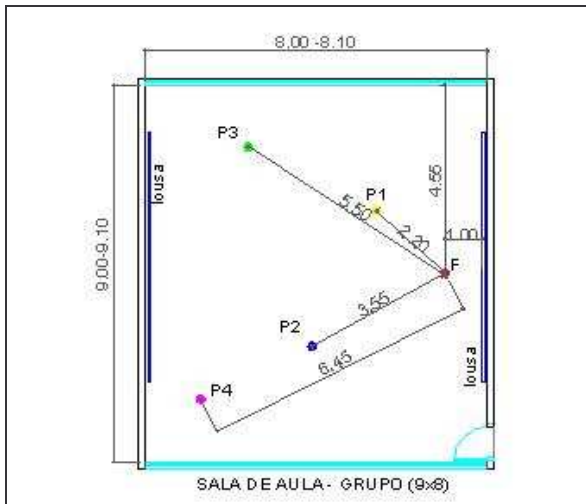


Figura Q.1: Localização dos pontos de recepção e respectivas distâncias da fonte (F) para salas do Grupo E (9x8m).



Foto Q.1: Vista interna da sala de aula 17- Adalberto, com os equipamentos de medição acústica instalados. **Data:** 13/07/2006.

Q.1 - Parâmetros arquitetônicos

a) Localização da Escola: Bairro Taquaral.

b) Data da construção: nos anos 1960, reformada nos anos 1990.

c) Localização da sala: pavimento superior; acima: cobertura com telhado de fibrocimento sobre laje; abaixo: salas administrativas.

d) Posicionamento das aberturas da sala: portas voltadas para a circulação interna, janelas voltadas para área lateral à rua principal de acesso à escola.

e) Dimensões internas:

Largura *(m)	Comprimento (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volume (m ³)
9,00	8,00	3,50	72,00	252,00

* dimensão paralela à lousa.

f) Esquadrias:

- Portas: (0,90x2,10m), de madeira, tipo aglomerado.
- Janelas: do tipo basculante, ao longo da parede de 8,0m; caixilhos metálicos e vidraçaria 4mm.
- Outros (aberturas): as duas janelas estão localizadas em paredes paralelas.

g) Estrutura: concreto armado revestida.

h) Piso: cerâmico.

i) Teto: laje em concreto armado com revestimento.

j) Paredes: alvenaria de tijolos, espessura de 15cm, acabamento em pintura de tinta acrílica sobre massa.

k) Lousa: duas lousas com dimensões de 6,00m (comprimento) x 1,00 (altura).

l) Mobiliário:

- ❖ Cadeiras: (35 unidades), estrutura metálica, com encosto e assento em madeira, acabamento em fórmica.
- ❖ Carteiras: (35 unidades), estrutura metálica, acabamento em fórmica.
- ❖ Mesa e cadeira do professor: estrutura metálica, com acabamento em fórmica.

m) Iluminação artificial: 6 luminárias tipo calhas, com lâmpadas 2 fluorescentes cada (40W, luz do dia).

n) Ventilação artificial: dois ventiladores de teto (sem potencia identificada).

o) Outros: Janelas não têm cortinas.

Q.2 - Parâmetros acústicos

a) Data de medição: 13/07/2006.

b) Horário: tarde.

c) Condições de uso: sala e escola desocupadas (recesso escolar).

d) Nível de Pressão Sonora equivalente (L_{Aeq}) ou ruído de fundo:d.1) Na sala, sem o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 44,8\text{dB(A)}$.d.2) Na sala, com o ventilador em funcionamento: $L_{Aeq} = 60,5\text{dB(A)}$.d.3) Externo à escola: $L_{Aeq} = 59,6\text{dB(A)}$.e) Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}):**TABELA Q.1-** Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por pontos de recepção da Sala 17, em função da frequência.

	Pontos	Frequência (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
TR (s)	P1	4,26	2,62	2,55	2,52	2,28	1,81	1,08
	P2	1,74	2,36	2,55	2,51	2,32	1,85	1,16
	P3	2,21	2,37	2,37	2,53	2,30	1,84	1,16
	P4	3,43	2,40	2,40	2,41	2,30	1,86	1,17
	Média	2,91	2,44	2,47	2,49	2,30	1,84	1,14
	Desvio-padrão	1,15	0,12	0,10	0,05	0,01	0,02	0,04
EDT (s)	P1	2,28	2,05	2,25	2,34	2,17	1,72	0,89
	P2	2,72	2,71	2,32	2,49	2,30	1,75	0,99
	P3	1,82	2,26	2,45	2,44	2,40	1,75	0,96
	P4	2,49	2,18	2,34	2,60	2,27	1,79	0,97
	Média	2,33	2,30	2,34	2,47	2,28	1,75	0,95
	Desvio-padrão	0,38	0,29	0,09	0,11	0,09	0,03	0,05
D_{50}	P1	0,30	0,32	0,37	0,30	0,34	0,38	
	P2	0,31	0,26	0,30	0,27	0,28	0,31	
	P3	0,17	0,27	0,24	0,22	0,28	0,34	
	P4	0,09	0,19	0,24	0,29	0,30	0,36	
	Média	0,22	0,26	0,29	0,27	0,30	0,35	
	Desvio-padrão	0,11	0,05	0,06	0,04	0,03	0,03	

TABELA Q.2 : Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons), por ponto de recepção da Sala 17.

Índice Acústico	Influência do ruído de fundo	Pontos de recepção (Distância do ponto à fonte)			
		P1 (2,20m)	P2 (3,55m)	P3 (5,50m)	P4 (6,45m)
STI	(s/vent.)	0,52 (razoável)	0,44 (pobre)	0,45 (pobre)	0,43 (pobre)
%ALCons		10,2	15,9	15,1	16,7
STI	(c/vent.)	0,36 (pobre)	0,34 (pobre)	0,35 (pobre)	0,31 (pobre)
%ALCons		24,0	27,6	26,3	32,6

Nota: s/ vent.: sem ventilação mecânica (ventilador desligado) c/ vent.: com ventilação mecânica (ventilador ligado).

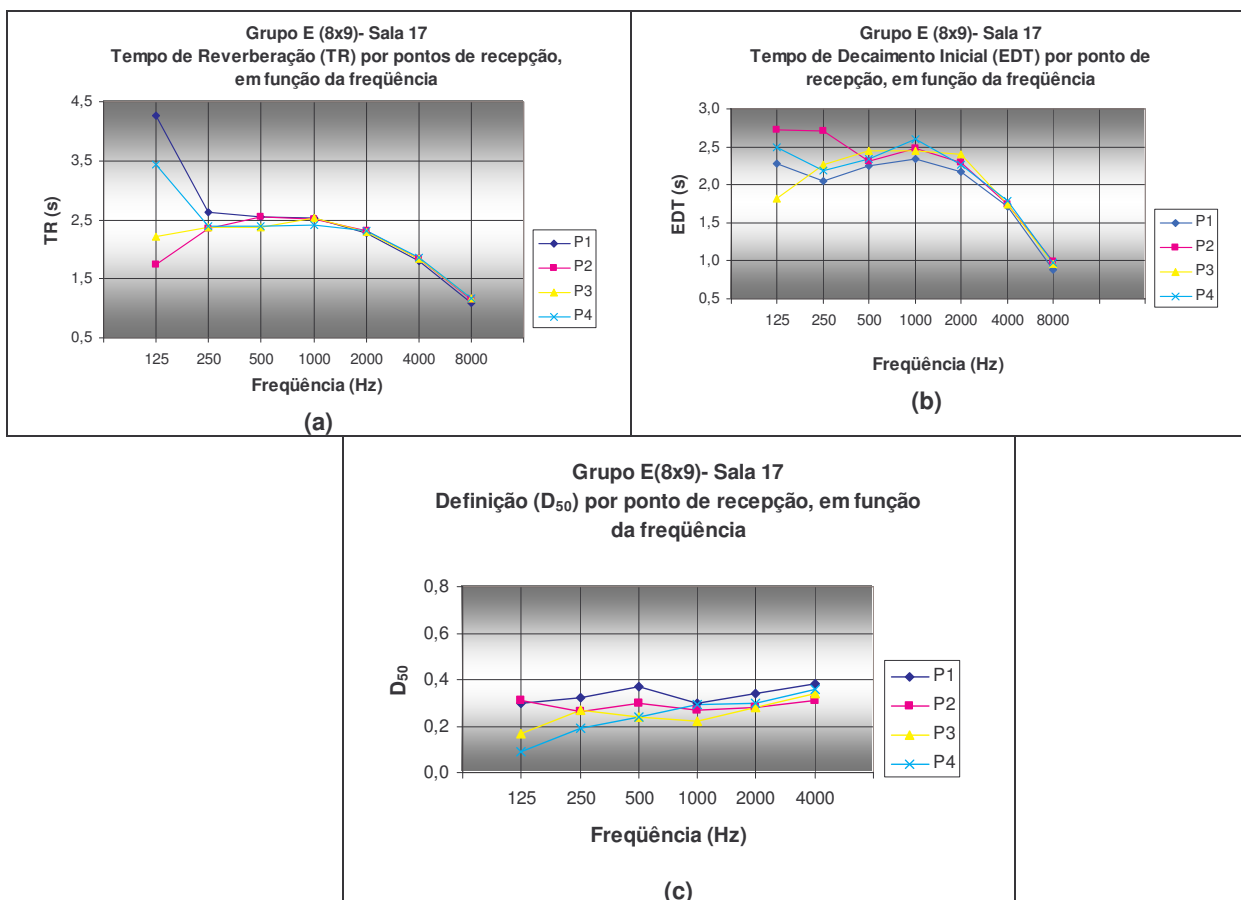


GRÁFICO Q.1- Tempo de Reverberação (TR), Tempo de Decaimento Inicial (EDT) e Definição (D_{50}), por ponto de recepção da Sala 17, em função da frequência. Em (a), TR; em (b), EDT, em (c), D_{50} .

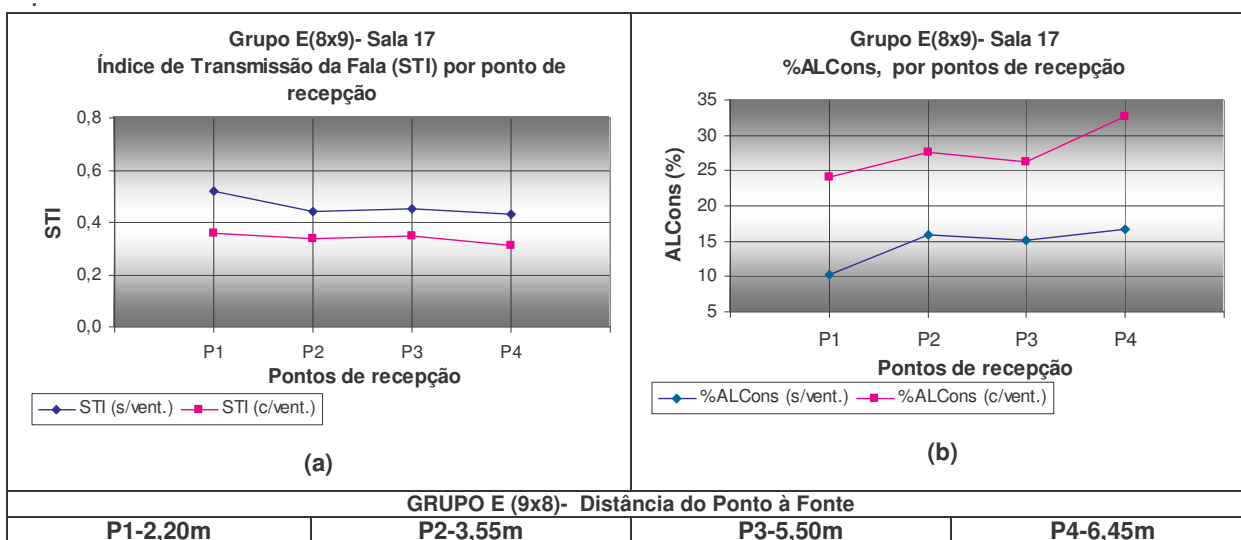


GRÁFICO Q.2 – Índice de Transmissão da Fala (STI) e Porcentagem de Perda na Articulação de Consoantes (%ALCons) por ponto de recepção da Sala 17. Em (a), o STI, com e sem ventilação mecânica; em (b), a %ALCons, com e sem ventilação mecânica.