CRISTINA YUKARI KAWAKITA IKEDA

**Determinação de faixas de operação de parâmetros acústicos
para avaliação da qualidade sonora de salas de aula**

Tese apresentada a Faculdade de
Arquitetura e Urbanismo da Universidade
de São Paulo para a obtenção do título de
Doutora em Arquitetura e Urbanismo

Área de Concentração: Tecnologia da
Arquitetura

Orientadora: Profa. Dra. Rosaria Ono

**São Paulo
2019**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

EXEMPLAR REVISADO E ALTERADO EM REALIZAÇÃO À VERSÃO ORIGINAL, SOB RESPONSABILIDADE DO AUTOR E ANUÊNCIA DO ORIENTADOR.

O original encontra-se disponível na sede do programa.

São Paulo, 10 de janeiro de 2019.

e-mail da autora: cristinak@ipt.br

Catálogo da Publicação

Ikeda, Cristina Yukari Kawakita

Determinação de faixas de operação de parâmetros acústicos para avaliação da qualidade sonora de salas de aula / Cristina Yukari Kawakita Ikeda; Orientadora: Rosaria Ono. São Paulo, 2019. 313 p.

Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura.

1. Acústica Arquitetônica. 2. Sala de Aula. 3. Avaliação Pós-Ocupação. 4. Simulação. I. Ono, Rosaria, orient. II. Título.

DEDICATÓRIA

A Deus, por tudo.

A minha família:

Jun, Alexandre e Leonardo, pela demonstração de muita paciência e amor ao longo deste processo.

A meus pais, Hideo e Linda, pela educação e apoio.

A minha avó, Shizue, pelo exemplo de vida.

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora Profa. Dra. Rosaria Ono, pela sabedoria na condução da pesquisa.

Ao Instituto de Pesquisas tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, especialmente à pesquisadora Dra. Maria Akutsu e ao pesquisador Dr. Fulvio Vittorino, pelos preciosos conselhos e oportunidades concedido, sem os quais não seria possível a realização desta pesquisa.

Aos meus amigos do Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios (LCA-IPT): Peter Joseph Barry, Marcelo de Mello Aquilino, Adriana Camargo de Brito, Elisa Morandé Sales, André Delfino Azevedo, Melissa Revoredo Braga, Paulo Carnio, Lucia Santos Szendler Baladore, Henrique Lima Pires e Victor Gabriel Marino, pela troca de experiências, pela motivação e pelo auxílio na pesquisa.

A Alexandre Virginelli Maiorino pela prontidão e valiosa orientação para realização das medições.

A Leonardo Matheus Marion Jorge, pelo inestimável auxílio na criação de planilhas dinâmicas.

A Marcelo Verde de Souza, Rosemeire Casanova Nogueira, Monica Sendra Alegret, Jonatas Carvalho de Araujo, Ana Paula De Bortoli Ribeiro, Wilson Ricardo Ferreira, José Ricardo Albani Fabiano, Marcio Aurelio Felipe Elias, Rosana de Oliveira Andrade Antonio, Claudio Amarante da Silva, Luciene de Oliveira Moro, Claudia Siqueira, Roberta Pinotti De Santi Bocchile, e Rosana Fortini, pela viabilização da execução dos trabalhos de campo em suas escolas.

RESUMO

Boas condições acústicas, para a transmissão e para o entendimento da mensagem falada, são importantes para a eficácia do processo de aprendizagem. Para tanto, além de se minimizar a intrusão do ruído externo, é fundamental que a distribuição da energia sonora no interior das salas de aula seja adequada. Quando não se adotavam soluções prescritivas, utilizava-se para projeto, apenas, o tradicional tempo de reverberação. Na literatura, há faixas de valores para outros descritores que, por falta de estudos específicos, não são empregados para salas de aula. Esta pesquisa enfoca essa lacuna no conhecimento, ou seja, estabelecimento de faixas adequadas de outros descritores que possam ser empregados na otimização do projeto acústico de salas de aula sob a perspectiva dos alunos. Para atingir esse objetivo utilizou-se de métodos de Avaliação Pós-Ocupação, com a aplicação de questionários e a medição de descritores, usando-se a técnica de medição da resposta impulsiva, de várias salas de escolas diferentes, a fim de associar os valores medidos com o grau de satisfação expressado pelos usuários dos espaços. As medições foram feitas, em oitavas, ao longo de uma malha de pontos. Os valores medidos foram complementados com simulações computacionais para avaliar outras posições no interior dos recintos. Foram analisados os descritores TR, EDT, BR, Ts, D₅₀ e RASTI. Destes parâmetros, foram selecionados aqueles que podem ser otimizados pelas decisões de projeto arquitetônico, sendo estes: TR, EDT, Ts e RASTI.

Palavras-chave: Acústica Arquitetônica, Sala de Aula, Avaliação Pós-Ocupação.

ABSTRACT

Determination of operating ranges of acoustic parameters for evaluation of the sound quality of classrooms

Good acoustic conditions, for the transmission and understanding of the spoken message, are important for the effectiveness of the learning process. Therefore, in addition to minimizing the intrusion of outdoor noise, it is essential that the distribution of the sound energy inside the classrooms is adequate. When prescriptive solutions were not adopted, only the traditional reverberation time was used for design. In the literature, there are ranges of values for other descriptors that, for lack of specific studies, are not used for classrooms. This research focuses on this knowledge gap, that is, the establishment of adequate ranges of other descriptors that can be used to optimize the acoustic design of classrooms from the perspective of the students. In order to accomplish this objective, Post-Occupancy Evaluation methods were used, with the application of questionnaires and the measurement of descriptors, using the impulse response measurement technique of several classrooms from different schools, in order to associate the measured values with the degree of satisfaction expressed by its users. Measurements were made in octave bands along a mesh of points. The obtained values were complemented with computational simulations to evaluate other positions inside the rooms. The descriptors TR, EDT, BR, Ts, D₅₀ and RASTI were analyzed. From these parameters, those that can be optimized by the architectural design decisions were selected, being these: TR, EDT, Ts and RASTI

Keywords: Architectural Acoustics, Classroom, Post-Occupancy Evaluation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura	Página
Figura 1: Escola Normal de São Paulo, escola pública construída em 1894.	16
Figura 2: Planta baixa original da Escola Normal de São Paulo: seção feminina do lado esquerdo e masculina do lado direito.....	16
Figura 3: Visconde de Congonhas do Campo.....	17
Figura 4: Planta baixa do nível térreo do Grupo Escolar Visconde Congonhas do Campo. 1. Sala de Aula; 2. Circulação; 3. Administração; 4. Sanitários...	17
Figura 5: Grupos escolares (1949), em São Paulo, de Hélio Duarte.....	19
Figura 6: Escola em Guarulhos projetada por Vilanova Artigas.....	20
Figura 7: Análise esquemática da implantação da Escola de Guarulhos.	20
Figura 8: Centro educacional projetado em 1970 pelo arquiteto Djalma Cintra de Andrade	21
Figura 9: Planta do pavimento superior do centro educacional projetado em 1970 pelo arquiteto Djalma Cintra de Andrade.....	22
Figura 10: Fachada da Escola Parque Dourado V	24
Figura 11: Escola Parque Dourado V.....	24
Figura 12: Planta de implantação do CEU Rosa da China, São Paulo.	25
Figura 13: CEU Rosa da China, São Paulo.....	25
Figura 14: Desenho esquemático do padrão curvo de escola SESI	26
Figura 15: Planta de um dos pavimentos do padrão vertical de escola SESI.	27
Figura 16: Exemplo da resposta impulsiva de uma sala.	35
Figura 17: Fontes de ruído típicas	46
Figura 18: Classificação de plantas de edifícios escolares	47
Figura 19: Fatores que influenciam na resposta acústica da sala de aula.....	48
Figura 20: Modelo de comunicação em sala de aula, incluindo oradores, barreiras em potencial no canal de comunicação e limitações dos ouvintes.	59
Figura 21: Distribuição do nível pressão sonora, em dB(A), no interior de uma sala de aula, obtida no estudo para a determinação da dimensão da malha para simulação acústica.....	65
Figura 22: Entorno da Escola A	70
Figura 23: Posicionamento das salas de aula participantes da pesquisa na Escola A.....	71
Figura 24: Vistas da sala 8 da Escola A.....	72
Figura 25: Vistas da sala 9 da Escola A.....	72
Figura 26: Vistas da sala 10 da Escola A	73
Figura 27: Vistas da sala 11 da Escola A	73
Figura 28: Entorno da Escola B	75
Figura 29: Posicionamento das salas de aula participantes da pesquisa na Escola B.....	76
Figura 30: Vistas da sala 1 da Escola B	78
Figura 31: Vistas da sala 2 da Escola B	78

Figura 32: Vistas da sala 3 da Escola B.....	79
Figura 33: Vistas da sala 4 da Escola B.....	79
Figura 34: Vistas da sala 5 da Escola B.....	80
Figura 35: Vistas da sala 6 da Escola B.....	80
Figura 36: Vistas da sala 7 da Escola B.....	81
Figura 37: Vistas da sala 8 da Escola B.....	81
Figura 38: Entorno da Escola C.....	82
Figura 39: Posicionamento das salas de aula participantes da pesquisa na Escola C.....	82
Figura 40: Vistas da sala 1 da Escola C.....	84
Figura 41: Vistas da sala 5 da Escola C.....	84
Figura 42: Vistas da sala 6 da Escola C.....	85
Figura 43: Vistas da sala 7 da Escola C.....	85
Figura 44: Entorno da Escola D.....	86
Figura 45: Posicionamento das salas de aula participantes da pesquisa na Escola D.....	87
Figura 46: Vistas da sala 7 da Escola D.....	88
Figura 47: Vistas da sala 8 da Escola D.....	88
Figura 48: Vistas da sala 9 da Escola D.....	89
Figura 49: Vistas da sala 10 da Escola D.....	89
Figura 50: Entorno da Escola E.....	91
Figura 51: Posicionamento das salas de aula participantes da pesquisa na Escola E.....	92
Figura 52: Vistas da sala do 8º ano do Ensino Fundamental da Escola E.....	94
Figura 53: Vistas da sala do 9º ano do Ensino Fundamental da Escola E.....	94
Figura 54: Vistas da sala do 1º ano do Ensino Médio da Escola E.....	95
Figura 55: Vistas da sala do 2º ano do Ensino Médio da Escola E.....	95
Figura 56: Vistas da sala do 3º ano do Ensino Médio da Escola E.....	96
Figura 57: Sistema de medição.....	106
Figura 58: Desenho esquemático dos possíveis posicionamentos do microfone.....	106
Figura 59: Níveis de pressão sonora da fala a 1 m.....	107
Figura 60: Exemplo de comparação dos valores medidos e simulados de TR.....	109
Figura 61: Exemplo de comparação dos valores medidos e simulados de EDT, T_{30} , D_{50} e T_s	110
Figura 62: Posições ocupadas pelos alunos considerados satisfeitos na Escola A. .	113
Figura 63: Posições ocupadas pelos alunos considerados satisfeitos na Escola C. .	113
Figura 64: Posições ocupadas pelos alunos considerados satisfeitos na Escola B. .	114
Figura 65: Posições ocupadas pelos alunos considerados satisfeitos na Escola D. .	115
Figura 66: Posições ocupadas pelos alunos considerados satisfeitos na Escola E. .	116
Figura 67: Diagrama de distribuição espacial do TR para 1000 Hz para a configuração de janelas e cortinas fechadas.....	127
Figura 68: Diagrama de distribuição espacial do TR para 1000 Hz para a configuração de janela fechada e cortina aberta.....	127
Figura 69: Valores de TR obtidos neste estudo e estipulados por outras normas e pesquisas.....	129

Figura 70: Diagrama de distribuição espacial do EDT para 1000 Hz para a configuração de janelas e cortinas fechadas.	133
Figura 71: Diagrama de distribuição espacial do EDT para 1000 Hz para a configuração de janela fechada e cortina aberta.	133
Figura 72: Valores de EDT obtidos neste estudo e estipulados por outras normas e pesquisas.	134
Figura 73: Valores de BR obtidos neste estudo e estipulados por outras normas e pesquisas.	138
Figura 74: Diagrama de distribuição espacial do Ts para 1000 Hz para a configuração de janelas e cortinas fechadas.	142
Figura 75: Diagrama de distribuição espacial do EDT para 1000 Hz para a configuração de janela fechada e cortina aberta.	142
Figura 76: Valores de Ts obtidos neste estudo e estipulados por outras normas e pesquisas.	144
Figura 77: Diagrama de distribuição espacial do D ₅₀ para 1000 Hz para a configuração de janelas e cortinas fechadas.	145
Figura 78: Diagrama de distribuição espacial do D ₅₀ para 1000 Hz para a configuração de janela fechada e cortina aberta.	145
Figura 79: Valores de D ₅₀ obtidos neste estudo e estipulados por outras normas e pesquisas.	149
Figura 80: Diagrama de distribuição espacial do RASTI para a configuração de janelas e cortinas fechadas.	152
Figura 81: Diagrama de distribuição espacial do RASTI para a configuração de janela fechada e cortina aberta.	152
Figura 82: Valores de RASTI obtidos neste estudo e estipulados por outras normas e pesquisas.	153
Figura 83: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 63 Hz.	275
Figura 84: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 63 Hz.	275
Figura 85: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 125 Hz.	276
Figura 86: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 125 Hz.	276
Figura 87: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 250 Hz.	277
Figura 88: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 250 Hz.	277
Figura 89: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 500 Hz.	278
Figura 90: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 500 Hz.	278
Figura 91: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 1000 Hz.	279
Figura 92: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 1000 Hz.	279

Figura 93: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 2000 Hz	280
Figura 94: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 2000 Hz	280
Figura 95: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 4000 Hz	281
Figura 96: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 4000 Hz	281
Figura 97: Exemplo de diagramas de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 8000 Hz	282
Figura 98: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 8000 Hz	282
Figura 99: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 63 Hz.....	285
Figura 100: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 63 Hz.	285
Figura 101: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 125 Hz.	286
Figura 102: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 125 Hz.	286
Figura 103: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 250 Hz.	287
Figura 104: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 250 Hz.	287
Figura 105: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 500 Hz.	288
Figura 106: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 500 Hz.	288
Figura 107: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 1000 Hz.	289
Figura 108: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 1000 Hz.....	289
Figura 109: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 2000 Hz.	290
Figura 110: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 2000 Hz.....	290
Figura 111: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 4000 Hz.	291
Figura 112: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 4000 Hz.....	291
Figura 113: Exemplo de diagramas de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 8000 Hz.	292
Figura 114: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 8000 Hz.....	292
Figura 115: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de Ts para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 63 Hz.....	295

Figura 116: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 63 Hz.....	295
Figura 117: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 125 Hz.....	296
Figura 118: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 125 Hz.....	296
Figura 119: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 250 Hz.....	297
Figura 120: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 250 Hz.....	297
Figura 121: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 500 Hz.....	298
Figura 122: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 500 Hz.....	298
Figura 123: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 1000 Hz.....	299
Figura 124: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 1000 Hz	299
Figura 125: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 2000 Hz.....	300
Figura 126: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 2000 Hz	300
Figura 127: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 4000 Hz.....	301
Figura 128: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 4000 Hz	301
Figura 129: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 8000 Hz.....	302
Figura 130: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 8000 Hz	302
Figura 131: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 63 Hz	305
Figura 132: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 63 Hz.....	305
Figura 133: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 125 Hz.....	306
Figura 134: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 125 Hz.....	306
Figura 135: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 250 Hz.....	307
Figura 136: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 250 Hz.....	307
Figura 137: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 500 Hz.....	308
Figura 138: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 500 Hz.....	308

Figura 139: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 500 Hz	309
Figura 140: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 500 Hz.	309
Figura 141: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 1000 Hz	310
Figura 142: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 1000 Hz.	310
Figura 143: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 2000 Hz	311
Figura 144: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 2000 Hz.	311
Figura 145: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 4000 Hz	312
Figura 146: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 4000 Hz.	312
Figura 147: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 8000 Hz	313
Figura 148: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 8000 Hz.	313

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
Tabela 1: Escolas no Estado de São Paulo segundo o Censo Educacional 2017	7
Tabela 2: Critérios do TR recomendados para salas de aula.....	54
Tabela 3: Critérios de EDT recomendados.	55
Tabela 4: Critério de mérito segundo Beranek (1962) apud Leão (2005)	56
Tabela 5: Valores de referência de D_{50} (Marshall apud Ansay e Zannin, 2016).	57
Tabela 6: Critérios de T_s recomendados.....	58
Tabela 7: Valores de RASTI e correspondente inteligibilidade.	60
Tabela 8: Parâmetros acústicos e seu JND.....	66
Tabela 9: Características das salas de aula.....	74
Tabela 10: Características das salas de aula	77
Tabela 11: Características das salas de aula	83
Tabela 12: Características das salas de aula	90
Tabela 13: Características das salas de aula	93
Tabela 14: Número de alunos respondentes	103
Tabela 15: Materiais aplicados nas superfícies	108
Tabela 16: Exemplo de comparação dos valores medidos e simulados.	109
Tabela 17: Definição da faixa de valores para o TR em 63 Hz.....	117
Tabela 18: Valores de TR para a configuração de janelas e cortinas fechadas.	125
Tabela 19: Valores de TR para a configuração de janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas.....	126
Tabela 20: Indicativo de faixas de valores do TR nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos.....	128
Tabela 21: Valores de EDT para a configuração de janelas e cortinas fechadas.	131
Tabela 22: Valores de EDT para a configuração de janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas.	132
Tabela 23: Indicativo de faixas de operação do EDT nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos.	133
Tabela 24: Valores de BR para a configuração de janelas e cortinas fechadas.	136
Tabela 25: Valores de BR para a configuração de janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas.....	137
Tabela 26: Indicativo de faixa de operação do BR nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos.....	138
Tabela 27: Valores de T_s para a configuração de janelas e cortinas fechadas.	140
Tabela 28: Valores de T_s para a configuração de janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas.....	141

Tabela 29: Indicativo de faixas de operação do Ts nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos.	143
Tabela 30: Valores de D_{50} para a configuração de janelas e cortinas fechadas.	146
Tabela 31: Valores de Ts para a configuração de janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas.	147
Tabela 32: Indicativo de faixa de operação de D_{50} nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos.	148
Tabela 33: Indicativo de faixasde operação de D_{50} nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos.	148
Tabela 34: Valores de RASTI para a configuração de janelas e cortinas fechadas.	150
Tabela 35: Valores de RASTI para a configuração de janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas.	151
Tabela 36: Indicativo de faixa de operação do RASTI nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos.	153
Tabela 37: Indicativo de faixas de operação para salas de aula desocupadas e mobiliadas, nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos participantes desta pesquisa.	154

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APO – Avaliação Pós-Ocupação

BR – *Bass Ratio* (Calor)

C₈₀ – Clareza

CETAC – Centro Tecnológico do Ambiente Construído

CEU – Centro Educacional Unificados

D₅₀ – Definição

DIN – Deutsches Institut Für Normung

EDT – *Early Decay Time* (Tempo de Decaimento Inicial)

FDE – Fundação para o Desenvolvimento da Educação

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

ISO – *International Organization for Standardization*

RASTI – Rapid Speech Transmission Index (Índice Rápido de Transmissão da Fala)

SENAI – Serviço Nacional De Aprendizado Industrial

SESI – Serviço Social da Indústria

TALE – Termo de Assentimento Livre e Esclarecido

TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

TR – Tempo de Reverberação

Ts – Tempo Central

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	ix
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xvii
SUMÁRIO.....	xix
CAPÍTULO 1: Introdução.....	3
CAPÍTULO 2: Evolução da arquitetura escolar paulista e seu impacto nas condições de exposição ao ruído das salas de aula	15
2.1 Final do século XIX e início do século XX.....	15
2.2 Década de 1930	17
2.3 Meados da década de 1940 e década de 1950	18
2.4 Final da década de 1950 e década de 1960.....	19
2.5 Década de 1970 e 1980.....	20
2.6 Década de 1990	22
2.7 Início dos anos 2000	24
2.7.1 Centros Educacionais Unificados (CEUs)	24
2.7.2 Escolas do Sistema S (SESI e SENAI)	25
2.8 Considerações.....	27
CAPÍTULO 3: Instrumentos de Avaliação Pós-Ocupação.....	31
3.1 Checklist e walkthrough	33
3.2 Medições.....	34
3.3 Questionários	35
3.3.1 Estrutura do questionário e sequência das perguntas.....	36
3.3.2 Linguagem.....	37
3.3.3 Tipos de perguntas	38
3.3.4 Escalas de respostas.....	39
3.3.5 Elaboração do questionário	40
CAPÍTULO 4: Qualidade acústica de salas de aula	45
4.1 Descritores acústicos	49
4.1.1 Tempo de reverberação – TR	51
4.1.2 Tempo de decaimento inicial – EDT	55
4.1.3 Razão de Graves – Bass Ration - BR.....	56
4.1.4 Definição – D ₅₀	57
4.1.5 Tempo Central – Ts.....	58
4.1.6 Inteligibilidade da Fala	59
4.2 Simulações acústicas	61
4.2.1 Limiar da percepção - JND.....	66
CAPÍTULO 5: Casos de estudo.....	69
5.1 Sala de aula da Escola A.....	69
5.2 Salas de aula da Escola B.....	74
5.3 Salas de aula da Escola C	82
5.4 Salas de aula da Escola D	86

5.5	Salas de aula da Escola E.....	90
5.6	Considerações acerca das salas.....	96
CAPÍTULO 6: Método para coleta e tratamento de dados		101
6.1	Questionários	101
6.2	Levantamento das características das salas de aula.....	103
6.3	Medições acústicas.....	104
6.4	Simulações acústicas	107
6.5	Definição das faixas de operação dos descritores	111
CAPÍTULO 7: Resultados e discussão		121
7.1	Questionários	121
7.2	TR.....	124
7.3	EDT	130
7.4	Razão de graves	135
7.5	Tempo Central.....	139
7.6	Definição	144
7.7	RASTI	149
7.8	Síntese das faixas obtidas para os descritores acústicos	154
CAPÍTULO 8: Conclusões		157
REFERÊNCIAS		161
Anexo A – Ficha de levantamento das características das salas		177
Anexo B – Questionário.....		181
Anexo C – Carta de apresentação e solicitação de acesso		185
Anexo D – Modelos de TCLE e TALE.....		189
Anexo E – Procedimento para medição		193
Anexo F – Resumo dos resultados dos questionários para alunos aplicados na Escola A		199
Anexo G – Resumo dos resultados dos questionários para alunos aplicados na Escola B		209
Anexo H – Resumo dos resultados dos questionários para alunos aplicados na Escola C		235
Anexo I – Resumo dos resultados dos questionários para alunos aplicados na Escola D		247
Anexo J – Resumo dos resultados dos questionários para alunos aplicados na Escola E		261
Anexo K – Exemplos de diagramas de distribuição espacial de TR para as configurações de janelas fechadas e cortinas fechadas; e janelas fechadas e cortinas abertas.....		273
Anexo L – Exemplos de diagramas de distribuição espacial de EDT para as configurações de janelas fechadas e cortinas fechadas; e janelas fechadas e cortinas abertas.....		283
Anexo M – Exemplos de diagramas de distribuição espacial de Ts para as configurações de janelas fechadas e cortinas fechadas; e janelas fechadas e cortinas abertas.....		293
Anexo N – Exemplos de diagramas de distribuição espacial de D ₅₀ para as configurações de janelas fechadas e cortinas fechadas; e janelas fechadas e cortinas abertas.....		303

1

Fonte: KEATING (apud FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO, 1998, P.59)

CAPÍTULO 1: Introdução

A importância do conforto ambiental em relação à aprendizagem do aluno está principalmente relacionada ao projeto do edifício e suas adaptações para as atividades do usuário. Vários estudos que fazem referência ao conforto acústico em salas de aula (NELSON; SOLI; SELTZ, 2002; WATSON, 2003; LOSSO; VIVEIROS, 2004; BRADLEY, 2005; GRAÇA; KOWALTOWSKI; PETRECHE, 2007; ZANNIN; ZWIRTES; PASSERO, 2012) mostram que este aspecto em especial, junto aos demais relativos ao conforto ambiental, deve apresentar ótimas condições de desempenho para uma boa experiência de aprendizagem nas escolas.

No edifício escolar, o desempenho do aluno, que poderia ser traduzido pelo grau de sucesso escolar, pode ser prejudicado por condições ambientais deficientes da edificação e pelas frequentes más condições acústicas, de transmissão e de percepção da mensagem oral. Avaliações Pós-Ocupação realizadas em escolas brasileiras (FRANÇA, 2011; ORNSTEIN; ONO, 2010; MONTEIRO, 2009; FERREIRA et al., 2006; ELALI, 2002) já vêm citando o conforto acústico como um dos pontos negativos apontados pelos usuários para o bom desempenho do aprendizado.

O ambiente construído onde se dá aula, não oferecendo ao aluno condições de fácil e imediata percepção da mensagem falada, exigindo um esforço suplementar e permanente de atenção e de concentração, acaba gerando uma disfunção da aprendizagem. É fundamental que a mensagem oral transmitida pelo professor seja, por um lado, completa e adequadamente percebida pelo aluno, em condições de boa inteligibilidade oral e, por outro, que o seja sem esforço suplementar de atenção, devido ao excesso de ruído residual, que possa gerar

cansaço, distração e perda de concentração do aluno. Estas condições acústicas são absolutamente fundamentais nas salas de aulas. São, também, igualmente importantes nas bibliotecas, nos auditórios, nos laboratórios, em salas de estudo e em salas multiusos (ALARCÃO; FAFAIOL; COELHO, 2008).

Apesar disso, em pesquisas realizadas com escritórios de arquitetura que desenvolvem projetos de edifícios escolares para a FDE, Fundação para o Desenvolvimento da Educação, a qualidade acústica dos edifícios escolares e das salas de aula não é geralmente considerada nas fases iniciais de projeto, pois se acredita que esse aspecto é resultado apenas das definições dos materiais de acabamento, o que não é uma conjectura correta (DELIBERADOR; KOWALTOWSKI, 2011).

Atualmente, especificações acústicas para salas de aula são normalmente estabelecidas exclusivamente com base no descritor "tempo de reverberação", com diretrizes de projeto baseadas em regras prescritivas acerca do volume e área dos recintos. Embora, em geral, as condições para a comunicação da fala melhorem quando um tempo de reverberação ideal é atingido, este por si só não fornece a melhor medição direta da inteligibilidade de fala (BISTAFÁ; BRADLEY, 1998). É possível que duas salas com tempos de reverberação semelhantes possam ser percebidas acusticamente diferentes pelos usuários dos espaços. Por meio da determinação e medição de parâmetros acústicos adicionais é possível obter uma relação mais próxima da percepção do som pelas pessoas (CAMPBELL; NILSSON; SVENSSON, 2015).

Dentre os vários descritores acústicos existentes, a definição em quais deles o projetista deve se nortear para ter resultados efetivos é o foco desta pesquisa. Além disso, busca-se avaliar qual a faixa mais adequada para esses descritores, dado que, na literatura, muitos têm faixas recomendadas para outros ambientes, com

exigências acústicas diferentes, como as salas de espetáculo. Destaca-se que a definição dos parâmetros a serem perseguidos dá liberdade ao projetista para obter soluções sem predeterminar geometrias e materiais de revestimento.

A partir da revisão da literatura e dos recursos instrumentais e computacionais disponíveis foram selecionados os seguintes descritores acústicos: tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), razão de graves (BR), definição (D_{50}), clareza (C_{80}), tempo central (T_s), índice de transmissão da fala rápido (RASTI).

Ao explorar-se o parâmetro C_{80} , que é a razão da energia que atinge o ouvinte em até 80ms (reflexões úteis) pela energia remanescente, confirmou-se que embora tenha relação com a geometria e materiais de revestimento e acabamento da sala, não é o mais apropriado a ser considerado para salas destinadas à palavra falada. Portanto, este parâmetro acabou sendo excluído nesta pesquisa.

Questão central da pesquisa e hipótese

Qual a faixa de operação, sob o ponto de vista dos usuários, de parâmetros acústicos, além do tempo de reverberação, para a melhoria da qualidade acústica de uma sala de aula?

Essa questão traz como hipótese que há outros descritores acústicos, além do "tempo de reverberação", que tradicionalmente não são empregados no projeto acústico de salas de aula, e que podem ser otimizados para se produzir ambientes de ensino onde se utiliza fortemente a mensagem falada, com desempenho adequado.

Objeto de estudo

O objeto de estudo desta pesquisa são salas de aula frequentadas por alunos desde o 8º ano do ensino fundamental até o 3º ano do ensino médio em escolas localizadas na Grande São Paulo.

Objetivo

Tem-se como objetivo propor melhores faixas de operação de descritores acústicos, pouco utilizados em projetos acústicos de salas de aula, com relação ao seu potencial para melhoria da qualidade acústica destes espaços, sob a perspectiva de satisfação expressa pelos seus usuários. Como faixa de operação entende-se a faixa delimitada pelo valor mínimo e máximo, para cada banda de oitava, de valores aos quais os alunos mais satisfeitos com o ambiente acústico estavam imersos.

Ressalta-se que os critérios que visam ser estabelecidos estão baseados no conceito de desempenho e não de soluções prescritivas como receitas pré-estabelecidas. Definindo-se desempenho como “a resposta que um determinado produto (o edifício ou suas partes) dá às solicitações que lhe são impostas pelo uso ou pelo meio em que está inserido” (AMORIM, 1989, p.17). Para o desenvolvimento de padrões de desempenho é necessário identificar critérios significantes, que caracterizem o desempenho esperado e a subsequente geração de metodologias, para medir como estes produtos, processos e sistemas aderem aos critérios (WYLY e GALOWIN, 1975). “O estabelecimento de critérios de desempenho levaria uma maior gama de possibilidades de criação de novos produtos e ao desenvolvimento de novas técnicas” (AMORIM, 1989, p.18), além de poder ser utilizado para a avaliação do comportamento do edifício e suas partes.

Justificativa

O conhecimento de faixas ótimas para os diversos descritores acústicos permitirá o projeto e a construção de novas escolas com boas condições acústicas, de transmissão e de percepção da mensagem falada, criando assim, melhores condições para aprendizagem.

Além do mais, há a questão do passivo de prédios escolares existentes. Segundo o Ministério da Educação (2018) (online), no Censo Educacional 2017, o Estado de São Paulo possuía 15.188 escolas do ensino fundamental e 6.504 escolas do ensino médio, levando em conta as escolas privadas e as escolas públicas municipais, estaduais e federais. Na Tabela 1 pode ser observado o número de escolas em cada segmento. Assim, o desenvolvimento de soluções que visem aprimorar a qualidade acústica dos edifícios escolares possui um grande universo no qual podem ser aplicadas, tanto em futuros projetos de construção, como em reformas de edifícios já existentes.

Tabela 1: Escolas no Estado de São Paulo segundo o Censo Educacional 2017

Escolas do ensino fundamental	
Escolas privadas	4.511 escolas
Escolas públicas municipais	5.865 escolas
Escolas públicas estaduais	4.811 escolas
Escolas públicas federais	1 escola
Total	15.188 escolas
Escolas do ensino médio	
Escolas privadas	2.370 escolas
Escolas públicas municipais	59 escolas
Escolas públicas estaduais	4.043 escolas
Escolas públicas federais	32 escolas
Total	6.504 escolas

Fonte: INEP (2018)

Métodos e Técnicas

Os métodos para estudar a questão central da pesquisa foram escolhidos tanto por meio dos conhecimentos adquiridos durante a realização da dissertação de mestrado (KAWAKITA, 2008), quando já foram feitas medições acústicas e entrevistas com moradores de edifícios, como por uma revisão bibliográfica inicial, visando a estruturação da presente pesquisa; e do conhecimento dos recursos instrumentais e computacionais disponíveis.

Foram adotados métodos de APO para obtenção dos dados qualitativos e quantitativos com o intuito de se comprovar a hipótese. Para a obtenção dos dados qualitativos foram utilizados questionários, aplicados em alunos. Para obtenção dos dados quantitativos, foram feitas medições acústicas em todas as salas nas quais os questionários foram aplicados. Através das informações das fichas de levantamento das características das salas e dos registros fotográficos, foram gerados modelos virtuais das salas e, em conjunto com os dados medidos em campo, foram feitos ajustes em cada modelo para a realização das simulações acústicas computacionais a fim de se obter a distribuição espacial dos descritores acústicos a serem estudados em outras posições além daquelas em que foram feitas as medições.

A seguir são apresentadas as etapas da pesquisa:

- A revisão bibliográfica aprofundada sobre os temas enfocando os trabalhos mais recentes, na área de APO em salas de aula e acústica de salas de aula, para que seja feita uma análise crítica das contribuições de outros pesquisadores;
- Levantamento de ferramentas da APO a serem utilizadas. Nesta etapa da pesquisa foram elencadas as ferramentas mais pertinentes a serem utilizadas para a seleção e avaliação das salas de aula;

- Definição do esquema amostral. A princípio, o universo amostral seria das salas de aula de escolas do estado de São Paulo. Contudo, dada a impossibilidade de se abordar um universo de tal dimensão, foram feitos estudos de caso em 5 escolas localizadas na Grande São Paulo.
- Seleção das ferramentas de APO a serem aplicadas e elaboração de questionários;
- Realização de estudo piloto para verificar a inteligibilidade (facilidade de entendimento) dos questionários, o tempo necessário para completá-los e adequação das outras ferramentas de APO selecionadas.
- Aplicação das ferramentas de APO selecionadas à amostra escolhida;
- Realização de medições acústicas, que serviram tanto para a definição de faixas otimizadas para os descritores em estudo como para inserção de ajustes nas simulações acústicas computacionais. Os dados obtidos nas medições foram cruzados com o grau de satisfação dos usuários. Para a realização das medições foram disponibilizados equipamentos do Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios (CETAC, IPT).
- Realização de simulação acústica computacional que possibilitou a visualização do comportamento do som não somente em pontos da sala como em toda a sua área e com o cruzamento com o grau de satisfação dos usuários. Para a realização das simulações computacionais acústicas foi disponibilizado o software Odeon, cuja licença também pertence ao Laboratório de Conforto Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios (CETAC, IPT).

- Análise dos dados de grau de satisfação dos usuários, medição e simulação conforme procedimento explicado no capítulo 6. Nesta etapa foi feita a comparação entre os dados medidos e simulados com a opinião dos usuários das salas de aula. A análise teve, ainda, como base normas técnicas e referenciais nacionais e internacionais, nas quais os descritores estudados são citados.
- Formulação das conclusões

Estrutura da Tese

O capítulo 1 (Introdução) descreve a natureza do problema, a questão central a ser respondida pela pesquisa, os objetivos e a metodologia adotada.

O capítulo 2 (Evolução da arquitetura escolar paulista e seu impacto nas condições de exposição ao ruído das salas de aula) analisa as edificações escolares paulistas do final do século XIX até o início dos anos 2000 e a sua relação com o conforto acústico.

O capítulo 3 (Ferramentas de avaliação pós-ocupação) proporciona uma visão geral sobre os procedimentos metodológicos de APO. Este ferramental foi usado para tentar encontrar uma relação entre a satisfação de alunos quanto à acústica das salas de aula e os descritores acústicos medidos e simulados computacionalmente.

O capítulo 4 (Qualidade acústica de salas de aula) apresenta e discute os descritores acústicos que serão avaliados.

O capítulo 5 (Casos de estudo) apresenta as características das escolas em cujas salas de aula ocorrerão medições e/ou simulações e aplicação de instrumentos de APO.

O capítulo 6 (Método para coleta e tratamento de dados) descreve e discute as seguintes atividades realizadas:

- Elaboração de instrumentos de APO e forma de coleta de dados com a aplicação desses instrumentos; ;
- Levantamento das características das salas de aula que impactam na distribuição do campo sonoro em seu interior;
- Medições dos descritores acústicos em várias posições nas salas de aula;
- Simulações computacionais para determinação da distribuição espacial dos descritores acústicos em malha mais fina;
- Forma de tratamento dos dados obtidos

O capítulo 7 (Resultados e Discussão) apresenta os resultados das medições e simulações acústicas e análise das respostas aos instrumentos de APO selecionados. Com base nestes dados, são estabelecidas faixas de valores recomendados para cada descritor.

O capítulo 8 (Conclusões) apresenta as conclusões e limitações da pesquisa e sugere futuros encaminhamentos.

2

Fonte: KEATING (apud FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO, 1998, P.71)

CAPÍTULO 2: Evolução da arquitetura escolar paulista e seu impacto nas condições de exposição ao ruído das salas de aula

Os prédios escolares são importantes marcos na paisagem urbana das cidades e símbolos do desenvolvimento econômico e social. A arquitetura das escolas, em São Paulo, sendo representativa de diferentes períodos da arquitetura paulista consolida as características dos estilos da época, manifestando as vanguardas de partidos arquitetônicos e espelhando as políticas públicas (OLIVEIRA, 2007). Na discussão sobre a arquitetura escolar exigem-se reflexões sobre a história e evolução da sua linguagem formal e das avaliações do ambiente que incluem o conforto nos seus vários aspectos: térmico, acústico, de iluminação e funcionalidade (DELIBERADOR, 2010). A seguir são apresentados exemplos de projetos arquitetônicos considerados icônicos que refletem as mudanças de preocupações enfocadas pelos projetistas de cada época.

2.1 *Final do século XIX e início do século XX*

A arquitetura escolar do final do século XIX e início do século XX obedecia a um programa arquitetônico composto basicamente de salas de aula e de um número reduzido de ambientes administrativos. Os edifícios escolares caracterizavam-se pela simetria da planta na qual se identificava a rígida separação entre a seção feminina e masculina exigida pelo regimento desses estabelecimentos (FDE, 1998). Nas Figuras 1 e 2, podem ser observadas a vista externa e planta baixa da Escola Normal de São Paulo (atual edifício da Secretaria de Educação do estado de São Paulo), um exemplo de construção do gênero, localizada na região central de São Paulo.

Figura1: Escola Normal de São Paulo, escola pública construída em 1894.
Fonte: SÃO PAULO 450 ANOS (online)

Figura 2: Planta baixa original da Escola Normal de São Paulo: seção feminina do lado esquerdo e masculina do lado direito.
Fonte: IECC(online)

O projeto dessas escolas inspirava-se no ecletismo europeu. O desenvolvimento do projeto dava-se em torno de um eixo de simetria, com esquemas de circulação geralmente em “U” ou “H”, com a formação de um pátio interno, diferenciando-se pelo número de salas de aula, pela implantação e pelas fachadas específicas para cada edifício. Em geral, apenas o tratamento da fachada e a ornamentação diferenciavam os projetos entre si, além da adequação dos edifícios aos diferentes perfis de terrenos, soluções estas viabilizadas através da utilização de porões altos (OLIVEIRA, 2007). A existência de um pátio interno acabava trazendo as fontes de ruído mais próximas das salas de aula, áreas acusticamente mais sensíveis. Entretanto, os corredores acabavam funcionando como antecâmaras e auxiliando na redução do ruído externo que penetraria nas salas de aula. Como o pátio não era coberto e não estava totalmente enclausurado pelas paredes da edificação, parte do ruído acabava se dispersando, mas poderia vir a incomodar as edificações que estivessem muito próximas. Como, na época, as cidades não estavam tão adensadas e o ruído de tráfego de veículos automotivos praticamente não existia, pois até 1904 só havia 84 veículos registrados na Inspetoria de Veículos, segundo o Governo do Estado de São Paulo (online), estes pontos não configuravam em problemas.

2.2 Década de 1930

A Comissão Permanente de Prédios Escolares, criada pela Secretaria de Educação e Saúde do Estado de São Paulo, realizou estudos de orientação da edificação e seu impacto sobre a iluminação e ventilação das salas de aula, dentre outros, na década de 1930. Por estes estudos, a concepção arquitetônica de disposição das salas de um só lado do corredor era mais apropriada do que a disposição de salas dos dois lados de um corredor; entretanto, tornava a obra mais cara por possibilitar a disposição de menor quantidade de salas. Estudos elaborados por esta comissão sobre as dimensões das janelas e sua posição nos ambientes, recomendavam janelas com altura de 1,70 m a 2,00 m. O pé-direito proposto para a sala de aula era de 3,60 m (OLIVEIRA, 2007). A unidade escolar atualmente denominada Escola Estadual Visconde de Congonhas do Campo, cuja construção original é de 1938, ilustrada nas Figuras 3 e 4, é um exemplo de projeto em que as salas de aula estão dispostas de um só lado do corredor.

Figura 3: Visconde de Congonhas do Campo.
Fonte: Acrópole (1938)

Figura 4: Planta baixa do nível térreo do Grupo Escolar Visconde Congonhas do Campo. 1. Sala de Aula; 2. Circulação; 3. Administração; 4. Sanitários.

Fonte: BUFFA e PINTO, 2002.

A disposição de salas de aula de um só lado do corredor possui vantagens em termos do conforto acústico, pois dificulta a transmissão de ruído de uma sala para outra, criando caminhos mais longos a serem percorridos pelo som direto. As

grandes janelas têm a vantagem de fornecer luz natural e promover a ventilação natural dos ambientes, mas têm a desvantagem, como elementos acusticamente menos isolantes, de permitir a maior entrada de ruído proveniente do ambiente externo e das salas adjacentes.

2.3 Meados da década de 1940 e década de 1950

A arquitetura escolar da década de 1950 possuía caráter moderno com edifícios implantados em blocos independentes ligados por circulações cobertas. Geralmente, cada bloco apresentava funções e usos diferenciados, agrupados em espaços administrativo, didático e de serviços (OLIVEIRA, 2007). Conforme Azevedo et al (2007, p.9), “na expectativa de conseguir acompanhar o crescimento da demanda de salas de aula - exigido pelas metas das políticas educacionais vigentes, cresce a tentativa de solucionar a problemática a partir da normatização, racionalização e padronização projetiva e construtiva”.

No Estado de São Paulo, a arquitetura moderna passou a ser empregada nas escolas públicas a partir do Convênio Escolar, um acordo firmado em 1948 entre o Estado e o Município de São Paulo, cujas principais realizações ocorreram de 1949 a 1954. A prefeitura do município de São Paulo criou um organismo específico para cumprir o convênio, a Comissão Executiva do Convênio Escolar, com o arquiteto Hélio Duarte na direção técnica do plano de construções. Arquitetonicamente, os edifícios se alinhavam com a Escola Carioca: divisão funcional do programa em diferentes volumes, distribuídos em formas aproximadas de “U” ou “H”, tetos planos ou inclinados em meia-água, pilotis, panos de vidro com protetores solares, elementos vazados, integração entre espaço interno e externo, estrutura e paramentos revestidos (BASTOS, 2009), como ilustrado na Figura 5. Não foram encontradas informações quanto ao pé-direito e às dimensões de janelas.

Figura 5: Grupos escolares (1949), em São Paulo, de Hélio Duarte.
Fonte: Acrópole (1938)

Fonte: Bastos (2009)

Hélio Duarte inspirou-se nos conceitos de escola-parque de Anísio Teixeira (que estava à frente da Secretaria de Educação da Bahia) onde ocorreriam atividades complementares como educação física e artística e escola-classe. Cada escola-parque teria estrutura para atender 4 escolas-classe construídas no entorno. Acusticamente, o conceito é benéfico por afastar parte das atividades ruidosas, como as aulas de educação física, das salas de aula.

2.4 Final da década de 1950 e década de 1960

Na arquitetura paulista, neste período, têm destaque as escolas públicas projetadas por João Batista Vilanova Artigas em Itanhaém, em 1959 e em Guarulhos, em 1960 (Figuras 6 e 7), que retomam o conceito de um edifício único e compacto abrigando várias funções internamente, setorizadas em blocos, e utilizando concreto armado em elementos pré-moldados (OLIVEIRA, 2007). A proposta do Ginásio de Itanhaém promoveu uma alteração no modo como eram produzidas as escolas no país, sobretudo em São Paulo, que passaram a ser edifícios

com planta livre e estruturas independentes de concreto armado. Trata-se de um projeto com sistema construtivo – desde a laje impermeabilizada até os elementos portantes – que visa uma produção em larga escala (FIORIN, 2011). Ao contrário dos espaços compartimentados que predominavam em sua época, para Artigas, os espaços integrados em torno do pátio coberto, contínuo e amplo, criavam condições de promover a sociabilização e convivência dos indivíduos, permitindo o contato e o encontro das pessoas, o fortalecimento do diálogo e do respeito, através de uma característica importante da Arquitetura Moderna, a continuidade visual e a proximidade física entre pessoas (TAGLIARI et al., 2014).

Figura 6: Escola em Guarulhos projetada por Vilanova Artigas.

Fonte: Kon (online)

Figura 7: Análise esquemática da implantação da Escola de Guarulhos.

Fonte: Carvalho (2009)

No entanto, a compactação dos espaços em um edifício único acaba acarretando a aproximação de áreas acusticamente sensíveis, como salas de aula e auditório, de áreas geradoras de ruído como pátios e quadras de esporte, como pode ser visto no esquema da Figura 7.

2.5 Década de 1970 e 1980

As décadas de 1970 e 1980 foram um período marcado pela intensificação da padronização dos materiais e componentes com o intuito de acelerar o processo construtivo. Nesta época, houve um aumento no número de novas escolas no

estado de São Paulo (MACHADO, 2009). Em 1975, o Governo estadual cria a CONESP - Companhia de Construções Escolares do Estado de São Paulo cujo aperfeiçoamento da sistemática da construção resultou na elaboração de uma série de manuais de especificações escolares, que se tornaram referência para diversos organismos que tratam do projeto e construção de edificações escolares no estado de São Paulo. Em 1987, foi criada a FDE, Fundação de Desenvolvimento da Educação, que acaba reunindo os órgãos estaduais que tratavam de assuntos relativos à produção do ambiente construído (AZEVEDO, 2007). Os projetos de escolas públicas paulistas desta época visavam o uso de soluções de fácil manutenção. O projeto padrão do centro educacional, ilustrado nas Figuras 8 e 9, executado pelo arquiteto Djalma Cintra de Andrade, em 1970, foi construído 112 vezes. É um edifício compacto de dois pavimentos com estrutura de concreto aparente, com pé-direito de 3 m no pavimento superior. Possui caixilhos basculantes de aço na fachada e voltados para o corredor para promover a ventilação cruzada (MELLO, 2012).

Figura 8: Centro educacional projetado em 1970 pelo arquiteto Djalma Cintra de Andrade

Fonte: Mello (2012)

- 17. AULA
- 18. SANITÁRIO FEMININO ALUNOS
- 19. SANITÁRIO MASCULINO ALUNOS
- 20. SANITÁRIO FEMININO PROFESSORES
- 21. SANITÁRIO MASCULINO PROFESSORES
- 22. DEPÓSITO
- 23. ECONOMIA DOMÉSTICA
- 24. ARTES PLÁSTICAS
- 25. LABORATÓRIO DE CIÊNCIAS
- 26. PRÁTICAS COMERCIAIS
- 27. GRÊMIO
- 28. BIBLIOTECA

Figura 9: Planta do pavimento superior do centro educacional projetado em 1970 pelo arquiteto Djalma Cintra de Andrade

Fonte: Mello (2012)

As salas de aulas localizadas dos dois lados do corredor, com as portas voltadas umas de frente para as outras, configuram um caminho direto do som gerado dentro de uma sala para a outra. E, mesmo com o fechamento das portas, os caixilhos basculantes voltados para o corredor acabam por diminuir a isolamento sonora da vedação vertical, permitindo maior entrada do som proveniente do corredor e das outras salas de aula.

2.6 Década de 1990

A FDE, através de seus manuais de ambientes, de componentes construtivos e de serviços, visa uma racionalização do processo de projeto e obra das escolas

estaduais. Os ambientes são setorizados. Aqueles com funções administrativas são: diretoria, secretaria, almoxarifado, coordenação pedagógica, sala de professores e conjunto de sanitário para o setor administrativo. Os ambientes com funções pedagógicas são: as salas de aula, as salas de reforço, uso múltiplo, centro de leitura e depósito. Os ambientes de serviço são: o depósito de materiais de limpeza e conjunto de sanitários para funcionários. As áreas de circulações são: a circulação horizontal e vertical e os acessos ao edifício. Os espaços de vivência são: a cozinha, despensa, refeitório, cantina, conjunto de sanitários para alunos, grêmio, depósito de materiais para educação física, quadra coberta, quadra descoberta, espaço multiesportivo e pátio coberto (MACHADO, 2009).

Para a sala de aula, o pé direito mínimo exigido é de 3,00 m, a área de iluminação mínima é de 1/5 da área do piso, a área de ventilação mínima é de 1/10 da área de piso, e estabelece-se o uso obrigatório de laje e de ventilação cruzada por caixilhos situados na parede oposta à das janelas voltadas para o exterior (FDE, 2003). As especificações do ambiente escolar têm recomendações mínimas de conforto lumínico e ventilação, mas não há referências a parâmetros de conforto acústico (KOWALTOWSKI, 2011). A setorização dos espaços acaba sendo uma vantagem acústica, pois agrega ambientes com vulnerabilidade similar ao ruído. Entretanto, o fato dos espaços estarem contidos em um mesmo edifício, conforme ilustrado nas Figuras 10 e 11, faz com que exista o contato entre alguns ambientes ruidosos e ambientes de funções pedagógicas. A existência de caixilhos voltados para o corredor, para promover a ventilação cruzada, permite maior entrada do som proveniente do corredor e das outras salas de aula.

Figura 10: Fachada da Escola Parque Dourado V

Fonte: Luccia (online)

Figura 11: Escola Parque Dourado V

Fonte: Luccia (online)

2.7 Início dos anos 2000

2.7.1 Centros Educacionais Unificados (CEUs)

No âmbito do município de São Paulo, a escola-parque, projeto da década de 1950, serviu de inspiração para um projeto da prefeitura na gestão 2001-2004, que criou o conceito de Centros Educacionais Unificados (CEUs). O projeto básico desses Centros é composto por um volume cilíndrico para a creche; um edifício de projeção retangular, longo e estreito para os ensinos infantil e fundamental; um edifício que abriga teatro e instalações esportivas; e um parque aquático com três piscinas (BASTOS, 2009), como no exemplo do CEU Rosa da China, ilustrado pelas Figuras 12 e 13. "Embora a ideia de uma escola que integre vários equipamentos não seja nova, o projeto dos CEUs é diferente dos outros projetos por agregar avanços estabelecidos ao longo do desenvolvimento das construções escolares: a utilização de pré-moldados em concreto, o fato de o projeto poder se adequar às características do terreno mudando sua disposição, a integração dos espaços, as possibilidades dos seus usos múltiplos, a previsão de atividades que busquem uma educação integral" (AMBROGI, 2011, p.39).

Figura 12: Planta de implantação do CEU Rosa da China, São Paulo.

1. Bloco Didático; 2. Bloco cultural/desportivo;
3. Conjunto aquático; 4. Creche

Fonte: Carvalho (2009)

Figura 13: CEU Rosa da China, São Paulo.

Fonte: Prefeitura do Município de São Paulo (2014)

A disposição das salas de aula em relação ao corredor varia em cada CEU. Existem unidades nas quais as salas de aula estão localizadas em somente um lado do corredor e outras que possuem um corredor com salas aula dos dois lados. A separação do bloco didático do bloco das instalações esportivas é um ponto positivo em termos acústicos, como no conceito da escola-classe e escola-parque, este projeto acaba afastando blocos de atividades ruidosas do bloco das salas de aulas.

2.7.2 Escolas do Sistema S (SESI e SENAI)

Adotando tanto projetos padrões como fazendo uso de projetos personalizados, as escolas do Serviço Social da Indústria de São Paulo (SESI-SP) e do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de São Paulo (SENAI-SP) trabalham com o conceito de amplitude e acessibilidade dos espaços (BARROS, 2015). Mais recentemente, o padrão curvo, cujo desenho esquemático está ilustrado na Figura 14 e o projeto padrão vertical, cuja planta do pavimento tipo está ilustrada na Figura 15, vieram substituir o antigo padrão horizontal. No padrão vertical, existe um edifício principal de dois a quatro pavimentos, dependendo do número de turmas de alunos. O programa arquitetônico também inclui biblioteca, laboratórios de informática, física e química/biologia, salas multidisciplinares, de música, de uso da equipe pedagógica e administrativa, refeitório, cozinha, quadra e pátio, banheiros

e espaços para depósito (CARVALHO, 2012). Neste padrão, as salas de aula estão em um dos lados do corredor. Já no padrão curvo, as salas de aula localizam-se dos dois lados do corredor e, como comentado anteriormente, configuram um caminho direto do som gerado dentro de uma sala para a outra.

Figura 14: Desenho esquemático do padrão curvo de escola SESI

Fonte: SESI (online)

Figura 15: Planta de um dos pavimentos do padrão vertical de escola SESI.

Fonte: Carvalho (2012)

2.8 Considerações

Percebe-se que o projeto arquitetônico escolar contemporâneo não se apropria de soluções acústicas benéficas, empregadas em períodos anteriores, para fazer uso futuro delas. De fato, há uma oscilação entre adoção ou não destas soluções acusticamente mais adequadas, provavelmente pela priorização de outros condicionantes, como, por exemplo, a busca por maximizar a construção de salas de aula em terrenos cada vez de menores dimensões e a baixo custo inicial.

Em termos de conforto ambiental, os projetos analisados chamam a atenção para as preocupações relativas ao aproveitamento da luz natural e, com maior intensidade, para a ventilação cruzada, sem discutir o impacto de tal decisão sobre a decorrente propagação de ruído para o interior das salas de aula.

Além disso, outros aspectos relevantes para o desempenho acústico adequado de uma sala de aula, como a isolamento sonora da envoltória do edifício, preocupações com o impacto do ruído de tráfego, com o tempo de reverberação dos ambientes etc., que seriam alvo natural da atenção de projetistas com uma

preocupação mais apurada sobre esse tema, não foram discutidos nos trabalhos estudados, denotando que a questão poderia receber uma maior atenção.

3

Fonte: KEATING (apud FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO, 1998, P.39)

CAPÍTULO 3: Instrumentos de Avaliação Pós-Ocupação

Alunos e professores devem sentir-se apoiados pelo edifício educacional e seus equipamentos e não frustrados pelos mesmos. Entendendo como edifícios existentes afetam seus ocupantes, projetistas podem minimizar os problemas e tirar proveito de soluções de projeto que deram certo (WATSON, 2003). Neste contexto, a Avaliação Pós-Ocupação (APO) é um processo de avaliação de desempenho de edifícios em uso. Baseia-se na ideia de que é necessário determinar as necessidades dos usuários, avaliando-se sistematicamente a resposta humana aos edifícios e outros espaços projetados (FFC, 2002). Este processo de avaliação objetiva proporcionar ambientes satisfatórios para as pessoas que possuem, gerenciam e ocupam os edifícios (SANOFF, 2001).

Os procedimentos metodológicos da avaliação pós-ocupação (APO) de um ambiente construído levam em consideração, além da avaliação de caráter objetivo dos seus parâmetros físicos, a satisfação de seus usuários em relação ao aspecto priorizado, no caso desta pesquisa, a qualidade sonora das salas de aula. Encontrando-se os pontos negativos, podem ser definidas recomendações que atenuem ou corrijam os problemas detectados nos ambientes submetidos à avaliação.

Os resultados dessas avaliações realimentam o ciclo do processo de produção e uso de futuros projetos com a formulação de diretrizes e, também, contribuições para normas existentes. A partir do momento que a APO passa a preocupar-se com a questão da qualidade, ela “deixa de ser um fim em si mesma e passa a integrar um conjunto mais amplo de instrumentos e ferramentas passíveis de serem utilizadas no processo de produção (planejamento, programa de necessidades, projeto e

construção), uso, operação, manutenção e gerenciamento da qualidade dos ambientes construídos (ORNSTEIN, 2004).

As informações geradas pela APO podem ser usadas para a tomada de decisões na fase pré-projeto evitando a repetição de erros do passado. Ela também pode ser usada para que os tomadores de decisão tenham conhecimento sobre as implicações das mudanças de projeto ditadas por cortes no orçamento (FFC, 2002). A APO embasada, por outro lado, na análise dos resultados das simulações computacionais e das medições "in loco", realizadas por especialistas, colabora para a compreensão das percepções, das necessidades e dos níveis de satisfação dos usuários. Essas informações são de grande relevância para tomadas de decisão em relação a intervenções, melhorias ou modificações de projeto. Isto ocorre, pois as decisões poderiam implicar em vieses se fossem considerados exclusivamente os resultados das medições ou os modelos matemáticos sem a incorporação de pontos de vista, atitudes e comportamentos dos usuários (ORNSTEIN e ONO, 2011).

A APO possui três fases (FFC,2002): (1) planejamento, (2) realização, e (3) aplicação. A fase de planejamento se destina a preparar o projeto de APO, e tem três etapas: (a) reconhecimento e viabilidade, (b) planejamento de recursos, e (c) planejamento da pesquisa. Nesta fase, são estabelecidos os parâmetros para o projeto de APO, o cronograma, custos e necessidade de mão de obra e definição de planos para procedimentos de coleta de dados, horários e valores. A Fase 2 (realização da APO) consiste do início do processo de coleta de dados no local (d), monitoramento e gerenciamento dos procedimentos de coleta de dados (e), e análise de dados (f). E a Fase 3 (aplicação da APO) compreende da apresentação dos resultados (g), recomendações de ações (h) e revisão dos resultados (i).

Alguns instrumentos utilizados pela APO são (ORNSTEIN e MOREIRA, 2008; ORNSTEIN e ONO, 2010):

- *Checklists* para guiar as inspeções técnicas e *walkthroughs*. *Checklists* facilitam as inspeções de especialistas sobre os aspectos ambientais e processos de construção, os quais são essenciais para a análise posterior (Ornstein et al, 2009).
- *Walkthroughs* para verificar o desempenho dos sistemas construtivos. *Walkthroughs* são inspeções técnicas com base em plantas impressas e atualizadas, realizadas com o auxílio de *checklists*. Tais orientações contam com a presença de pessoas-chave (como o diretor e o aluno supervisor), enquanto peritos observam aspectos relacionados com os processos de construção e aspectos funcionais em geral. Mudanças espaciais feitas por usuários também são observadas durante um *walkthrough*.
- Medições de parâmetros ambientais;
- Entrevistas semiestruturadas com pessoas-chave geralmente executadas antes da preparação dos questionários a serem aplicados para outras pessoas do edifício;
- Questionários a usuários dos edifícios, com escalas de valor e medições de níveis de satisfação.

3.1 Checklist e walkthrough

O *walkthrough* é uma ferramenta que auxilia na percepção da configuração espacial dos ambientes escolares, contribuindo para a compreensão de questões como a qualidade de construção e o nível de manutenção, entre outras (KHAN e KOTHARKAR, 2012). Além da verificação das questões acima, o *walkthrough* foi

usado na pesquisa para a criação de um desenho esquemático com informações de dimensões, localização de portas, janelas, mobiliário e materiais de revestimento das paredes, piso e teto.

Como *checklist* foi elaborada uma ficha para levantamento das características da sala de aula que era preenchida quando da ocorrência das medições nesses ambientes. O modelo da ficha empregada encontra-se no Anexo A.

3.2 Medições

A técnica da resposta impulsiva foi o método escolhido para as medições dos descritores que foram considerados na presente pesquisa. O comportamento do campo sonoro no interior da sala de aula foi analisado utilizando-se um sinal de excitação conhecido, no caso uma varredura de senos, produzido pelo software Dirac. A varredura de senos é um sinal que passa por todas as frequências de forma contínua para que o sistema seja excitado sequencialmente em cada uma delas (BERTOLI e GOMES, 2005). A varredura de senos utilizada foi a logarítmica na qual o aumento de frequência é dado pela mesma fração de oitava em cada intervalo fixo de tempo, isto é, o espectro declina com 3 dB/oitava de modo que toda oitava contém a mesma energia (MÜLLER e MASSARANI, 2002).

A resposta impulsiva, ilustrada pela Figura 16, pode ser entendida como o histórico da pressão sonora entre o ponto de excitação da sala e o ponto de captação do microfone. Quando um som é emitido dentro de um ambiente e encontra obstáculos compostos pelas vedações verticais, horizontais e mobiliário, por exemplo, a maneira como as ondas sonoras interagem com essas superfícies e se distribuem pelo espaço estará indicada pela resposta impulsiva da sala. A

Transformada de Fourier da resposta impulsiva é a resposta em frequência (FIGUEIREDO, 2005).

Figura 16: Exemplo da resposta impulsiva de uma sala.

Fonte: BRADLEY (2002)

3.3 Questionários

O questionário é uma ferramenta utilizada para coletar informações de um grande número de pessoas, acerca de tópicos pré-estabelecidos e bem definidos, para o qual as mesmas perguntas são feitas a todos os membros do grupo de pessoas, sendo as suas respostas tratadas estatisticamente para análise (ELLIS, 2014). Na Avaliação Pós-Ocupação, sua aplicação é uma forma de coletar dados sobre a opinião dos usuários quanto aos vários aspectos do uso e da ocupação do ambiente construído.

Inicialmente, realizou-se uma revisão bibliográfica de trabalhos de avaliação pós-ocupação que tiveram o edifício escolar como objeto de estudo. Também foi

feita uma revisão em trabalhos relacionados à construção de questionários. Questionários para a avaliação pós-ocupação em escolas costumam avaliar o conforto ambiental juntamente com outros aspectos do ambiente construído, como o apresentado por Ornstein (1997), que abordava, também, a funcionalidade, a infraestrutura, a manutenção, aparência e segurança. O questionário de Ornstein e Ono (2005) também busca uma análise abrangente e aborda, além do conforto, a ergonomia, a acessibilidade e a segurança, entre outros. Com esse mesmo caráter abrangente, é relevante citar-se os questionários de: Ferreira et al (2006), que aborda quesitos como acessibilidade, dimensões dos ambientes, conforto, localização e aparência; o questionário de Monteiro (2009), que aborda, entre outros, a acessibilidade, manutenção e conforto; e o questionário de França (2011), que aborda a usabilidade, o conforto e a segurança do edifício escolar. A seguir são apresentadas as diretrizes que nortearam a elaboração dos questionários desta pesquisa.

3.3.1 Estrutura do questionário e sequência das perguntas

Para minimizar dúvidas dos respondentes acerca da possibilidade de mau uso das informações, recomenda-se iniciar o questionário com uma introdução (HARRISON, 2007) em que seja apresentada a instituição de pesquisa e o objetivo da pesquisa.

Deve estar claro, para os respondentes, sobre o que é a pesquisa, quem a está financiando, que os dados serão coletados de forma anônima e que a participação é voluntária (ELLIS, 2013).

Os questionários devem ser concisos, pois, questionários longos e monótonos têm maior probabilidade de não serem respondidos adequadamente (HARRISON, 2007), principalmente se o tema pesquisado não for, corriqueiramente, foco de atenção

dos entrevistados. É sabido que a resposta a uma pergunta do questionário pode ser impactada pelas questões anteriores.

Para manter o interesse do respondente em continuar a fornecer informações, o questionário deve ter uma estrutura bem pensada para assegurar que todos os temas a serem pesquisados sejam tratados com a mesma atenção por parte do entrevistado. Um princípio de estruturação do questionário é direcionar-se do mais geral para o mais específico (GÜNTER, 2003). Outro princípio de organização do questionário é que as questões devem seguir uma ordem lógica (GÜNTER, 2003).

Ressalta-se que nos casos em que o respondente deverá preencher, sozinho, o questionário, para torna-lo acessível para diferentes grupos de pessoas, como por exemplo, as pessoas com baixa visão, recomenda-se o uso de fonte com tamanho mínimo de 12 pontos, não serifada (ELLIS, 2013).

3.3.2 Linguagem

A população-alvo da pesquisa deve compreender a linguagem usada no questionário, evitando-se o uso de abreviações, gírias, regionalismos e termos sofisticados (GÜNTER, 2003). O questionário deve ser entendido por todos que fazem parte da pesquisa. Por esse motivo o uso de termos técnicos e jargões deve ser evitado (HARRISON, 2007).

Instruções de preenchimento específicas para cada tipo de pergunta devem ser fornecidas (ELLIS, 2013) não devendo se assumir que uma mesma instrução seja aplicável a várias perguntas ou a grandes blocos de perguntas.

3.3.3 Tipos de perguntas

As perguntas abertas podem ser usadas para uma abordagem inicial, exploratória quando não se conhece a abrangência ou a variabilidade das respostas possíveis. Por outro lado, este tipo de pergunta, ao fim do questionário, serve para capturar as opiniões não cobertas pelas respostas com alternativas pré-definidas, denominadas aqui de “fechadas”. No entanto, perguntas abertas, por exigirem um maior esforço do respondente, tem probabilidade de não serem respondidas (GÜNTER, 2003). Outro ponto negativo sobre o uso de perguntas abertas é que elas demandam mais tempo na fase de análise de processamento e dados (OEA, 2006).

Nas perguntas fechadas, o respondente deve escolher entre um número limitado de opções que são apresentadas a ele. A vantagem deste tipo de pergunta é que, se bem concebidas, asseguram que as questões sejam interpretadas da mesma forma (HARRISON, 2007). As perguntas fechadas permitem a aplicação direta de tratamentos estatísticos, eliminando a necessidade de classificação de respostas à posteriori (NOGUEIRA, 2002).

Um tipo específico de pergunta fechada são as perguntas dicotômicas que são questões com duas respostas mutuamente exclusivas. Outro tipo de pergunta são as que têm uma escala de mais de 2 níveis para as respostas, isto é, as respostas são dadas na forma de uma escala com frequência ou grau. Como recomendação, deve evitar-se o uso de muitos tipos de escalas diferentes (ELLIS, 2013).

Nas perguntas de hierarquia, os respondentes colocam as opções em ordem de importância ou preferência. O problema deste tipo de pergunta é que as pessoas têm a tendência de escolher as opções no topo da lista (ELLIS, 2013).

3.3.4 Escalas de respostas

A vantagem de se trabalhar com escalas já utilizadas em outros levantamentos está na possibilidade de comparação dos resultados obtidos com os de outras pesquisas semelhantes. Nesse sentido, a adoção de escalas definidas em normas, como as apresentadas nas Normas ISO, além de permitirem a citada comparação em âmbito internacional, trazem o benefício de se estar trabalhando com escalas pré-testadas e validadas, também em âmbito internacional.

A norma ISO 10551 (1995) trabalha com 5 tipos de escalas para adoção em pesquisas de satisfação com relação ao conforto ambiental:

- perceptual;
- de preferência;
- afetiva (por exemplo, confortável);
- de aceitação (aceitável / não aceitável) e;
- de tolerância.

A norma ISO/TS 15666 (2003) também cita a escala de incomodidade (muito incômodo, incômodo, levemente incômodo e não incômodo). E a ISO 28802 (2012) faz menção às escalas dicotômicas de aceitabilidade (aceitável / não aceitável) e de satisfação (satisfeito / não satisfeito).

No caso específico de pesquisas focando o conforto acústico das pessoas, a norma ISO 28802 (2012) também pede que sejam indicadas todas as fontes de ruído que podem ser ouvidas no momento.

3.3.5 Elaboração do questionário

Questionários mais específicos sobre o desempenho acústico do ambiente escolar são escassos. Por meio de revisão da literatura, verificou-se se alguma pesquisa, com o mesmo foco, já fez uso de perguntas que passaram por testes e validações. O material mais pertinente encontrado foi o questionário do trabalho *"Design for educationally appropriate acoustic characteristics in open plan schools"* do *"The Charlton Smith Partnership"* (2005), utilizado como base na elaboração do questionário da presente pesquisa. As perguntas 1, 5, 7, 8 e 9, do questionário utilizado nesta pesquisa, são adaptações das perguntas encontradas no questionário de referência mencionado. O questionário elaborado para esta pesquisa encontra-se no Anexo B.

Com base nas normas ISO 28802 (2012), ISO 10551 (1995) e no levantamento de questionários existentes, foi elaborado um questionário para a avaliação do ambiente escolar com enfoque na sensação de conforto acústico em salas de aula para alunos. Os questionários foram pré-testados em dois grupos, um de pós-graduação e um do 8º ano do ensino fundamental. O pré-teste teve como objetivo detectar falhas no questionário e corrigi-las antes da aplicação final para maximizar a taxa de respostas e minimizar a taxa de erros nas respostas (BURGESS, 2001). No pré-teste, também se avaliou se o vocabulário é compatível com o nível educacional dos respondentes, verificando-se se a população-alvo estava entendendo as perguntas (GÜNTER, 2003).

O objetivo dos questionários respondidos pelos alunos foi de extrair informações qualitativas quanto à condição acústica das salas de aula frequentadas por eles. Os questionários, entretanto, não começam diretamente enfocando o tema "acústica". Iniciam-se com uma pergunta mais geral para verificar os temas de sua

maior atenção, entre eles, conforto térmico, ergonomia, conforto lumínico e conforto acústico. Depois as perguntas levam o aluno a avaliar os espaços de fora da sua sala de aula para dentro, seguindo esta sequência: pátio, quadra esportiva, corredores, salas de aula e região próxima à sua carteira. Para o questionário ser considerado válido, o aluno deveria assinalar a posição que ocupava na sala, tornando possível, desta forma, correlacionar a sua avaliação com os parâmetros acústicos medidos na posição ocupada por ele. Seguindo o método explicado no Capítulo 6.5, as respostas obtidas nestes questionários embasaram a seleção de parâmetros acústicos para a determinação de faixas de operação.

4

“Speak up, I can hardly hear ya!”

Fonte: Cartoon Stock (online)

CAPÍTULO 4: Qualidade acústica de salas de aula

Grande parte da atividade educacional dentro da sala de aula gira em torno da fala. Alguns especialistas afirmam que 80% de todas as atividades nas salas de aula necessitam da audição e da fala. É importante que a característica acústica da sala de aula permita a comunicação eficaz da linguagem falada (DFES, 2003).

Um mau desempenho acústico da sala de aula tem efeito tanto na compreensão dos alunos como no estresse físico do professor. O conforto acústico é um dos fatores essenciais para o desenvolvimento de atividades de classe, especialmente aquelas que requerem um alto nível de concentração (KRÜGER e ZANNIN, 2004). A má comunicação entre professor e aluno torna o processo de aprendizagem mais difícil. Os custos sociais e econômicos de projetos de salas de aula sem adequada qualidade acústica são difíceis de determinar, mas, serão altos e causarão prejuízos cumulativos aos estudantes, se permanecerem como ocupantes de tais ambientes ao longo de vários anos (BRADLEY, 2002).

A otimização do posicionamento das áreas internas de uma edificação, uma em relação à outra, deve considerar uma avaliação qualitativa das áreas receptoras e emissoras de ruído. Já a otimização do posicionamento do edifício em relação ao ruído exterior deve levar em conta uma análise da área em que se deseja implantar o mesmo. Esta análise fornecerá dados que permitirão uma melhor composição interna dos espaços (SALAT, 2006).

O nível de ruído ambiente interno inclui a contribuição de fontes externas (ruído de tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo, industrial e de estabelecimentos comerciais, entre outros) e de fontes internas, como o ruído dos sistemas prediais (sistema de ventilação, bombas de água, elevadores etc.) (DFES, 2003). Na Figura 17, podem ser observadas as fontes de ruído típicas em uma edificação escolar.

Figura 17: Fontes de ruído típicas

Fonte: DFES (2003).

Em geral, é aconselhável localizar uma escola a, pelo menos, 100 m de distância de estradas movimentadas e ferrovias, mas na cidade, isto nem sempre é possível. No entanto, o uso da distância em si não é eficaz na redução do ruído. O nível de ruído de uma estrada movimentada aumenta em 3 dB(A) com a duplicação do fluxo de tráfego e diminui em 3 dB(A) com a duplicação da distância da estrada ao receptor. A solução mais eficiente para a mitigação do ruído de tráfego é através do uso de barreiras acústicas (DFES, 2003).

Problemas de acústica em salas de aula ocorrem, principalmente, devido à proximidade a ambientes geradores de ruído, sendo, assim, fortemente dependentes das tipologias de projeto como as que podem ser observadas na Figura 18 (GRAÇA et al, 2007).

Figura 18: Classificação de plantas de edifícios escolares

Fonte: Graça et al (2007)

Na Figura 19 são apresentadas as principais fontes sonoras atuantes sobre as salas de aula e os seus componentes que impactam o desempenho acústico desses recintos. O recorte desta pesquisa está na acústica do ambiente interno da sala de aula que é influenciado pela geometria e materiais que a compõem.

Figura 19: Fatores que influenciam na resposta acústica da sala de aula

Atualmente, o projeto acústico de salas de aula, em uma abordagem estruturada, considera os seguintes aspectos (DFES, 2003):

1. Estabelecer limites dos níveis de ruído residual dentro da sala de aula.
2. Definição do tempo de reverberação desejado da sala de aula.
3. Cálculo da quantidade de absorção acústica necessária para atingir o tempo de reverberação desejado.
4. Especificação do tipo, localização e distribuição da absorção acústica.
5. Considerações especiais para salas que necessitem do uso de refletores e difusores.
6. Utilização de sistemas eletrônicos de reforço de som.

Colocando à disposição de projetistas um número maior de descritores além dos classicamente utilizados em projetos acústicos como o ruído residual e o tempo de reverberação, tem-se uma forma de melhor garantir a qualidade acústica da sala de aula projetada. Ressalta-se que, apesar de todos os estudos citados, ainda não se conhecem as melhores faixas de operação, em salas de aula, de diversos descritores acústicos existentes na literatura de modo que se possa garantir a qualidade acústica da sala de aula.

4.1 Descritores acústicos

Beranek (1962) foi o primeiro a sistematizar um conjunto abrangente de critérios com o objetivo de classificar a acústica de salas de música. Até então, para o projeto arquitetônico de uma sala de concertos, os acústicos não dispunham de elementos quantitativos suficientes para avaliar a qualidade acústica da mesma. Para chegar à definição de critérios, Leo Beranek estudou 54 salas por toda Europa. Com base nas semelhanças e nas diferenças acústicas observadas entre as salas e cruzando esses resultados com avaliações subjetivas realizadas mediante entrevistas com júris qualificados, ele chegou a um conjunto de parâmetros que mesmo com algumas modificações e ponderações, se consolidaram como fundamentais para a avaliação da qualidade acústica de salas até os dias atuais (FIGUEIREDO, 2005).

A maior parte dos parâmetros subjetivos possui correlação com um parâmetro objetivo, mensurável e/ou calculável. A seguir, apresentar-se-ão

alguns parâmetros importantes para a avaliação da qualidade acústica de salas de música. O descritor que tradicionalmente é analisado em um projeto de acústica de salas é o tempo de reverberação, entretanto, este, seria apenas uma indicação de um aspecto da qualidade média da acústica de salas (BRADLEY, 2010). Além disso, dois recintos com quase o mesmo tempo de reverberação podem ser percebidos como acusticamente diferentes. Em um estudo realizado em duas salas idênticas com tratamentos acústicos diferentes, mas com tempos de reverberação (TR) semelhantes, verificou-se que ao entrar-se nesses ambientes, as salas eram percebidas diferentemente. Medindo-se outros parâmetros para tentar explicar essa diferença, observou-se que a "clareza" e o "nível de ruído" eram diferentes. Conclui-se que, apesar do TR ser, atualmente, o principal parâmetro no design acústico de recintos e estar bem representado em normas e regulamentos, ele por si só não era suficiente para uma caracterização das condições acústicas nos recintos. E que as condições acústicas ideais devem ser especificadas por um balanço de parâmetros objetivamente mensuráveis (CAMPBELL et al, 2015).

Os níveis de ruído em condições de regime permanente e as reflexões iniciais são importantes para a percepção dos níveis de ruído e clareza da fala. Estes componentes não estão incluídos no tempo de reverberação. Portanto, segundo Nilson (2010), é muito importante complementar o tempo de reverberação com outros descritores acústicos relacionados a estes aspectos em particular. Esse mesmo autor pesquisou sobre a importância dos descritores sonoros "clareza C_{50} " e "fator de força G ", além do "tempo de reverberação T_{20} ", fazendo medições em 17 salas de aula.

Para a presente pesquisa, foram selecionados os seguintes descritores acústicos para análise: tempo de reverberação (TR), tempo de decaimento inicial (EDT), definição (D_{50}), tempo central (T_s), calor (BR) e índice rápido de transmissão da fala (RASTI). Cada um deles é apresentado, brevemente, a seguir.

4.1.1 Tempo de reverberação – TR

O prolongamento do som devido à reverberação é geralmente considerado o mais importante parâmetro acústico que define o clima acústico de uma sala de aula. O tempo de reverberação é definido como o tempo (em segundos) que leva para o som de uma fonte diminuir o nível em 60 dB após ter parado. Uma diminuição de 60 dB representa uma redução de 1/1.000.000 da intensidade original do som (CRANDELL e SMALDINO, 2000).

O tempo de reverberação através da extrapolação da curva de decaimento de 30 dB (5 dB a 35 dB) ou 20 dB (5 dB a 25 dB) abaixo do nível de pressão sonora inicial são respectivamente nomeados como T_{30} e T_{20} (ISO 3382, 2009).

O tempo de reverberação de um espaço fechado é determinado pela energia das ondas sonoras refletidas nas suas superfícies interiores. As propriedades de absorção sonora dos materiais de revestimento resultam em valores distintos para as diferentes bandas de frequência. Consideram-se, geralmente, as bandas centradas em 500 ou 1000 Hz como referência para especificação dos valores ótimos dos tempos de reverberação (ALARCÃO *et al.*, 2010).

O tempo de reverberação, em segundos, de acordo com o modelo de campo difuso comumente utilizado, pode ser determinado a partir da fórmula de Sabine:

$$TR = \frac{0,16.V}{A} \quad (1)$$

ou pela fórmula de Eyring para salas "mortas", com $\bar{\alpha}$ maior do que 0,5:

$$TR = \frac{0,16.V}{-S \ln(1-\bar{\alpha})} \quad (2)$$

Onde:

V = volume da sala, em m³;

A = absorção acústica, em m², Sabine;

$\bar{\alpha}$ = coeficiente médio de absorção das superfícies;

m = constante de atenuação do som no ar, em m⁻¹ ;

S = área total das superfícies dos materiais, em m².

Há dois elementos que afetam o tempo de reverberação em um recinto. O primeiro é o volume do recinto. Quanto maior o volume da sala, maior será o tempo de reverberação. A segunda variável é a quantidade de absorção sonora na sala. Quanto maior for a área de materiais absorvedores sonoros, menor será o tempo de reverberação. A reverberação tende a afetar negativamente a percepção das consoantes. Especificamente, a reverberação faz com que haja um prolongamento da energia espectral dos sons vocálicos que por sua vez mascara os fonemas consonantais, particularmente as consoantes no final da palavra (CRANDELL e SMALDINO, 2000).

Uma sala de aula com um tempo de reverberação longo de vários segundos fará com que sílabas sejam prolongadas de forma que elas se

sobreponham e, consequentemente, diminuam a inteligibilidade da fala. Tempos de reverberação longos ocorrem em salas grandes com paredes e superfícies de teto rígidas (DFES, 2003).

A comunicação em sala de aula muitas vezes ocorre em condições acústicas longes das ideais e é complicada pela existência de paredes reverberantes. A reverberação sonora, com paredes duras e tetos altos, torna o sinal da voz mais difícil de entender. Tempos de reverberação favoráveis para a compreensão ampla da fala vão de 0,2 a 0,6 segundos (NELSON e SOLI, 2000). Estes tempos de reverberação são menores dos que os admitidos por Alarcão et al. (2010) que vão de 0,6 a 0,8 para salas de aula com volume menor do que 300 m³. Entretanto há uma variedade de combinações de níveis de ruído ambiente e tempos de reverberação que poderiam levar a condições de inteligibilidade iguais (BRADLEY, 2002). Na Tabela 2 encontram-se valores de TR recomendados em países distintos.

Adicionar a absorção acústica e diminuir a altura do teto irá reduzir o tempo de reverberação e melhorar a inteligibilidade da fala. A localização de materiais absorvedores acústicos dentro de uma sala é importante. O cálculo tradicional do tempo de reverberação assume que as superfícies absorventes em uma sala estejam uniformemente distribuídas. Caso isto não ocorra, a equação de tempo de reverberação não é válida e variações locais indesejáveis podem ocorrer (DFES, 2003).

Tabela 2: Critérios do TR recomendados para salas de aula.

Faixa de aceitação	Referência	País
$0,4 < TR \leq 0,6$; $120 < V \leq 300 \text{ m}^3$	em 500 Hz, recinto ocupado	Brasil, NBR 12179
$0,4 < TR \leq 0,8$; $V \leq 250 \text{ m}^3$	média aritmética dos TR em 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, recinto mobiliado e desocupado	França, <i>apud Zannin et al.</i> , 2013
$0,6 < TR < 1,2$; $V > 250 \text{ m}^3$	média aritmética dos TR em 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, recinto mobiliado e desocupado	
$0,8 \leq TR \leq 1,0$; $V \leq 250 \text{ m}^3$	média aritmética dos TR em 500 Hz e 1000 Hz, recinto ocupado	Alemanha, DIN E 18041
$0,9 \leq TR \leq 1,1$; $V \leq 500 \text{ m}^3$		
$1,1 \leq TR \leq 1,2$; $V \leq 750 \text{ m}^3$		
$TR = 0,6$; $V \sim 200 \text{ m}^3$	média aritmética dos TR em 500 Hz e 1000 Hz, recinto mobiliado e desocupado	Japão, Fukuchi e Ueno (2003)
$TR = 0,7$; $V \sim 300 \text{ m}^3$		
$TR = 0,6$; $V < 283 \text{ m}^3$	média aritmética dos TR em 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, recinto mobiliado e desocupado	EUA, ANSI S 12.60
$TR = 0,7$; $283 < V < 566 \text{ m}^3$		
$TR(\text{escola primária}) < 0,6$	média aritmética dos TR em 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz, recinto mobiliado e desocupado	Reino Unido, BB-93
$TR(\text{escola secundária}) < 0,8$		

Para alcançar a sonoridade adequada para todos os ouvintes em uma sala, é necessário que o som direto do orador para o ouvinte tenha um caminho desobstruído. A intensidade do som direto pode ser reforçada por reflexões das superfícies da sala. Estas reflexões com curto atraso devem chegar ao ouvinte dentro de $1/20$ de um segundo (50 milissegundos) do som direto, que é aproximadamente o tempo necessário para o ouvido humano integrar tais reflexões com o som direto. As reflexões mais fortes após 50 milissegundos tendem a ser prejudiciais para a inteligibilidade da fala e se o atraso for por um longo tempo, elas serão percebidas como sons distintos (DFES, 2003).

O atributo subjetivo relacionado ao TR é a vivacidade que é a sensação de preenchimento do som em um ambiente. Uma sala é considerada “viva” quando é reverberante e “morta ou seca” quando reflete pouco o som (IAZZETA, 2004).

4.1.2 Tempo de decaimento inicial – EDT

O tempo de decaimento inicial (EDT) considera os primeiros 10 dB de decaimento (O'KEEFE, 2002). O EDT é fortemente influenciado pelas reflexões iniciais, portanto depende da posição de medição e da geometria da sala. A sensação subjetiva associada de reverberação (reverberação percebida) está fortemente correlacionada com o EDT (T, OPA et al., 2012 e ISO 3382-1, 2009). Na Tabela 3 são apresentados critérios de EDT recomendados. Ressalta-se que na falta de valores para salas de aula, apresentaram-se valores para auditórios e salas de conferência que são recintos destinados à palavra falada, mas possuem características distintas de uma sala de aula, diferindo destas pelo seu volume, materiais de revestimento, equipamentos de reforço sonoro e número de ocupantes, entre outros.

Tabela 3: Critérios de EDT recomendados.

Faixa de aceitação	Frequências	Referência
0,5 s	média entre 500 Hz e 4000 Hz	Bradley apud Losso e Viveiros
$0,648 < EDT \leq 0,81$	média de 500 Hz a 1000 Hz	Arau apud Ribeiro *critério para salas de conferência
1,0 s a 3,0 s $V < 25000$ m ³	média de 500 Hz a 1000 Hz	ISO 3382-1 *critério para auditórios

O decaimento das reflexões iniciais interfere no som direto, pois a fala é distorcida por sinais atrasados, se estas reflexões forem fortes. Este processo depende dos comprimentos relativos dos sons da fala e do decaimento das

reflexões iniciais. É mais provável que a fala em altas frequências seja mais mal-entendida do que em baixas frequências, dado um certo EDT, pois quando sons de alta frequência da fala são distorcidos pelas reflexões iniciais, os sons de baixa frequência continuam distintos para o ouvinte. Isto se dá principalmente devido ao caráter não estacionário das consonantes comparado às vogais estacionárias. Portanto é mais provável que a inteligibilidade da fala seja dependente do formato da curva EDT. Curvas inclinadas correspondem a uma maior inteligibilidade do que curvas planas (LEO, 2012).

4.1.3 Razão de Graves – Bass Ration - BR

A razão de graves (*Bass Ratio*) é calculada dividindo-se o TR nas baixas frequências (125Hz e 250Hz) pelo TR nas médias frequências (500Hz e 1KHz) (BRÜEL & KJAER, 2013).

A partir da classificação de algumas salas segundo o parâmetro “calor”, Beranek (1962) apud Leão (2005) chegou aos valores médios associados aos critérios de mérito, conforme a Tabela 4.

Tabela 4: Critério de mérito segundo Beranek (1962) apud Leão (2005)

Categoria	BR₂₅₀	BR₁₂₅	BR médio	Pontos
Excelente	1,14	1,27	1,21	15
Boa	1,06	1,03	1,05	9
Regular	0,97	0,95	0,96	5
Pobre	0,9	0,86	0,88	2

Sendo $BR_{250} = TR_{250} / TR_{médio}$, $BR_{125} = TR_{125} / TR_{médio}$ e $BR_{médio} = (TR_{250} + TR_{125}) / (TR_{500} + TR_{1000})$.

Para fala, por outro lado, o calor deve no máximo ter um valor de $BR \approx 0,9$ a 1,0 (AHNERT e SCHMIDT, 2006).

O atributo subjetivo relacionado à razão de graves é o calor que é a percepção da reverberação nas médias e baixas frequências (SCHMID, 2013).

4.1.4 Definição – D_{50}

O fator de definição (D_{50}) é habitualmente aplicado para avaliar salas dedicadas à palavra falada, e consiste na razão linear entre a energia que chega nos primeiros 50 ms (milissegundos) e a energia total, sendo calculado segundo a expressão:

$$D = \frac{\int_0^{50} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) dt} \quad (3)$$

Fonte: BRADLEY (2002)

Onde $p(t)$ é o nível de pressão sonora em dB. Os valores de referência de D_{50} encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5: Valores de referência de D_{50} (Marshall apud Ansay e Zannin, 2016).

D_{50}	Qualidade Acústica
0,86 a 1,0	Excelente
0,67 a 0,86	Bom
0,39 a 0,67	Razoável
0,17 a 0,39	Pobre
0,06 a 0,17	Ruim

Para salas de conferência, recomendam-se valores de D_{50} acima de 0,65 (ARAU apud RIBEIRO, 2002).

Em uma sala seca, o D_{50} será maior do que numa sala reverberante, pois nesta, o decaimento da energia sonora é mais lento e, portanto, mais energia estará concentrada na parte final de cada som, diminuindo a razão entre energia inicial e final (MARROS, 2011). O D_{50} está assim como o T_s relacionado ao aspecto subjetivo da claridade percebida do som.

4.1.5 Tempo Central – T_s

O tempo central corresponde ao centro de gravidade de toda a resposta impulsiva, medida em milissegundos. Um valor pequeno de T_s significa que a energia está concentrada no início da resposta impulsiva (o que ajuda a claridade), enquanto que um grande valor de T_s significa que a energia é distribuída ao longo do tempo, dando a impressão de um espaço mais reverberante (QUEIROZ et al., 2008).

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) \cdot dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) \cdot dt} \quad (5)$$

Fonte: BRADLEY (2002)

Onde $p(t)$ é a resposta impulsiva da sala.

Na Tabela 6 encontram-se os valores recomendados para T_s .

Tabela 6: Critérios de T_s recomendados.

Faixa de aceitação	Frequências	Referência
< 80 ms	---	Ribeiro (2002) * critério para salas de conferência
60 ms a 260 ms $V < 25000 \text{ m}^3$	média de 500 Hz a 1000 Hz	ISO 3382-1 *critério para auditórios

4.1.6 Inteligibilidade da Fala

A conversação é influenciada por diversos fatores que devem levar em conta o nível sonoro emitido pelo interlocutor, a distância entre o interlocutor e os ouvintes e o nível de ruído residual. Também têm efeitos sobre a inteligibilidade fatores humanos, como o esforço vocal, a articulação do interlocutor, o ritmo e a habilidade de audição do ouvinte (LAZARUS, 1990; JOVIČIĆ, 1991). Na Figura 20 pode ser observado o modelo de comunicação em sala de aula e os vários fatores que influenciam no entendimento da palavra falada.

Figura 20: Modelo de comunicação em sala de aula, incluindo oradores, barreiras em potencial no canal de comunicação e limitações dos ouvintes.

Fonte: Nelson e Soli (2000)

Na maioria dos ambientes de aprendizagem, a consideração mais importante para a percepção precisa da fala não é o tipo de ruído ou nível de ruído residual global, mas, a relação entre a intensidade do sinal e da intensidade do ruído residual no ouvido do aluno. Esta relação é muitas vezes referida como a razão sinal-ruído S/N (CRANDELL e SMALDINO, 2000).

Um dos índices utilizados para se avaliar a inteligibilidade da fala é o STI - Índice de Transmissão da Fala (*Speech Transmission Index*). O STI combina tanto o aspecto de acústica de salas como a razão S/N em um único valor. Ele é baseado no conceito de que tanto a acústica de salas como o ruído degradam as modulações da amplitude natural da fala e, consequentemente, levam à redução da inteligibilidade da fala. Os valores de STI são calculados a partir de uma matriz completa de valores de combinações de frequências acústicas e frequências de modulação de fala (BRADLEY, 2002). O valor de STI varia entre 0 e 1. Um valor alto de STI significa uma alta inteligibilidade da fala e vice-versa. Nas salas de aula, por exemplo, um STI alto é desejável.

O índice rápido de transmissão da fala (RASTI – *Rapid Speech Transmission Index*) constitui uma versão simplificada do método STI, utilizando um número mais reduzido de bandas de oitava, de 500 e 2000 Hz. Este parâmetro tem um enfoque na comunicação verbal direta entre as pessoas (IEC, 2003; DIAZ e VELAZQUEZ, 1995; SALA e VILJANEN, 1995) apud OLIVEIRA, 2006). Na Tabela 7 encontram-se valores para avaliação do RASTI (GADE, 2014).

Tabela 7: Valores de RASTI e correspondente inteligibilidade.

Valor de RASTI	<0,30	0,30 – 0,45	0,45 – 0,60	0,60 – 0,75	> 0,75
Inteligibilidade	Ruim	Pobre	Razoável	Bom	Excelente

Para espaços fechados de ensino e estudo é possível alcançar a inteligibilidade da fala através da especificação do nível de ruído residual, do isolamento sonoro e do tempo de reverberação. Alguns pressupostos a serem considerados na avaliação da inteligibilidade de fala são (DFES, 2003):

- Para alunos sentados, a altura da cabeça (para ouvir ou falar) é de 0,8 m para os alunos de educação infantil, 1,0 m para alunos de ensino fundamental e 1,2 m para alunos de ensino médio;
- Para alunos em pé, a altura da cabeça (para ouvir ou falar) é de 1,0 m para alunos de ensino infantil, 1,2m para alunos de ensino fundamental e 1,65m para alunos de ensino médio;
- Para os professores sentados, a altura da cabeça (para ouvir ou falar) é de 1,2 m;
- Para os professores em pé, a altura da cabeça (para ouvir ou falar) é de 1,65 m.

4.2 Simulações acústicas

A simulação computacional foi a ferramenta utilizada para estimar o comportamento do som nos pontos não medidos com o objetivo de complementar a análise dos valores medidos. Com ela, também é possível prever as consequências de um conjunto de decisões de projeto através da manipulação de um modelo matemático que descreve o projeto. A grande vantagem da simulação é que através da fixação de todas as variáveis de projeto podem-se examinar suas consequências e aspectos diferentes do problema em detalhe. A desvantagem é que a simulação requer que o usuário a opere por tentativa e erro. Para obter qualquer informação quantitativa, ele deve primeiro ter uma solução e, portanto, o processo de projeto envolve um processo cíclico de avaliação e modificação, onde diferentes possibilidades são examinadas. Além disso, opções de projeto e

sensibilidade para mudar os pressupostos só podem ser investigadas pela repetição da simulação com diferentes conjuntos de decisões (RADFORD e GERO, 1980).

Um modelo computacional é muito mais flexível do que um modelo em escala. É mais fácil modificar a geometria de um modelo computacional e os materiais de superfície para alterar os coeficientes de absorção. E as vantagens não estão restritas a tempo e custos. A vantagem mais importante é que os resultados podem ser visualizados e analisados muito melhor em um modelo computacional porque contém mais informações do que um conjunto de medições feitas em um modelo de escala com microfones (RINDEL, 2000).

A modelagem computacional permite uma grande flexibilidade na realização de grandes mudanças em um espaço acústico que não seria possível em um espaço físico. Os algoritmos de modelagem computacionais também possuem repetibilidade consistente, permitindo testar o efeito de uma única alteração nos parâmetros acústicos do recinto (BOREN e LONGAIR, 2011).

O software escolhido para essa etapa da pesquisa foi o Odeon. Ele faz uso de um método de cálculo híbrido combinando o método da fonte imagem com o método de traçado de raios (CHRISTENSEN e RINDEL, 2005). Este *software* oferece ferramentas para a análise 3D de reflexões de som, para o mapeamento da distribuição de som, e para a auralização. Os raios são tratados como transportadores de energia e cada vez que um raio atinge uma superfície, uma fonte secundária é gerada no ponto de colisão. A energia da fonte secundária é a energia total da fonte primária dividida

pelo número de raios e multiplicados pelos coeficientes de reflexão das superfícies envolvidas no histórico do raio de até aquele ponto. Considera-se que cada fonte secundária irradia para um hemisfério com uma diretividade que pode levar em conta o espalhamento dependente da frequência da superfície e o ângulo de incidência. As contribuições das fontes secundárias são coletadas da posição do receptor. O tempo de chegada de uma reflexão é determinado pela soma dos comprimentos do percurso a partir da fonte primária para a fonte secundária por meio de superfícies refletoras intermediárias mais a distância entre a fonte secundária e o receptor (RINDEL, 2010).

O método da fonte imagem é baseado no princípio de que uma reflexão especular pode ser construída geometricamente por espelhamento da fonte no plano da superfície refletora. Entretanto, em um recinto arbitrário o número de fontes imagens possíveis aumenta exponencialmente com a ordem das reflexões, e, portanto, o método não é adequado para recintos como salas de concerto em que ordens de reflexão de várias centenas são relevantes para o decaimento reverberante audível. No método de traçado de raios, um grande número de raios sonoros é traçado a partir de um ponto de origem até reflexões de ordem alta seguindo a de reflexão lei geométrica / ótica. O principal resultado deste modelo é a distribuição de raios na superfície, analisados em intervalos de tempo de atraso adequados. É uma apresentação qualitativa da distribuição do som no espaço e no tempo. A fim de se obter resultados quantitativos, é necessário introduzir superfícies ou volumes receptores para a detecção dos raios sonoros para e fazer uma estimativa de parâmetros acústicos da sala (RINDEL, 2010).

Salas de aula típicas têm geometrias bastante simples, mesmo assim a acústica neste tipo de ambiente é de difícil previsão. Isto pode ser explicado por algumas características típicas destas salas, paredes paralelas, pé-direito baixo, e distribuição muito desigual da absorção (CHRISTENSEN e RINDEL, 2005).

Geraram-se modelos virtuais da sala de aula no software SketchUp17 e através do plug-in SU2Odeon, criaram-se geometrias das salas que podem ser abertas pelo software Odeon. No Odeon foram atribuídos a cada superfície, materiais com absorção e coeficientes de espalhamento.

Os modelos das salas de aula foram ajustados para coincidir com os tempos de reverberação medidos em 1000Hz, tanto quanto possível, tolerando-se uma variação de até 5% que está dentro do limiar da percepção para o TR segundo a ISO 3382-1. As simulações no Odeon foram realizadas no modo de engenharia, pois segundo o manual do software, os resultados são obtidos 2 vezes mais rápido que o modo de precisão, sem muita perda na qualidade dos resultados. Como para cada sala havia em média 4 configurações de simulação (1) janelas fechadas, cortinas abertas; (2) janelas fechadas, cortinas fechadas; (3) janelas abertas, cortinas abertas; e (4) janelas aberta, cortinas abertas e ventiladores ligados) optou-se pela configuração de engenharia.

Pelo mesmo problema de tempo de processamento, realizou-se um estudo para verificar o tamanho da malha a ser utilizada. Em uma sala de aula foram realizadas a cada 25 cm tanto no sentido longitudinal como transversal, ilustrada pela Figura 21, medições de nível de pressão sonora

ponderado em A do ruído rosa emitido por uma fonte dodecaédrica localizada na posição típica do professor, à frente, no centro.

O ruído rosa é um ruído aleatório de banda larga cujo espectro apresenta um nível que cai 3 dB por oitava. Ele fornece um nível sonoro constante, pois se reduz com a frequência na exata medida para compensar o aumento das larguras das bandas de porcentagem constante (BISTAFA, 2006).

Figura 21: Distribuição do nível pressão sonora, em dB(A), no interior de uma sala de aula, obtida no estudo para a determinação da dimensão da malha para simulação acústica

A partir da análise desses resultados, concluiu-se que uma malha de 1 m seria muito grosseira, pois haveria mais de 1 aluno localizado dentro de uma célula de cálculo e uma malha de 25 cm, apesar de mais refinada

aumentaria em dias o tempo de simulação para cada sala. Optou-se por uma malha de 50 cm, pois o campo sonoro não variou muito no experimento realizado e a distância é mais coerente com a distância que um aluno senta em relação ao outro.

4.2.1 Limiar da percepção - JND

O JND (*Just noticeable difference*) foi utilizado como indicativo da precisão desejada. Se o erro entre o medido e o parâmetro acústico da sala simulada for menor que o JND, então não há diferença perceptível e então não faz sentido procurar resultados mais precisos. Além do mais, os parâmetros medidos não são necessariamente os verdadeiros, pois existem incertezas sobre o resultado medido devidas ao equipamento de medição, aos algoritmos usados para derivar os parâmetros da resposta impulsiva medida e também aos erros devido às posições imprecisas das fontes e dos receptores (ODEON A/S, 2018).

A Tabela 8 apresenta os parâmetros acústicos de salas e seu limiar subjetivo (JND) apresentados por Bork (2000) e Bradley(1986).

Tabela 8: Parâmetros acústicos e seu JND

Parâmetro	Definição (ISO 3382-1, 2009) e (IEC 60268-16, 2003) para STI	JND
T ₃₀ (s)	Tempo de reverberação, derivado de -5 dB a -35 dB da curva de decaimento	5 % rel.
EDT (s)	Tempo de decaimento inicial, derivado de 0 a -10 dB da curva de decaimento	5 % rel.
D ₅₀ (%)	Deutlichkeit (definição), inicial (0 - 50 ms) em relação à energia total	5 % abs.
T _s [ms]	Tempo central, tempo do primeiro momento da resposta impulsiva ou tempo de gravidade.	10 ms abs.
LF (%)	Energia lateral inicial (5 ms a 80 ms)	5 % abs
STI (RASTI)	Índice de transmissão da fala	0,03 abs.

(Bork, 2000) e (Bradley, 1986) apud ODEON A/S (2018).

5

Fonte: KEATING (apud FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO, 1998, P.87)

CAPÍTULO 5: Casos de estudo

Para a realização das atividades de campo, contataram-se dezenas de escolas e 5 delas permitiram a realização da pesquisa. As salas de aulas analisadas, nessas escolas, são as utilizadas pelos alunos do 8º e 9º ano do ensino fundamental e 1º, 2º e 3º ano do ensino médio. Estas turmas foram escolhidas, pois a expectativa era o melhor entendimento das perguntas dos questionários nessa faixa etária do que o dos alunos mais novos.

Como parte da negociação para a realização da pesquisa nas salas de aula das cinco escolas participantes ficou acordado que as instituições não seriam identificadas na documentação de divulgação do trabalho científico, e as respostas dos questionários seriam tratadas como massa de dados, sem a identificação individual dos respondentes.

A seguir são apresentadas características das salas de aula consideradas nas escolas participantes desta pesquisa.

5.1 Sala de aula da Escola A

A escola A encontra-se na Grande São Paulo. É uma escola privada de caráter assistencial, com ensino subsidiado. Foi inaugurada em 2013 e está localizada em um terreno que faz divisa com uma área residencial, uma avenida comercial, uma área verde e uma escola de futebol, que podem ser observados na Figura 22.

Figura 22: Entorno da Escola A

Fonte da imagem aérea: Google Earth acesso em out. 2018.

A escola possui 12 salas de aula, duas áreas de convivência, biblioteca, laboratório de informática, laboratório de ciência e tecnologia, laboratório de química e biologia, laboratório de física, sala multidisciplinar, uma sala de atendimento aos pais, cozinha, despensa, refeitório e quadra poliesportiva coberta. Nesta escola, as salas de aula localizam-se dos dois lados do corredor, conforme pode ser observado na Figura 23, o que, como comentado anteriormente, configura caminho direto do som gerado dentro de uma sala para a outra.

Figura 23: Posicionamento das salas de aula participantes da pesquisa na Escola A.

As quatro salas de aula consideradas possuem portas de madeira e janelas em caixilhos metálicos com vidros *float*. As mesas possuem o tampo revestido em material melamínico e estrutura tubular metálica. As cadeiras possuem encosto e assento revestidos em material melamínico e estrutura tubular metálica. O armário localizado ao lado da mesa do professor é de composto de madeira e os dos alunos são metálicos. As características de cada sala podem ser observadas e no grupo de Figuras 24, 25, 26 e 27 e na Tabela 9.

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 24: Vistas da sala 8 da Escola A

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 25: Vistas da sala 9 da Escola A

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 26: Vistas da sala 10 da Escola A

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 27: Vistas da sala 11 da Escola A

Tabela 9: Características das salas de aula

Sala de aula	8 8º ano - Fundamental	9 1º ano – Médio
Piso	vinílico	vinílico
Teto	Forro de gesso, luminárias, projetor	Forro de gesso, luminárias, projetor
Parede 1	Porta, janelas, cortinas e protetor de parede	Porta, janelas, cortinas e protetor de parede
Parede 2	Armários dos alunos, quadro de cortiça, ventilador, quadro com pintura e protetor de parede	Armários dos alunos, quadro de cortiça, ventilador e protetor de parede
Parede 3	Janelas, cortinas, protetor de parede, armário	Janelas, cortinas, protetor de parede, armário
Parede 4	Lousa, telão recolhido, TV, ventilador	Lousa, telão recolhido, TV, ventilador
L x C x H	6,90 m x 7,40 m x 3,11 m	6,90 m x 7,40 m x 3,11 m

Sala de aula	10 2º ano – Médio	11 3º ano – Médio
Piso	vinílico	vinílico
Teto	Forro de gesso, luminárias, projetor	Forro de gesso, luminárias, projetor
Parede 1	Porta, janelas, cortinas e protetor de parede	Porta, janelas, cortinas e protetor de parede
Parede 2	Armários dos alunos, quadro de cortiça, ventilador, quadro com pintura e protetor de parede	Armários dos alunos, quadro de cortiça, ventilador e protetor de parede
Parede 3	Janelas, cortinas, protetor de parede, armário	Janelas, cortinas, protetor de parede, armário
Parede 4	Lousa, telão recolhido, ventilador e protetor de parede	Lousa, telão recolhido, TV, ventilador
L x C x H	6,90 m x 7,40 m x 3,11 m	6,90 m x 7,40 m x 3,11 m

5.2 Salas de aula da Escola B

A escola B encontra-se no bairro do Ipiranga, no município de São Paulo. É uma escola privada de caráter assistencial, com ensino subsidiado. Iniciou as suas atividades em 1962 e está localizada em um terreno que faz divisa com um parque e uma área predominantemente residencial, que podem ser observados na Figura 28.

Figura 28: Entorno da Escola B

Fonte da imagem aérea: Google Earth acesso em out. 2018.

Nesta escola, as salas de aula localizam-se dos dois lados de um corredor e algumas delas estão ao lado da quadra de esportes, isto é, existe o contato de uma área sensível ao ruído com uma área geradora de ruído, conforme ilustrado pela Figura 29.

Figura 29: Posicionamento das salas de aula participantes da pesquisa na Escola B.

As oito salas de aula consideradas possuem portas de vidro e janelas em caixilhos metálicos com vidros *float*. As mesas possuem o tampo revestido em material melamínico e estrutura tubular metálica. As cadeiras possuem encosto e assento revestidos em material melamínico e estrutura tubular metálica. As características de cada sala podem ser observadas na Tabela 10 e no grupo de Figuras 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 e 37.

Tabela 10: Características das salas de aula

Sala de aula	1 2º ano A - Médio	2 2º ano B - Médio	3 8º ano – Fundamental e 2º ano C - Médio
Piso	pedra	pedra	pedra
Teto	Forro mineral, luminárias	Forro mineral, luminárias	Forro mineral, luminárias
Parede 1	Porta, protetor de parede, 2 ventiladores	Porta, protetor de parede, 2 ventiladores	Porta, protetor de parede, 2 ventiladores
Parede 2	Protetor de parede e 1 ventilador	Protetor de parede e 1 ventilador	Protetor de parede e 1 ventilador
Parede 3	Janelas, cortinas, protetor de parede	Janelas, cortinas, protetor de parede	Janelas, cortinas, protetor de parede
Parede 4	Lousa, TV	Lousa, TV	Lousa, TV
L x C x H	4,45mx8,80mx3,65m	4,45mx8,80mx3,65m	4,45mx8,80mx3,65m
Sala de aula	4 1º ano A – Médio e 3º ano C – Médio	5 1º ano B – Médio e 3º ano B – Médio	6 9º ano – Fundamental
Piso	pedra	pedra	pedra
Teto	Forro mineral, luminárias	Forro mineral, luminárias	Forro mineral, luminárias
Parede 1	Porta, protetor de parede, 2 ventiladores	Porta, protetor de parede, 2 ventiladores	Porta, protetor de parede
Parede 2	Protetor de parede e 1 ventilador	Protetor de parede e 1 ventilador	Protetor de parede e 1 ventilador
Parede 3	Janelas, cortinas, protetor de parede	Janelas, cortinas, protetor de parede	Janelas, cortinas, protetor de parede, 1 ventilador
Parede 4	Lousa, TV	Lousa, TV	Lousa, TV, telão, 1 ventilador
L x C x H	4,40mx8,00mx3,65m	4,45mx8,80mx3,65m	6,00mx7,60mx3,65m

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 30: Vistas da sala 1 da Escola B

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 31: Vistas da sala 2 da Escola B

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 32: Vistas da sala 3 da Escola B

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 33: Vistas da sala 4 da Escola B

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 34: Vistas da sala 5 da Escola B

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 35: Vistas da sala 6 da Escola B

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 36: Vistas da sala 7 da Escola B

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 37: Vistas da sala 8 da Escola B

5.3 Salas de aula da Escola C

A escola C encontra-se no município de Santana de Parnaíba. É uma escola privada de caráter assistencial com ensino subsidiado. Iniciou as suas atividades em 2008 e está localizada em um terreno que faz divisa com loteamentos não ocupados e uma área predominantemente residencial, que podem ser observados na Figura 38. Possui 8 salas de aula, laboratório de informática, biblioteca, sala de ciência e tecnologia, recreio coberto e áreas para atividades pedagógicas.

Figura 38: Entorno da Escola C

Fonte da imagem aérea: Google Earth acesso em out. 2018.

Nesta escola, as salas de aula localizam-se dos dois lados do corredor, conforme Figura 39, configurando caminho direto do som gerado dentro de uma sala para a outra.

Figura 39: Posicionamento das salas de aula participantes da pesquisa na Escola C.

As quatro salas de aula consideradas possuem portas de madeira e janelas em caixilhos metálicos com vidros *float*. As mesas possuem o tampo revestido em material melamínico e estrutura tubular metálica. As cadeiras possuem encosto e assento revestidos em material melamínico e estrutura tubular metálica. O armário localizado ao lado da mesa do professor é de compósito de madeira e os dos alunos são metálicos. As características de cada sala podem ser observadas na Tabela 11 e no grupo de Figuras 40, 41, 42 e 43.

Tabela 11: Características das salas de aula

Sala de aula	1 8º ano - Fundamental	5 1º ano – Médio
Piso	pedra	pedra
Teto	Forro de gesso, luminárias	Forro de gesso, luminárias, projetor
Parede 1	Porta, protetor de parede, armários, quadro de feltro	Porta, protetor de parede, armários, quadro de avisos
Parede 2	Protetor de parede, quadro de cortiça e 1 ventilador	Protetor de parede, quadro de cortiça e 1 ventilador
Parede 3	Janelas, cortinas, protetor de parede	Janelas, cortinas, protetor de parede
Parede 4	Lousa, TV e 1 ventilador	Lousa, TV armário e 2 ventiladores
L x C x H	7,20 m x 7,20 m x 3,20 m	7,20 m x 7,20 m x 3,20 m

Sala de aula	6 9º ano A – Fundamental e 3º ano – Médio	7 2º ano – Médio
Piso	pedra	pedra
Teto	Forro de gesso, luminárias	Forro de gesso, luminárias
Parede 1	Porta, protetor de parede, armários, quadro de feltro	Porta, protetor de parede, armários, quadro de feltro
Parede 2	Protetor de parede, quadro de cortiça e 1 ventilador	Protetor de parede, quadro de cortiça e 1 ventilador
Parede 3	Janelas, cortinas, protetor de parede	Janelas, cortinas, protetor de parede
Parede 4	Lousa, TV armário e 2 ventiladores	Lousa, TV armário e 2 ventiladores
L x C x H	7,20 m x 7,20 m x 3,20 m	7,20 m x 7,20 m x 3,20 m

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 40: Vistas da sala 1 da Escola C

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 41: Vistas da sala 5 da Escola C

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 42: Vistas da sala 6 da Escola C

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 43: Vistas da sala 7 da Escola C

5.4 Salas de aula da Escola D

A escola D encontra-se no bairro do Sacomã, no município de São Paulo. É uma escola privada de caráter assistencial com ensino subsidiado. Iniciou as suas atividades em 1974 e está localizada em um terreno que faz divisa com uma área predominantemente residencial, que pode ser observada na Figura 44. Possui 13 salas de aula, laboratório de informática, biblioteca, quadra de esportes descoberta, cozinha, pátio coberto e descoberto.

Figura 44: Entorno da Escola D

Fonte da imagem aérea: Google Earth acesso em out. 2018.

Nesta escola, a disposição de salas de aula é de um só lado do corredor, conforme ilustrado na Figura 45, o que configura uma vantagem em termos acústicos, pois como mencionado anteriormente, dificulta a transmissão de

ruído de uma sala para outra, criando caminhos mais longos a serem percorridos pelo som direto.

Figura 45: Posicionamento das salas de aula participantes da pesquisa na Escola D.

As quatro salas de aula consideradas possuem portas de madeira e janelas em caixilhos metálicos com vidros *float*. As mesas possuem o tampo revestido em material melamínico e estrutura tubular metálica. As cadeiras possuem encosto e assento revestidos em material melamínico e estrutura tubular metálica. Os armários dos alunos são metálicos. As características de cada sala podem ser observadas no grupo de Figuras 46, 47, 48 e 49 e na Tabela 12.

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 46: Vistas da sala 7 da Escola D

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 47: Vistas da sala 8 da Escola D

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 48: Vistas da sala 9 da Escola D

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 49: Vistas da sala 10 da Escola D

Tabela 12: Características das salas de aula

Sala de aula	7 1º ano - Médio	8 7º ano – Fundamental e 2º ano - Médio
Piso	vinílico	cerâmico
Teto	Laje, luminárias, projetor	Laje, luminárias, projetor
Parede 1	Porta, protetor de parede, 1 ventilador	Porta, protetor de parede, 1 ventilador
Parede 2	Armários	Armários
Parede 3	Janelas, protetor de parede	Janelas, protetor de parede
Parede 4	Lousa, 1 ventilador	Lousa, TV e 1 ventilador
L x C x H	4,85 m x 9,95 m x 2,91 m	4,85 m x 9,95 m x 2,91 m

Sala de aula	9 8º ano - Fundamental	10 9º ano – Fundamental e 3º ano - Médio
Piso	vinílico	vinílico
Teto	Laje, luminárias, projetor	Laje, luminárias, projetor
Parede 1	Porta, protetor de parede, 1 ventilador	Porta, protetor de parede, 1 ventilador
Parede 2	Armários	Armários
Parede 3	Janelas, protetor de parede	Janelas, protetor de parede
Parede 4	Lousa, TV e 1 ventilador	Lousa, TV e 1 ventilador
L x C x H	5,95 m x 8,95 m x 2,91 m	4,85 m x 9,95 m x 2,91 m

5.5 Salas de aula da Escola E

A escola E encontra-se no município de Cotia, no Estado de São Paulo. É uma escola privada de aplicação. Foi fundado em 1998 e está localizada em um terreno que faz divisa com uma avenida comercial, uma área predominantemente residencial e uma área verde que podem ser observadas na Figura 50. Possui salas de aula, salas multimídia, laboratórios de ciências, ateliê de artes, 4 quadras poliesportivas, quadra coberta, quadra de areia e um campo de futebol, restaurante e 2 midiatecas.

Figura 50: Entorno da Escola E
Fonte da imagem aérea: Google Earth acesso em out. 2018.

Nesta escola, as salas de aula estão agrupadas em conjuntos de 4 salas voltadas para uma área comum coberta, conforme ilustrado pela Figura 51. Se as portas estiverem abertas haverá entrada do som proveniente de outras salas ou mesmo da área comum se esta estiver ocupada.

As cinco salas de aula consideradas possuem portas e janelas em caixilhos de madeira com vidros *float*. As carteiras escolares com braço possuem o tampo revestido em material melamínico, estrutura tubular metálica e o assento e encosto de plástico. Os escaninhos dos alunos, quando existentes, e os armários da sala são de madeira. As características de cada sala podem ser observadas na Tabela 13 e no grupo de Figuras 52, 53, 54, 55 e 56.

Figura 51: Posicionamento das salas de aula participantes da pesquisa na Escola E.

Tabela 13: Características das salas de aula

Sala de aula	8 8º ano - Fundamental	9 9º ano - Fundamental	1 1º ano - Médio
Piso	vinílico	vinílico	vinílico
Teto	Sanca de gesso, luminárias, projetor, 2 ventiladores	Sanca de gesso, luminárias, projetor, 2 ventiladores	Sanca de gesso, luminárias, projetor, 2 ventiladores
Parede 1	Armário, porta	Armário, porta	Armário, porta, rede de proteção
Parede 2	Lousa, quadro de avisos, armário baixo	Parede pintada com tinta lousa	Lousa, quadro de avisos, armário baixo
Parede 3	Janelas, escaninhos	Porta balcão, janela, cortinas	Janelas, escaninhos
Parede 4	Porta balcão, pia	Janelas cortinas	Porta balcão, janela
Parede 5	Parede pintada com tinta lousa	Lousa, quadro de avisos, armário baixo	Parede pintada com tinta lousa
L x C x H	9,40mx7,10mx2,91 m	9,40mx7,10mx2,91 m	9,40mx7,10mx2,91 m

Sala de aula	2 2º ano C – Médio	3 3º ano – Médio
Piso	vinílico	cerâmico
Teto	Sanca de gesso, luminárias, projetor, 2 ventiladores	Sanca de gesso, luminárias, projetor, 2 ventiladores
Parede 1	Armário, porta, rede de proteção	Armário, porta, bancada de concreto
Parede 2	Lousa, lousa interativa, quadro de avisos, armário baixo	Bancada de concreto, rede de proteção
Parede 3	Escaninhos, janela, cortinas, aparelho de ar-condicionado	Janelas, pia, cortinas
Parede 4	Porta balcão, janela, pia	Bancada, janelas, cortinas, aparelho de ar-condicionado
Parede 5	Parede pintada com tinta lousa	Lousa, quadro de avisos, armário baixo
L x C x H	9,40mx7,10mx2,91 m	8,70mx7,25mx2,91 m

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 52: Vistas da sala do 8º ano do Ensino Fundamental da Escola E

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 53: Vistas da sala do 9º ano do Ensino Fundamental da Escola E

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 54: Vistas da sala do 1º ano do Ensino Médio da Escola E

(a)

(b)

(c)

(d)

Figura 55: Vistas da sala do 2º ano do Ensino Médio da Escola E

Figura 56: Vistas da sala do 3º ano do Ensino Médio da Escola E

5.6 Considerações acerca das salas

As salas de aula estudadas possuem volumetrias diversas. Na Escola A, elas possuem planta trapezoidal; nas Escolas B e D, possuem planta retangular; na Escola C, possuem planta quadrada; já, na Escola E, as salas de aula possuem uma planta multifacetada.

Quanto ao ruído proveniente do lado externo, as Escolas A e E estão localizadas em áreas menos ruidosas. A Escolas B está inserida em uma área mais urbanizada e sofre grande influência do ruído de tráfego veicular terrestre e aéreo. A Escola C, apesar de localizar-se em uma área menos urbanizada, sofre influencia do tráfego de veículos pesados como caminhões e ônibus. A Escola D, apesar de estar inserida em uma área mais urbanizada, possui as salas de aula voltadas para uma rua de tráfego local e

acaba sendo menos impactada pelo ruído de tráfego que atinge mais as áreas administrativas.

Os materiais que compõem essas salas de aula são, em geral, pouco absorvedores: paredes lisas com pintura, vidros nas janelas e em algumas portas e lousas, pisos cerâmicos ou de pedra, mobiliário em plástico ou em compósito melamínico. Os materiais mais absorvedores que podem ser encontrados em algumas salas são as cortinas, forros minerais, escaninhos, quadros de feltro e cortiça, por exemplo.

Quanto aos equipamentos que são fontes de ruído interno nas salas, os ventiladores são os mais ruidosos. Algumas poucas salas possuíam aparelhos de climatização instalados. Os projetores, instalados no teto, também são fonte de ruído, mas não foi possível acioná-los durante as medições.

6

Fonte: KEATING (apud FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO, 1998, P.131)

CAPÍTULO 6: Método para coleta e tratamento de dados

Neste capítulo, os procedimentos para coleta e tratamento dos dados serão apresentados, por meio dos seguintes meios:

- a) questionários aos usuários;
- b) vistoria para levantamento das características das salas de aula;
- c) medições acústicas nas salas de aula;
- d) simulações computacionais das salas de aula.

Foram contatadas 35 escolas na região da Grande São Paulo, tanto públicas como privadas, sendo que 5 escolas aceitaram participar da pesquisa, 10 declinaram e 20 não responderam. Após o primeiro contato, as escolas receberam uma carta de apresentação e solicitação de acesso conforme o modelo apresentado no Anexo C.

6.1 Questionários

Primeiramente realizaram-se os pré-testes e com ele foi “possível verificar que as alternativas (Silencioso, Quente, Sujo, Frio, Espaçoso, Visual agradável, Lotado, Barulhento, Com luzes ofuscantes, Com odor desagradável) não abarcavam todas as possibilidades, pois um dos respondentes manuscreeu a alternativa “Adequado” para avaliar o prédio da instituição. A existência de um espaço para preenchimento pelo respondente se faz necessária em questões como essa, tornando possível cobrir alternativas não previstas no grupo de respostas” (IKEDA et al, 2016).

No pré-teste também verificou-se que a palavra “demasiadamente” na questão 12 não foi entendida por parte dos respondentes e acabou sendo substituída por “muito” em: O som “ecoa” demasiadamente nesta sala de aula?

Como uma parte da pesquisa envolvia a coleta de dados de pessoas (alunos de escolas do ensino fundamental e médio), o projeto de pesquisa foi submetido ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) para que fosse garantida a segurança e proteção dos direitos dos participantes. A submissão ao CEP só foi possível após a conclusão de outras etapas prévias da pesquisa, iniciadas a partir do aceite das escolas participantes, a saber: levantamento de campo de cada uma das escolas, elaboração dos formulários e dos procedimentos de coleta de dados e aplicação de pré-teste.

Para os questionários aplicados junto aos alunos, previamente ao dia agendado, cada aluno recebeu 2 cópias do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) que foram encaminhados a seus pais ou responsáveis. Somente os alunos que retornaram os TCLE devidamente assinados por seus responsáveis participaram da pesquisa. Por se tratarem de menores de idade, cada aluno, antes de responder ao questionário, recebeu 2 vias do Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE) e retornou uma das vias assinadas. No Anexo D encontram-se os modelos de TCLE e TALE utilizados na pesquisa.

O número de alunos respondentes por escola e ano encontra-se na Tabela 14.

Tabela 14: Número de alunos respondentes

Ano	Escola A	Escola B	Escola C	Escola D	Escola E
8º EF	7	24	22	32	8
9º EF	Pré-teste	21	11	30	8
1º EM	5	16+11+15+18	14	18	19
2º EM	8	6+11+12	5	19	12
3º EM	8	5+6+10	14	14+13	12
Respondentes	28	155	66	126	59
Total	434				

Ressalta-se que o tipo de questionário aqui tratado é aquele respondido autonomamente pelo respondente, ou seja, sem a presença de um entrevistador, que poderia tanto esclarecer dúvidas como introduzir vieses pessoais. O teor das perguntas feitas nos questionários está descrito no item 3.3.5. No Anexo B encontra-se o modelo de questionário aplicado em alunos.

6.2 Levantamento das características das salas de aula

Na ficha para levantamento das características da sala de aula eram preenchidos os dados de identificação da sala (número ou ano), data e horário das medições, breve descrição de áreas ruidosas próximas (vias movimentadas, por exemplo), pé-direito da sala, observações da medição acústica (tipo de sinal, duração, ajustes de ganho no software Dirac, na interface de som e no amplificador, pontos que ocorreram sobrecarga [overload] ou não foi possível realizar as medições). No levantamento do mobiliário eram descritas as quantidades, as dimensões e materiais das cadeiras e mesas dos alunos, da cadeira e mesa do professor, dos armários, lousas e outros objetos como quadro de avisos e escaninhos.

A ficha também possuía um campo para registro dos materiais de acabamento do teto, piso e das paredes, além dos objetos fixados nessas superfícies como ventiladores, aparelhos de TV, projetores e aparelhos de ar-condicionado. Outro campo com a quantificação desses equipamentos também era preenchido.

Por fim, um desenho esquemático da planta com suas dimensões e disposição do mobiliário era feita. Informações das portas e janelas como dimensões, materiais e quantidade eram também registradas. O modelo da ficha empregada encontra-se no Anexo A.

6.3 Medições acústicas

As medições acústicas foram feitas nas salas desocupadas e mobiliadas, com quatro configurações, quando existentes:

- todas as janelas e cortinas fechadas;
- todas as janelas fechadas e as cortinas abertas;
- todas as janelas e cortinas abertas;
- todas as janelas e cortinas abertas e ventiladores ligados.

Algumas salas não possuíam cortinas ou ventiladores. Ou estavam com os ventiladores em manutenção.

Como em cada sala, quando existentes, 9 posições eram medidas para cada uma das 4 configurações e as medições eram repetidas mais uma vez para a obtenção dos parâmetros de inteligibilidade da fala, no total eram realizadas 72 medições por sala.

O sistema de medição ilustrados na Figura 57, era composto de:

- um microfone pré-polarizado de campo difuso de $\frac{1}{2}$ ";
- um pré-amplificador de $\frac{1}{2}$ ";
- uma fonte de alimentação de 1 canal com indicação de sobrecarga e ajuste de ganho;
- uma fonte sonora onidirecional que satisfaz os requisitos da norma ISO 3382-1:2009;
- um amplificador de potência;
- um computador portátil com o software Dirac instalado.
- Uma placa de som externa com conversão 192kHz, 24-bit, com resposta em frequência de 20Hz a 20kHz (+/- 0,1 dB).

A fonte sonora ficou localizada na frente da sala ao centro, na posição de um professor em pé, a 1,65 m de altura e as medições foram feitas a 1,20 m de altura, na posição de alunos sentados, em nove pontos possíveis: 3 pontos na frente da sala, 3 pontos no centro da sala e 3 pontos nos fundos da sala conforme a Figura 58. O detalhamento do procedimento de medição, incluindo as observações para se medir o RASTI, encontra-se no Anexo E.

Figura 57: Sistema de medição

Fonte: Os autores

Figura 58: Desenho esquemático dos possíveis posicionamentos do microfone

Fonte: Os autores

6.4 Simulações acústicas

Após a importação da geometria para o software Odeon, verificou-se se não havia vazamentos de som no modelo virtual. Estando o modelo virtual correto, procedeu-se à definição de pontos dos emissores e receptores.

Os pontos de receptores correspondem aos 9 pontos nos quais os microfones foram colocados durante às medições (pontos A, B, C, D, E, F, G, H e I). Os pontos de emissores foram colocados na mesma posição em que estavam a caixa acústica e os ventiladores, quando existentes. Para a voz do professor considerou-se um nível de pressão sonora da fala a 1 m de cerca 70 dB, conforme ilustrado na Figura 59, que é de quando o orador fala o mais alto possível, sem forçar a voz (DFES, 2003).

Figura 59: Níveis de pressão sonora da fala a 1 m.

Fonte: DFES, 2003.

Após a definição das fontes e receptores, foram definidos os materiais que compõem as superfícies. Os dados utilizados foram os do próprio banco de dados do Odeon. Na inexistência de dados foram utilizados materiais semelhantes. Na Tabela 15 são apresentados os materiais utilizados.

Tabela 15: Materiais aplicados nas superfícies

Superfície	Material do Odeon	Absorção sonora							
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
Janela fixa	Glass ordinary window glass Ref Harris: handbook of acoustical Measurements and Noise Control	0,35	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,04
Porta de vidro	Glass ordinary window glass Ref Harris: handbook of acoustical Measurements and Noise Control	0,35	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,04
Porta de madeira	Solid wooden door	0,14	0,14	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10
Paredes	Smooth concrete, painted or glazed	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Piso vinílico	Linoleum or vinyl stuck to concrete	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05
Piso de pedra	Smooth unpainted concrete	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Cortinas	Cotton curtains (0,5 kg/m ²) draped to ¾ area approx. 130 mm from wall	0,30	0,30	0,45	0,65	0,56	0,59	0,71	0,71
	Curtains, cotton cloth (0,33 kg/m ²) folded to ¾ area	0,04	0,04	0,23	0,14	0,57	0,53	0,40	0,40
	Curtains, cotton cloth (0,33 kg/m ²) folded to 7/8 area	0,03	0,03	0,12	0,15	0,27	0,37	0,42	0,42
Mesas e cadeiras	Desks	0,01	0,01	0,03	0,07	0,07	0,08	0,10	0,10
Armários	Cupboards	0,15	0,15	0,30	0,35	0,30	0,20	0,13	0,05
Forro de gesso	Painted plaster surface	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Forro mineral	20% absorbent	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Protetor de parede	Thin plywood paneling (Ref. Dalenbäck CATT)	0,42	0,42	0,21	0,10	0,08	0,06	0,06	0,06
Quadro de cortiça	Layer of rubber, cork, linoleum+underlay or vynil underlay stuck to concrete	0,02	0,02	0,02	0,04	0,05	0,05	0,10	0,10
Janela aberta	70% to 90% absorbent	0,70 a 0,90	0,70 a 0,90	0,70 a 0,90	0,70 a 0,90	0,70 a 0,90	0,70 a 0,90	0,70 a 0,90	0,70 a 0,90

Para verificar se os materiais selecionados foram os mais adequados utilizou-se a opção de Estimativa Rápida da Reverberação. Comparou-se o

resultado do cálculo baseado em Sabine modificado, isto é, que leva em conta além da geometria do ambiente, a geometria das superfícies com os materiais especificados, com os dados de TR medidos em campo. A Tabela 16 e a Figura 60 exemplificam essa comparação. Admitiu-se uma variação de até 5% na frequência de referência de 1000 Hz, para que ficasse dentro do JND.

Tabela 16: Exemplo de comparação dos valores medidos e simulados.

Ponto (medições)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A	1,70	1,61	1,58	1,45	1,29	1,44	1,32	1,10
B	2,66	1,75	1,61	1,36	1,36	1,36	1,28	1,10
C	2,27	1,56	1,62	1,44	1,33	1,35	1,26	1,06
D	3,14	1,51	1,78	1,39	1,35	1,41	1,23	1,08
E	1,21	1,73	1,68	1,34	1,35	1,34	1,26	1,10
F	2,20	1,38	1,50	1,44	1,33	1,44	1,14	1,06
G	2,37	1,55	1,59	1,41	1,26	1,31	1,23	1,04
H	1,68	1,78	1,57	1,43	1,32	1,35	1,26	1,09
I	2,16	1,39	1,43	1,38	1,32	1,37	1,24	1,10
Média (medições)	2,15	1,58	1,60	1,40	1,32	1,37	1,25	1,08
Média Sabine modificado (simulações)	1,87	1,87	1,65	1,38	1,33	1,31	1,08	0,74
Diferença	0,28	-0,29	-0,05	0,02	-0,01	0,06	0,17	0,34
%	13,2%	-18,1%	-3,4%	1,6%	-0,6%	4,6%	13,3%	31,5%

Figura 60: Exemplo de comparação dos valores medidos e simulados de TR

Após verificação rápida dos resultados, selecionou-se o método de cálculo "Engineering", no software Odeon, por não apresentar diferenças

significativas na simulação das salas estudadas em relação ao método com maior tempo de processamento. Para o diagrama de distribuição espacial, selecionou-se um grid de 0,50 m a 1,20 m de altura.

Após o processamento dos cálculos compararam-se os dados medidos e simulados dos demais parâmetros acústicos e geraram-se os diagramas de distribuição espacial. A Figura 61 exemplifica essa comparação. Verificou-se que os ajustes realizados e os materiais escolhidos para a simulação acústica computacional apresentaram bons resultados quando comparados com os valores medidos, na maior parte dos casos. Para alguns casos, o ajuste dos valores das extremidades das bandas de oitava (63 Hz e 8000 Hz) não resultou em valores tão aderentes aos valores medidos, entretanto nas bandas de frequências centrais, podem ser utilizados para fins de análise.

Figura 61: Exemplo de comparação dos valores medidos e simulados de EDT, T_{30} , D_{50} e T_s .

Ressalta-se que as simulações computacionais foram utilizadas somente para complementar a análise através da observação do comportamento do descritor acústico na sua distribuição espacial. Os valores numéricos utilizados para a determinação das faixas foram os obtidos pelas medições.

6.5 Definição das faixas de operação dos descritores

Para a definição das faixas de operação dos descritores acústicos em função das respostas dos questionários dos alunos, não havia uma relação direta de uma pergunta de satisfação para cada descritor acústico visto que, seria difícil fazer e responder perguntas sobre parâmetros que descrevem proporções de energia sonora ou quantidades de tempo na faixa dos milissegundos, por exemplo. Optou-se por avaliar perguntas mais voltadas ao entendimento da fala e à intrusão de ruído gerado externa e internamente.

Primeiramente foi atribuída uma pontuação para as respostas das perguntas 8, 9, 10 e 11 do questionário. Para as perguntas 8 e 9, atribuiu-se 4 pontos para a alternativa "a", 3 pontos para a alternativa "b", 2 pontos para a alternativa "c" e 1 ponto para a alternativa "d". Para as perguntas 10 e 11, atribuiu-se 1 ponto para a alternativa "a", 2 pontos para a alternativa "b", 3 pontos para a alternativa "c" e 4 pontos para a alternativa "d".

8. O ruído nesta sala de aula te impede de ouvir bem o professor?
- a. Nunca / quase nunca
 - b. Algumas vezes
 - c. Muitas vezes

d. O tempo todo

9. O ruído nesta sala de aula impede que o professor ouça bem os alunos?

a. Nunca / quase nunca

b. Algumas vezes

c. Muitas vezes

d. O tempo todo

10. O ruído gerado no interior desta sala de aula (pessoas, ventiladores):

a. É muito perturbador.

b. É perturbador

c. É levemente perturbador

d. Não perturba

11. O ruído proveniente do lado de fora da sala de aula (veículos, atividades esportivas, recreio):

a. É muito perturbador.

b. É perturbador

c. É levemente perturbador

d. Não perturba

O conjunto de respostas mais pontuado, isto é, de maior satisfação, foi aquele respondido com as alternativas "a" ou "b" para as perguntas 8 e 9; "c" ou "d" para as perguntas 10 e 11. Rastreando-se estes questionários, verificou-se qual posição na sala de aula esse aluno ocupava (A, B, C, D, E, F, G, H ou I). Ressalta-se que dentro de cada sala existiam tanto alunos considerados satisfeitos como insatisfeitos. Nas Figuras 62, 63, 64, 65 e 66

encontram-se as posições ocupadas pelos respondentes considerados satisfeitos de cada escola, com base nesses critérios.

Figura 62: Posições ocupadas pelos alunos considerados satisfeitos na Escola A.

Figura 63: Posições ocupadas pelos alunos considerados satisfeitos na Escola C.

Figura 64: Posições ocupadas pelos alunos considerados satisfeitos na Escola B.

Figura 65: Posições ocupadas pelos alunos considerados satisfeitos na Escola D.

Figura 66: Posições ocupadas pelos alunos considerados satisfeitos na Escola E.

Para cada uma dessas posições verificaram-se os valores dos descritores acústicos medidos em todas as salas consideradas no estudo. Para

referência de projeto, não foram consideradas as situações com janela aberta, pois essas recebem muita influência do ruído externo.

Para a determinação da melhor faixa de operação, por frequência, foram descartados os valores que compreendiam os 5% de ocorrência dos valores mínimos e os 5% de ocorrência dos valores máximos, para a faixa de valores ficasse no intervalo de ocorrência de 90%, com o intuito de descartar valores que pudessem ter sido perturbados por fenômenos aleatórios que vieram a ocorrer durante as medições. A Tabela 17 ilustra a definição da faixa de valores de TR para 63 Hz.

Tabela 17: Definição da faixa de valores para o TR em 63 Hz.

TR(s)	Frequência	% cumulativo
0,1	1	0,84%
0,2	0	0,84%
0,3	0	0,84%
0,4	4	4,20%
0,5	1	5,04%
0,6	2	6,72%
0,7	6	11,76%
0,8	4	15,13%
0,9	6	20,17%
1,0	7	26,05%
1,1	5	30,25%
1,2	8	36,97%
1,3	9	44,54%
1,4	6	49,58%
1,5	10	57,98%
1,6	13	68,91%
1,7	13	79,83%
1,8	5	84,03%
1,9	5	88,24%
2,0	1	89,08%
2,1	3	91,60%
2,2	3	94,12%
2,3	2	95,80%
2,4	1	96,64%
2,5	0	96,64%
2,6	3	99,16%
2,7	0	99,16%
2,8	0	99,16%
2,9	0	99,16%
3,0	0	99,16%
3,1	0	99,16%
3,2	0	99,16%
3,3	0	99,16%
3,4	0	99,16%
3,5	0	99,16%
3,6	0	99,16%
3,7	0	99,16%
3,8	0	99,16%
3,9	0	99,16%
4,0	0	99,16%
4,1	0	99,16%
4,2	0	99,16%
4,3	1	100,00%

Para a avaliação da inteligibilidade da fala, em princípio seriam considerados os valores de STI medidos para o estudo, mas, devido a problemas de aquisição destes dados, foram então utilizados os valores de RASTI.

Para os descritores D_{50} e RASTI, foram descartados os valores que se encontravam nos 10% de ocorrência dos valores mínimos. Sendo valores que quanto mais próximo de 1 melhores são, não se descartaram os valores que se encontravam nos 5% de ocorrência dos valores máximos.

7

Fonte: KEATING (apud FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO, 1998, P.111)

CAPÍTULO 7: Resultados e discussão

A seguir são apresentadas as faixas de operação, por descritor, medidas nos pontos com as melhores avaliações de satisfação segundo os questionários aplicados, considerando todo o universo estudado. Gráficos são utilizados para ilustrar estes valores e diagramas da distribuição espacial do ruído, para exemplificar o comportamento do descritor por toda a sala.

No cálculo da incerteza da medição, considerou-se a incerteza instrumental, obtendo-se o valor de 0,5 dB que é um valor pequeno e não configura uma interferência significativa nos resultados. Os valores dos descritores são exibidos por bandas de oitava e por configuração de sala (janelas fechadas e cortinas fechadas; janelas fechadas e cortinas abertas e janelas fechadas sem cortinas). Ressalta-se que as salas sem cortinas acabam sendo mais reverberantes que as salas com cortinas, mesmo quando essas estão recolhidas.

7.1 Questionários

Um sumário de todas as respostas dadas por alunos é apresentado a seguir, estando o tratamento das respostas correspondentes a cada escola nos anexos.

Os questionários foram respondidos por uma proporção praticamente igual de alunos (44% dos respondentes) e alunas (46% dos respondentes). Os 10% restantes não declararam o seu gênero.

Os adjetivos mais utilizados, para descrever o prédio da escola, como um todo, foram: “espaçoso” (25% das respostas), “barulhento” (23% das respostas), “visual agradável” (20% das respostas), “quente” (10% das respostas) e “frio” (8% das respostas).

A maior parte dos alunos gostaria que o pátio (43% dos respondentes) e a quadra esportiva (78% dos respondentes) permanecessem sem mudanças quanto ao ruído. Já quanto aos corredores da escola, 10% dos alunos gostariam que fossem muito mais silenciosos, 28% que fossem mais silenciosos, 36% que fossem um pouco mais silenciosos e 26% que não houvesse mudança quanto ao ruído.

Quanto às salas de aula, 26% dos alunos gostariam que fossem muito mais silenciosas, 28% que fossem mais silenciosas, 30% que fossem um pouco mais silenciosas e 16% que não houvesse mudança quanto ao ruído. Já quanto à região próxima à carteira de cada respondente, 9% dos alunos gostaria que fosse muito mais silenciosa, 17% que fosse mais silenciosa, 31% que fosse um pouco mais silenciosa e 43% que não houvesse mudança quanto ao ruído.

Para a maioria dos alunos o ruído faz perder a concentração (83% dos respondentes), torna as atividades mais difíceis de serem feitas (76% dos respondentes), não ajudam a realizar as atividades de forma melhor (88% dos respondentes) e não ajudam a encobrir as distrações (79% dos respondentes).

Para 6% dos respondentes, o ruído os impede de ouvir o professor o tempo todo, para 25% muitas vezes, para 58% algumas vezes e para 11% nunca ou quase nunca. Já o professor é impedido de ouvir os alunos por

causa do ruído o tempo todo, para 10% dos respondentes; muitas vezes, para 36% dos respondentes; algumas vezes, para 47% dos respondentes e nunca ou quase nunca, para 6% dos respondentes. 1% dos alunos não respondeu à pergunta.

Para 11% dos respondentes o ruído gerado no interior de suas salas, por pessoas e equipamentos, é muito perturbador, enquanto que para 31% é perturbador; para 50% levemente perturbador; e para 7% não perturba. 1% dos alunos não respondeu à pergunta. Já quanto ao ruído proveniente do lado de fora da sala de aula, por veículos, atividades esportivas e recreio, por exemplo, para 11% dos respondentes é muito perturbador, para 29% é perturbador, para 39% é levemente perturbador e para 20% não perturba. 1% dos alunos não respondeu à pergunta.

O fato de que 31% dos alunos são impedidos de ouvir o professor por causa do ruído o tempo todo ou muitas vezes, é preocupante, pois quase 1/3 dos respondentes não recebeu parte da informação que deveria. Para 46% dos alunos, por causa do ruído, o professor também é impedido de ouvi-los, o tempo todo ou muitas vezes, também é preocupante, pois, para quase metade dos alunos, suas perguntas ou comentários não chegam ao professor ou ambas as partes têm de fazer um esforço para se fazerem entendidas.

Além do problema da comunicação, alguns alunos comentaram no campo reservado para fazer observações do questionário que ao final do dia ficavam com dores de cabeça por causa do ruído. Foi comentado por um aluno que possuía DDAH (Distúrbio de Déficit de Atenção e

Hiperatividade) que o ruído fazia com que ele perdesse o foco e a concentração.

Os resultados, por escola, encontram-se nos Anexos F, G, H, I e J.

7.2 TR

Os valores de TR, levando em conta, os pontos selecionados das salas de aula de todas as escolas, por banda de oitava e por configuração (janelas fechadas e cortinas fechadas; janelas fechadas e cortinas abertas) encontram-se na Tabela 18 e 19. Nas Figura 67 e 68 estão exemplificados para 1000 Hz, os diagramas de distribuição espacial do TR. Para as demais bandas de frequências, exemplos de diagramas de distribuição espacial do TR encontram-se no Anexo K. Os diagramas de distribuições espaciais do descritor T_{30} são apresentados em substituição aos do TR uma vez que o *software* não gera diagramas para o TR. Entretanto, os valores de TR e T_{30} são muito próximos para estes ambientes estudados.

Percebe-se que o TR é maior para a configuração de janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas, pois são salas que acabam sendo mais reverberantes.

Tabela 18: Valores de TR para a configuração de janelas e cortinas fechadas.

Escola	Sala	Posição	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
A	9	I	1,536	1,605	1,297	0,984	0,946	0,916	0,877	0,788
	10	F	2,594	1,780	1,290	0,959	1,010	0,997	0,889	0,780
	11	I	1,695	1,465	1,297	1,256	1,088	1,067	0,990	0,846
B	1	E	1,625	1,533	0,744	0,741	0,592	0,568	0,586	0,570
	2	G	0,949	0,893	0,708	0,685	0,571	0,545	0,627	0,570
	3	A	0,366	1,079	0,878	0,716	0,502	0,525	0,551	0,524
	3	B	0,529	0,783	0,833	0,783	0,531	0,549	0,592	0,527
	3	E	0,779	1,096	0,877	0,746	0,517	0,531	0,601	0,551
	4	G	0,912	0,977	0,808	0,741	0,557	0,524	0,592	0,542
	4	H	0,640	1,027	0,867	0,695	0,509	0,532	0,584	0,573
	5	B	0,503	0,835	0,798	0,772	0,497	0,572	0,633	0,590
	5	D	0,926	0,863	0,775	0,720	0,535	0,547	0,593	0,578
	5	H	0,349	0,760	0,654	0,751	0,518	0,545	0,619	0,594
	5	I	0,877	0,877	0,772	0,683	0,566	0,556	0,594	0,592
	6	A	1,106	1,079	1,173	0,841	0,628	0,674	0,731	0,682
	6	B	1,511	1,223	1,126	0,983	0,658	0,669	0,732	0,696
	6	C	2,035	1,282	1,184	0,978	0,645	0,676	0,731	0,680
	6	E	1,203	0,867	1,153	0,930	0,655	0,698	0,752	0,708
	6	G	1,489	1,293	0,988	0,918	0,610	0,678	0,724	0,688
	6	I	1,690	1,064	1,139	0,905	0,644	0,681	0,741	0,694
	7	A	1,068	0,807	0,692	0,597	0,549	0,542	0,600	0,593
	7	E	1,489	0,854	0,846	0,711	0,539	0,575	0,623	0,613
	8	D	1,128	0,951	0,871	0,742	0,568	0,599	0,615	0,577
	8	E	1,172	0,972	0,808	0,701	0,619	0,589	0,638	0,599
C	1	B	2,365	1,534	1,780	1,306	1,288	1,047	0,951	0,818
	5	C	1,411	1,410	1,449	1,165	1,106	1,010	0,880	0,756
	5	E	1,374	1,365	1,324	1,168	1,068	1,041	0,923	0,828
	6	A	1,776	1,511	1,876	1,331	1,217	1,104	0,946	0,791
	6	B	1,493	1,531	1,737	1,382	1,236	1,057	0,937	0,812
	6	C	1,953	1,834	2,031	1,353	1,187	1,088	0,940	0,727
	6	D	1,241	1,607	1,701	1,179	1,184	1,093	0,969	0,819
	6	E	1,780	1,382	2,210	1,266	1,045	0,895	0,895	0,828
	6	F	1,809	1,551	1,771	1,251	1,248	1,059	0,927	0,757
	6	G	1,772	1,554	1,765	1,207	1,247	1,033	0,952	0,807
E	6	H	1,473	1,334	1,742	1,324	1,172	1,052	0,940	0,813
	1	A	1,497	1,502	1,808	1,558	1,159	1,046	0,972	0,858
	1	D	1,417	1,340	1,916	1,436	1,151	1,048	1,012	0,868
	1	E	1,531	1,664	1,773	1,471	1,159	1,061	1,009	0,838
	1	F	1,223	1,250	2,012	1,345	1,165	1,082	0,992	0,855
	2	C	1,392	1,636	1,602	1,294	1,161	1,111	0,995	0,864
	2	G	1,505	1,591	1,414	1,343	1,245	1,108	0,989	0,890
	2	I	1,258	1,461	1,462	1,279	1,137	1,072	0,968	0,853
	3	A	--	1,532	1,841	1,392	1,249	1,196	1,030	0,907
	3	E	1,619	1,312	1,696	1,514	1,188	1,116	1,034	0,801
	3	F	1,514	1,293	1,835	1,426	1,232	1,138	1,006	0,869
	3	G	1,687	1,656	1,749	1,428	1,190	1,140	1,051	0,880
	3	H	0,836	1,558	1,752	1,302	1,247	1,188	1,076	0,905
	8	G	1,420	1,216	1,686	1,498	1,012	1,171	1,047	0,928
	8	H	1,674	1,304	1,894	1,426	1,223	1,178	1,072	0,882
	9	A	1,151	1,946	1,943	1,597	1,305	1,192	1,112	0,929
	9	H	0,818	1,837	2,073	1,498	1,273	1,185	1,087	0,763

Tabela 19: Valores de TR para a configuração de janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas.

Escola	Sala	Posição	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
A	9	I	1,892	1,403	1,393	1,263	1,235	1,258	1,202	1,121
	10	F	2,525	1,718	1,453	1,328	1,339	1,318	1,245	1,095
	11	I	2,156	1,394	1,430	1,375	1,321	1,366	1,243	1,097
B	1	E	1,512	1,650	0,798	0,755	0,629	0,643	0,680	0,676
	2	G	0,983	0,999	0,812	0,667	0,595	0,592	0,684	0,657
	3	A	0,310	0,917	1,081	0,895	0,495	0,524	0,584	0,630
	3	B	0,820	0,815	0,872	0,830	0,656	0,599	0,642	0,600
	3	E	0,649	1,243	0,937	0,844	0,566	0,564	0,607	0,566
	4	G	1,080	1,116	0,871	0,789	0,598	0,571	0,644	0,647
	4	H	0,764	0,959	0,920	0,854	0,590	0,559	0,640	0,626
	5	B	0,499	0,864	0,841	0,832	0,518	0,597	0,643	0,625
	5	D	4,255	0,919	0,926	0,776	0,579	0,599	0,668	0,658
	5	H	0,659	0,985	0,789	0,709	0,553	0,588	0,677	0,643
	5	I	1,388	0,461	0,811	0,884	0,585	0,583	0,678	0,648
	6	A	1,085	1,136	1,152	0,965	0,688	0,756	0,796	0,747
	6	B	1,112	1,288	1,233	0,994	0,655	0,750	0,782	0,724
	6	C	2,138	1,406	1,186	0,958	0,709	0,767	0,834	0,757
	6	E	1,254	1,378	1,203	0,964	0,714	0,747	0,799	0,762
	6	G	1,500	1,333	1,066	1,055	0,688	0,751	0,803	0,734
	6	I	1,086	1,337	1,127	1,011	0,694	0,762	0,799	0,776
	7	A	0,874	0,755	0,711	0,664	0,584	0,615	0,679	0,655
	7	E	0,994	0,913	0,903	0,729	0,549	0,616	0,668	0,658
	8	D	1,378	1,033	0,899	0,803	0,620	0,642	0,686	0,629
	8	E	1,199	0,977	0,899	0,765	0,623	0,648	0,685	0,664
C	1	B	1,147	1,677	1,875	1,274	1,313	1,175	1,032	0,881
	5	C	1,507	1,501	1,475	1,250	1,296	1,144	1,029	0,916
	5	E	1,475	1,349	1,394	1,114	1,291	1,154	1,033	0,922
	6	A	0,310	0,917	1,081	0,895	0,495	0,524	0,584	0,630
	6	B	0,820	0,815	0,872	0,830	0,656	0,599	0,642	0,600
	6	C	0,090	0,851	0,686	0,797	0,660	0,691	0,790	0,531
	6	D	0,792	1,021	0,896	0,872	0,612	0,578	0,624	0,577
	6	E	0,649	1,243	0,937	0,844	0,566	0,564	0,607	0,566
	6	F	0,940	0,947	0,917	0,925	0,566	0,597	0,605	0,596
	6	G	0,684	0,993	0,933	0,817	0,583	0,600	0,638	0,615
D	6	H	0,741	0,923	0,747	0,784	0,579	0,609	0,674	0,586
	7	E	2,148	2,203	2,532	2,206	2,201	2,103	1,868	1,443
	7	G	1,699	1,932	2,703	2,262	2,181	2,131	1,894	1,492
	7	I	1,659	2,005	2,468	2,225	2,134	2,113	1,880	1,405
	8	A	1,064	2,256	2,333	2,196	2,084	2,023	1,758	1,339
	8	C	2,570	1,889	2,464	2,143	1,994	1,969	1,775	1,412
	8	F	2,006	1,620	2,672	2,168	2,044	2,015	1,824	1,372
	8	I	1,864	1,896	2,592	2,209	2,114	2,089	1,839	1,383
	9	D	2,268	2,723	2,430	2,050	1,976	2,028	1,817	1,391
	9	E	2,208	2,649	2,481	2,203	2,048	1,997	1,841	1,451
	9	F	1,605	2,647	2,548	1,996	1,899	1,838	1,763	1,368
	9	G	1,876	2,293	2,341	2,109	2,012	2,011	1,794	1,379
	9	I	1,572	1,933	2,355	2,083	2,023	1,959	1,775	1,381
	10	A	0,947	1,975	2,404	2,010	1,942	2,005	1,778	1,367
	10	B	1,683	2,214	2,639	2,168	2,027	1,960	1,740	1,363
	10	C	1,643	2,289	2,491	2,050	2,071	2,087	1,917	1,428
	10	E	2,049	2,031	2,326	2,059	2,043	1,988	1,880	1,372
	10	H	1,820	1,692	2,533	2,219	2,127	2,108	1,875	1,434
	10	I	1,509	1,697	2,331	2,065	2,048	2,049	1,777	1,358
E	1	A	1,274	1,455	1,929	1,722	1,525	1,381	1,257	1,016
	1	D	1,558	1,464	1,781	1,623	1,521	1,351	1,271	1,058
	1	E	1,622	1,571	1,791	1,713	1,487	1,367	1,249	1,051
	1	F	1,257	1,435	2,001	1,673	1,535	1,394	1,271	1,068
	2	C	1,363	1,334	1,650	1,671	1,475	1,392	1,237	1,074
	2	G	1,201	1,537	1,512	1,569	1,469	1,395	1,192	1,021
	2	I	1,283	1,563	1,432	1,641	1,527	1,414	1,243	1,082
	3	A	1,673	1,541	1,885	1,744	1,593	1,472	1,306	1,112
	3	E	1,702	1,268	1,838	1,701	1,530	1,388	1,256	1,056
	3	F	1,796	1,292	1,934	1,754	1,621	1,447	1,309	1,123
	3	G	1,567	1,627	1,811	1,765	1,611	1,477	1,326	1,080
	3	H	0,646	1,488	1,816	1,847	1,597	1,467	1,315	1,112
	8	G	1,564	1,759	1,846	1,826	1,582	1,449	1,338	1,154
	8	H	1,383	1,601	1,811	1,745	1,609	1,488	1,187	1,129
	9	A	1,133	1,923	2,177	1,963	1,690	1,522	1,329	1,114
	9	H	1,585	1,826	2,322	1,928	1,615	1,510	1,349	1,150

Figura 67: Diagrama de distribuição espacial do TR para 1000 Hz para a configuração de janelas e cortinas fechadas.

Figura 68: Diagrama de distribuição espacial do TR para 1000 Hz para a configuração de janela fechada e cortina aberta.

As faixas de valores (mínimo e máximo) nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos, por banda de oitava, do TR, aplicando-se o procedimento que consta no capítulo 6.5, encontram-se a Tabela 20:

Tabela 20: Indicativo de faixas de valores do TR nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos.

Frequência	63 Hz		125 Hz		250 Hz		500 Hz	
Faixa (s)	0,6	2,2	0,9	2,2	0,8	2,5	0,8	2,1
Frequência	1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz		8000 Hz	
Faixa (s)	0,6	2,0	0,6	2,0	0,6	1,8	0,6	1,4

Verificou-se que nas médias e altas frequências o limite mínimo de 0,6 s foi o mesmo e o limite máximo foi diminuindo quanto mais altas as frequências. Nas baixas frequências, houve aumento do limite mínimo em 125 Hz e aumento do limite máximo em 250 Hz. De uma banda de oitava para a outra, a diferença, quando existente, estava acima do JND, apresentado na Tabela 8.

Considerando-se os limites estabelecidos pela NBR 12179 (1992) de 0,4 s a 0,6 s, para 500 Hz, a faixa de operação aqui obtida, possui o limite mínimo maior que o limite máximo desta norma. Em relação aos limites estabelecidos por França (apud Zannin et al., 2013) de 0,4 s a 0,8 s (média aritmética entre 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz), Fukuchi e Ueno (2003) de 0,6 s (média aritmética entre 500 Hz e 1000 Hz), ANSI S 12.60 (2010) de 0,6 s (média aritmética entre 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz), e Great Britain Department for Education And Skills (2015) de menor do que 0,6 s (média aritmética entre 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz), os limites inferiores e superiores são maiores. Estes resultados são apresentados de forma gráfica na Figura 69.

Figura 69: Valores de TR obtidos neste estudo e estipulados por outras normas e pesquisas.

Legenda:

- NBR 12179;
- FRANÇA (apud ZANNIN et al., 2013);
- FUKUCHI e UENO (2003);
- ANSI S 12.60 (2010);
- Great Britain Department for Education And Skills (2015)

O TR mostra-se um parâmetro que responde mais sensivelmente à interferência do projetista como, por exemplo, quanto à seleção de materiais absorvedores, como pode ser observado comparando-se os diagramas de distribuição espacial com e sem cortinas. O projetista também consegue atuar por faixas de frequência ao considerar a variação da absorção sonora dos materiais.

Os resultados determinados pelos alunos indicam que os limites clássicos são mais conservadores e, tendem a valorizar salas mais “secas” (com menores tempos de reverberação) mesmo quando mobiliadas e desocupadas. Entretanto, salas mais “vivas” (com maiores tempos de

reverberação) também foram consideradas satisfatórias pelos usuários desta pesquisa.

7.3 EDT

Todos os valores de EDT, levando em conta, os pontos selecionados das salas de aula de todas as escolas, por banda de oitava e por configuração (janelas fechadas e cortinas fechadas; janelas fechadas e cortinas abertas) encontram-se na Tabela 21 e 22. Nas Figura 70 e 71 estão exemplificados para 1000 Hz, os diagramas de distribuição espacial do EDT. Para as demais bandas de frequências, exemplos de diagramas de distribuição espacial do EDT encontram-se no Anexo L. Percebe-se que o EDT é maior para a configuração de janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas, pois são salas que acabam sendo mais reverberantes.

Tabela 21: Valores de EDT para a configuração de janelas e cortinas fechadas.

Escola	Sala	Posição	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
A	9	I	1,781	1,300	1,138	0,981	0,938	0,926	0,841	0,729
	10	F	2,129	1,189	1,161	1,156	0,867	0,985	0,818	0,852
	11	I	2,060	1,255	1,114	1,134	1,020	1,014	0,901	0,723
B	1	E	1,162	1,336	0,950	0,611	0,433	0,514	0,596	0,557
	2	G	0,648	0,861	0,856	0,588	0,471	0,582	0,626	0,594
	3	A	0,676	0,708	0,975	0,585	0,507	0,489	0,567	0,497
	3	B	0,577	0,566	0,853	0,715	0,378	0,481	0,513	0,452
	3	E	0,659	0,767	1,195	0,842	0,497	0,544	0,567	0,516
	4	G	0,973	0,763	0,817	0,720	0,465	0,483	0,531	0,560
	4	H	0,894	0,663	0,880	0,589	0,489	0,447	0,517	0,538
	5	B	0,733	0,689	0,651	0,461	0,513	0,412	0,517	0,484
	5	D	0,934	0,886	0,700	0,688	0,509	0,509	0,591	0,505
	5	H	0,727	1,046	0,906	0,735	0,543	0,494	0,554	0,526
	5	I	0,734	0,849	0,740	0,847	0,474	0,494	0,626	0,550
	6	A	1,484	1,148	0,864	0,923	0,537	0,571	0,709	0,615
	6	B	1,354	1,073	0,735	0,672	0,486	0,605	0,745	0,662
	6	C	1,035	0,820	1,053	0,857	0,635	0,674	0,740	0,706
	6	E	1,122	1,341	1,020	0,978	0,545	0,606	0,697	0,714
	6	G	1,066	1,384	1,128	0,809	0,606	0,585	0,684	0,697
	6	I	1,480	1,323	1,128	0,955	0,654	0,621	0,686	0,653
	7	A	0,905	0,714	0,538	0,499	0,473	0,493	0,536	0,468
	7	E	0,859	0,533	0,590	0,592	0,449	0,522	0,549	0,537
	8	D	1,345	0,894	0,638	0,645	0,470	0,486	0,582	0,647
	8	E	0,762	0,605	0,684	0,680	0,521	0,521	0,628	0,575
C	1	B	2,101	1,946	1,483	1,300	1,108	1,133	0,847	0,746
	5	C	1,074	1,439	1,154	1,263	1,064	0,844	0,872	0,794
	5	E	1,768	1,608	1,546	1,183	1,241	1,037	0,949	0,721
	6	A	1,587	1,333	1,363	1,221	1,123	1,090	0,919	0,738
	6	B	1,351	1,850	1,350	1,273	1,222	1,048	0,904	0,753
	6	C	1,275	1,602	1,477	1,204	1,232	1,081	0,939	0,775
	6	D	1,523	1,218	1,430	1,242	1,322	1,052	0,897	0,789
	6	E	1,849	1,529	1,372	1,308	1,026	1,038	0,880	0,816
	6	F	1,480	0,970	1,170	1,142	1,209	1,002	0,919	0,654
	6	G	1,416	1,139	1,608	1,361	1,207	1,079	0,956	0,760
	6	H	1,413	1,618	1,573	1,102	1,209	1,080	0,983	0,860
	7	E	2,236	1,419	1,790	1,439	1,340	1,103	1,056	0,765
E	7	H	1,575	1,455	1,240	1,252	1,149	1,044	0,928	0,776
	1	A	0,880	1,585	2,153	1,145	1,188	1,007	0,905	0,811
	1	D	1,367	1,163	1,453	1,415	1,127	1,013	0,950	0,885
	1	E	0,144	1,219	1,720	0,964	1,092	1,058	0,822	0,831
	1	F	1,224	1,559	1,751	1,362	0,987	0,980	0,957	0,835
	2	C	0,912	1,732	1,260	1,309	1,137	1,027	1,016	0,827
	2	G	0,717	1,315	1,531	1,228	1,082	1,011	1,001	0,830
	2	I	1,332	1,333	1,607	1,344	1,109	1,119	0,955	0,729
	3	A	--	1,486	1,867	1,439	1,178	1,035	1,065	0,798
	3	E	1,630	1,466	1,832	1,351	1,036	1,072	0,978	0,898
	3	F	1,616	1,654	1,517	1,723	1,212	1,220	0,893	0,777
	3	G	1,362	1,539	1,506	1,072	1,265	1,047	0,996	0,945
	3	H	0,649	1,659	2,223	1,607	0,676	1,167	1,034	0,780
	8	G	0,906	1,016	1,662	1,194	1,204	1,085	0,971	0,858
	8	H	0,776	1,047	1,544	1,333	1,171	1,018	1,027	0,932
	9	A	1,070	1,991	2,471	1,444	0,982	1,199	1,076	0,822
	9	H	1,471	1,315	1,822	1,509	1,158	1,164	1,019	0,916

Tabela 22: Valores de EDT para a configuração de janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas.

Escola	Sala	Posição	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
A	9	I	1,781	1,300	1,138	0,981	0,938	0,926	0,841	0,729
	10	F	1,828	1,163	1,372	1,380	1,242	1,159	1,202	0,980
	11	I	1,465	1,465	1,182	1,425	1,205	1,366	1,295	1,047
B	1	E	1,328	1,445	0,959	0,732	0,527	0,564	0,687	0,625
	2	G	0,710	0,997	0,851	0,704	0,523	0,672	0,684	0,683
	3	A	0,735	0,762	0,976	0,950	0,464	0,425	0,486	0,493
	3	B	0,505	0,507	0,853	0,765	0,503	0,472	0,529	0,538
	3	E	0,815	1,161	1,100	0,843	0,560	0,635	0,626	0,572
	4	G	1,059	0,915	0,882	0,836	0,520	0,497	0,575	0,552
	4	H	0,939	0,679	0,794	0,641	0,537	0,633	0,646	0,594
	5	B	0,727	0,696	0,663	0,469	0,539	0,434	0,583	0,633
	5	D	1,176	0,864	0,662	0,781	0,621	0,614	0,641	0,614
	5	H	0,693	1,129	0,969	0,846	0,538	0,589	0,671	0,669
	5	I	0,882	0,845	0,742	0,838	0,519	0,600	0,608	0,611
	6	A	1,319	1,121	0,983	1,010	0,590	0,728	0,814	0,789
	6	B	1,329	1,119	0,688	1,002	0,436	0,678	0,804	0,759
	6	C	0,771	0,789	1,041	1,004	0,698	0,646	0,821	0,754
	6	E	0,890	1,365	1,039	1,094	0,632	0,689	0,752	0,748
	6	G	1,068	1,447	1,235	0,818	0,589	0,611	0,761	0,671
	6	I	1,457	1,383	1,139	1,146	0,733	0,670	0,788	0,705
	7	A	0,866	0,909	0,657	0,679	0,611	0,541	0,586	0,551
	7	E	0,923	0,522	0,618	0,598	0,511	0,610	0,709	0,665
	8	D	1,417	0,967	0,692	0,775	0,513	0,558	0,683	0,667
C	8	E	0,760	0,656	0,703	0,739	0,578	0,587	0,686	0,706
	1	B	1,478	1,792	1,827	1,672	1,317	1,044	0,981	0,897
	5	C	0,566	1,478	1,254	1,338	1,195	1,110	0,989	0,893
	5	E	1,892	1,697	1,440	1,530	1,383	1,173	1,099	0,866
	6	A	0,735	0,762	0,976	0,950	0,464	0,425	0,486	0,493
	6	B	0,505	0,507	0,853	0,765	0,503	0,472	0,529	0,538
	6	C	0,609	0,616	0,512	0,784	0,687	0,593	0,798	0,409
	6	D	0,628	1,073	0,746	0,774	0,513	0,595	0,594	0,591
	6	E	0,815	1,161	1,100	0,843	0,560	0,635	0,626	0,572
	6	F	0,396	0,815	0,792	0,905	0,549	0,492	0,589	0,588
	6	G	0,635	0,775	0,771	0,646	0,532	0,535	0,579	0,580
	6	H	0,830	1,395	1,011	0,735	0,451	0,577	0,577	0,553
	7	E	1,870	1,498	1,848	1,207	1,398	1,173	0,997	0,800
D	7	H	1,373	1,472	1,292	1,307	1,230	1,144	1,010	0,920
	7	E	1,635	1,576	2,721	2,063	1,930	1,934	1,682	1,345
	7	G	1,148	1,349	2,211	2,322	2,136	2,100	1,981	1,303
	7	I	1,098	1,488	2,455	2,262	2,211	2,148	1,821	1,349
	8	A	1,011	1,182	1,441	2,002	1,825	1,904	1,744	1,410
	8	C	0,479	1,804	1,832	1,913	2,280	1,719	1,692	1,218
	8	F	1,920	1,262	1,883	1,619	1,487	1,945	1,653	1,205
	8	I	1,424	1,493	2,596	2,322	2,091	1,987	1,750	1,391
	9	D	1,549	1,290	2,290	1,924	2,100	1,820	1,707	1,253
	9	E	2,083	1,459	2,093	1,402	2,130	1,957	1,726	1,319
	9	F	1,790	1,332	1,817	2,219	2,120	1,880	1,588	1,304
	9	G	1,579	1,552	2,194	2,055	1,951	2,002	1,767	1,413
	9	I	1,442	1,536	2,042	1,902	1,963	1,925	1,821	1,516
	10	A	0,983	1,362	1,625	2,146	2,045	1,741	1,652	1,248
	10	B	1,826	2,143	2,055	1,834	1,498	1,803	1,647	1,353
	10	C	1,123	1,938	1,650	1,902	2,115	2,183	1,866	1,282
	10	E	1,832	1,290	2,474	1,900	2,152	2,126	1,755	1,370
	10	H	1,521	1,710	2,197	2,015	2,123	2,240	1,848	1,404
	10	I	1,554	1,495	1,943	2,110	2,096	2,010	1,867	1,408
E	1	A	0,883	1,388	2,253	1,701	1,720	1,367	1,308	1,044
	1	D	1,211	1,191	1,670	1,863	1,434	1,377	1,118	1,043
	1	E	1,079	1,259	1,722	1,484	1,525	1,277	1,277	1,151
	1	F	1,170	1,464	1,597	1,685	1,585	1,423	1,268	0,997
	2	C	0,923	1,709	1,166	1,535	1,516	1,391	1,262	1,003
	2	G	0,575	1,283	1,509	1,906	1,452	1,240	1,184	0,941
	2	I	1,356	1,261	1,678	2,043	1,486	1,437	1,276	1,128
	3	A	0,869	1,409	1,993	1,844	1,567	1,352	1,215	1,050
	3	E	1,460	1,367	2,072	1,763	1,252	1,273	1,278	0,961
	3	F	1,287	1,493	1,655	1,800	1,517	1,409	1,229	1,022
	3	G	1,367	1,815	1,756	2,373	1,140	1,447	1,308	1,106
	3	H	0,597	1,693	1,478	1,738	1,679	1,467	1,372	1,121
	8	G	0,657	1,189	1,189	1,783	1,524	1,426	1,182	1,048
	8	H	1,021	0,849	1,661	1,830	1,456	1,453	1,379	1,027
	9	A	1,068	1,848	1,041	1,831	1,279	1,478	1,291	1,081
	9	H	1,470	1,406	1,969	1,687	1,540	1,341	1,291	1,107

Figura 70: Diagrama de distribuição espacial do EDT para 1000 Hz para a configuração de janelas e cortinas fechadas.

Figura 71: Diagrama de distribuição espacial do EDT para 1000 Hz para a configuração de janela fechada e cortina aberta.

As faixas de valores (mínimo e máximo) nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos, por banda de oitava, do EDT, aplicando-se o procedimento que consta no capítulo 6.5, encontram-se a Tabela 23.

Tabela 23: Indicativo de faixas de operação do EDT nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos.

Frequência	63 Hz		125 Hz		250 Hz		500 Hz	
Faixa (s)	0,6	1,8	0,7	1,8	0,7	1,2	0,6	2,1
Frequência	1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz		8000 Hz	
Faixa (s)	0,5	2,1	0,5	2,0	0,6	1,7	0,5	1,3

Verificou-se que os limites mínimos variaram de 0,5 s a 0,7 s. Essa diferença, quando existente, estava acima do JND, apresentado na Tabela 8. Nas baixas frequências, o maior limite máximo ocorreu em 250 Hz.

A faixa de aceitação determinada pelos alunos participantes desta pesquisa é mais larga que os limites estabelecidos por Bradley (apud LOSSO e VIVEIROS, 2004) de 0,5 s (média entre 500 Hz e 4000 Hz) e Arau (apud RIBEIRO, 2002) de $0,648 \text{ s} < \text{EDT mid} \leq 0,81 \text{ s}$ (para salas de conferência). Em relação aos limites estabelecidos pela ISO 3382-1 (2009) de 1,0 s a 3,0 s (média entre 500 Hz e 1000 Hz), os limites inferiores e superiores sugeridos por esta pesquisa são inferiores. Estes resultados são apresentados de forma gráfica na Figura 72.

Figura 72: Valores de EDT obtidos neste estudo e estipulados por outras normas e pesquisas.

Legenda: — Bradley (apud LOSSO e VIVEIROS, 2004);
 — Arau (apud RIBEIRO, 2002)
 — ISO 3382-1 (2009)

O EDT mostra-se um parâmetro que responde mais sensivelmente à interferência do projetista como, por exemplo, quanto à seleção de materiais absorvedores sonoros, como pode ser visto comparando-se os diagramas de distribuição espacial com e sem cortinas. O projetista também consegue atuar especificamente por faixas de frequência com suas decisões de projeto, se considerar a variação da absorção sonora dos materiais de revestimento por faixa de frequência.

Os resultados desta pesquisa indicam que os limites clássicos são mais conservadores, exceto quando comparado aos limites para auditório da ISO 3382-1 (2009).

7.4 Razão de graves

Os valores de razão de graves, levando em conta, os pontos selecionados das salas de aula de todas as escolas, por configuração (janelas fechadas e cortinas fechadas; janelas fechadas e cortinas abertas) encontram-se na Tabela 24 e 25. Os diagramas de distribuições espaciais do descritor BR não são apresentados uma vez que o *software* não gera diagramas para este descritor.

Tabela 24: Valores de BR para a configuração de janelas e cortinas fechadas.

Escola	Sala	Posição	BR
A	9	I	1,5
	10	F	1,6
	11	I	1,2
B	1	E	1,7
	2	G	1,3
	3	A	1,6
	3	B	1,2
	3	E	1,6
	4	G	1,4
	4	H	1,6
	5	B	1,3
	5	D	1,3
	5	H	1,1
	5	I	1,3
	6	A	1,5
	6	B	1,4
	6	C	1,5
	6	E	1,3
	6	G	1,5
	6	I	1,4
	7	A	1,3
	7	E	1,4
	8	D	1,4
	8	E	1,3
C	1	B	1,3
	5	C	1,3
	5	E	1,2
	6	A	1,3
	6	B	1,2
	6	C	1,5
	6	D	1,4
	6	E	1,6
	6	F	1,3
	6	G	1,4
	6	H	1,2
	7	E	1,4
	7	H	1,3
E	1	A	1,2
	1	D	1,3
	1	E	1,3
	1	F	1,3
	2	C	1,3
	2	G	1,2
	2	I	1,2
	3	A	1,3
	3	E	1,1
	3	F	1,2
	3	G	1,3
	3	H	1,3
	8	G	1,2
	8	H	1,2
	9	A	1,3
	9	H	1,4

Tabela 25: Valores de BR para a configuração de janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas.

Escola	Sala	Posição	BR
A	9	I	1,1
	10	F	1,2
	11	I	1,0
B	1	E	1,8
	2	G	1,4
	3	A	1,4
	3	B	1,1
	3	E	1,5
	4	G	1,4
	4	H	1,3
	5	B	1,3
	5	D	1,4
	5	H	1,4
	5	I	0,9
	6	A	1,4
	6	B	1,5
	6	C	1,6
	6	E	1,5
	6	G	1,4
	6	I	1,4
	7	A	1,2
	7	E	1,4
	8	D	1,4
	8	E	1,4
C	1	B	1,4
	5	C	1,2
	5	E	1,1
	6	A	1,4
	6	B	1,1
	6	C	1,1
	6	D	1,3
	6	E	1,5
	6	F	1,3
	6	G	1,4
	6	H	1,2
	7	E	1,2
	7	H	1,2
D	7	E	1,1
	7	G	1,0
	7	I	1,0
	8	A	1,1
	8	C	1,1
	8	F	1,0
	8	I	1,0
	9	D	1,3
	9	E	1,2
	9	F	1,3
	9	G	1,1
	9	I	1,0
	10	A	1,1
	10	B	1,2
	10	C	1,2
	10	E	1,1
	10	H	1,0
	10	I	1,0
E	1	A	1,0
	1	D	1,0
	1	E	1,1
	1	F	1,1
	2	C	0,9
	2	G	1,0
	2	I	0,9
	3	A	1,0
	3	E	1,0
	3	F	1,0
	3	G	1,0
	3	H	1,0
	8	G	1,1
	8	H	1,0
	9	A	1,1
	9	H	1,2

Na Tabela 26, foi determinada a faixa de valores (mínimo e máximo) nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos do parâmetro “Razão de Graves”, aplicando-se o procedimento que consta no capítulo 6.5,.

Tabela 26: Indicativo de faixa de operação do BR nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos.

Valor	Mínimo	Máximo
Faixa	1,0	1,5

A faixa de aceitação determinada pelos alunos participantes desta pesquisa é classificada entre as categorias “Boa”(1,05) e “Excelente”(1,27) em relação aos critérios estabelecidos por Beranek apud Leão (2005). Em relação aos limites estabelecidos por Ahnert e Schmidt (2006) de 0,9 a 1,0, a faixa desta pesquisa está deslocada para cima. Estes resultados são apresentados de forma gráfica na Figura 73.

Figura 73: Valores de BR obtidos neste estudo e estipulados por outras normas e pesquisas.

O BR mostra-se um parâmetro que responde à interferência do projetista como, por exemplo, quanto à seleção de materiais. Ele pode intervir na adequação do descritor, com suas decisões de projeto na escolha e posicionamento de materiais que atuem nas bandas de frequências graves

e médias. Entretanto, pois possui uma faixa de aceitação que é facilmente atendida pelas salas, conforme pode ser observado nas Tabelas 24 e 25.

Os resultados desta pesquisa indicam que os limites determinados pelos alunos participantes desta pesquisa estão mais próximos aos limites estabelecidos por Beranek (apud Leão, 2005) para música do que os de Ahnert e Schmidt para a fala.

7.5 *Tempo Central*

Os valores de T_s , levando em conta, os pontos selecionados das salas de aula de todas as escolas, por banda de oitava e por configuração (janelas fechadas e cortinas fechadas; janelas fechadas e cortinas abertas) encontram-se na Tabela 27 e 28. Nas Figura 74 e 75 estão exemplificados para 1000 Hz, os diagramas de distribuição espacial do T_s . Para as demais bandas de frequências, exemplos de diagramas de distribuição espacial do T_s encontram-se no Anexo M. Verificou-se que a distribuição espacial dos valores de T_s , na região ocupada pelos alunos, apresentam variações maiores que o JND entre os pontos da malha.

Tabela 27: Valores de Ts para a configuração de janelas e cortinas fechadas.

Escola	Sala	Posição	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
A	9	I	127,0	84,7	59,6	66,0	57,2	64,3	58,9	53,6
	10	F	94,7	89,6	101,9	87,4	60,0	65,9	59,7	53,2
	11	I	121,6	103,6	89,6	83,1	65,1	73,1	58,0	44,9
B	1	E	109,6	98,8	62,7	39,8	34,6	35,1	41,1	34,0
	2	G	89,2	83,2	81,3	52,0	31,9	44,5	49,0	45,1
	3	A	65,5	57,5	55,0	41,5	28,6	31,7	35,8	30,7
	3	B	50,7	31,8	42,5	36,8	21,4	23,4	24,3	23,8
	3	E	79,6	67,1	75,5	54,0	35,0	35,0	40,8	37,2
	4	G	91,5	81,8	75,1	52,7	33,1	34,9	41,0	40,4
	4	H	99,7	74,8	73,8	43,1	34,3	38,3	42,2	38,2
	5	B	60,6	34,0	37,5	25,4	20,7	16,8	22,4	31,4
	5	D	86,2	69,2	69,1	54,6	37,5	35,6	44,9	39,3
	5	H	86,1	91,6	74,1	58,5	38,5	38,6	46,3	40,1
	5	I	101,5	46,8	48,1	60,2	39,2	36,6	45,4	39,1
	6	A	89,4	95,3	71,5	69,6	33,4	41,4	47,7	42,9
	6	B	82,3	62,9	38,5	38,7	23,1	27,2	30,4	21,7
	6	C	89,0	85,7	85,3	59,2	34,1	35,6	43,5	40,8
	6	E	108,5	108,2	81,7	69,6	35,5	46,5	54,2	47,0
	6	G	104,7	105,2	95,5	58,2	41,0	47,1	56,4	50,0
	6	I	121,7	82,9	84,7	69,2	46,2	42,1	48,7	46,1
	7	A	57,1	53,0	39,2	33,4	23,6	30,4	33,0	28,7
	7	E	72,8	63,5	61,8	43,3	34,2	38,4	42,3	42,2
	8	D	115,7	83,8	66,7	45,3	33,0	39,6	45,8	44,5
	8	E	76,9	63,5	59,0	46,9	37,9	39,5	44,2	43,8
C	1	B	120,9	134,3	121,1	97,0	82,7	80,5	64,2	52,9
	5	C	65,6	96,4	110,9	100,6	79,6	65,3	61,1	53,9
	5	E	86,2	128,5	108,9	91,1	86,0	77,2	66,7	50,2
	6	A	98,9	107,4	104,2	83,5	73,7	70,6	59,4	44,7
	6	B	96,9	94,6	75,0	72,4	60,8	60,1	44,8	34,8
	6	C	68,2	113,8	129,5	87,1	71,6	68,7	59,9	49,5
	6	D	119,1	115,8	111,8	92,5	95,4	73,0	65,4	59,2
	6	E	141,2	137,4	107,9	86,7	66,6	49,0	54,1	45,2
	6	F	107,4	102,3	118,0	102,5	85,5	60,9	57,1	43,4
	6	G	111,0	96,4	123,2	96,7	86,6	83,4	67,3	57,6
	6	H	118,5	109,3	120,6	79,9	83,2	71,3	65,8	53,5
	7	E	158,1	137,6	122,9	102,9	88,8	84,6	70,2	58,9
	7	H	156,1	117,4	114,4	91,9	85,6	77,2	71,0	57,1
E	1	A	78,2	123,7	130,9	104,8	83,6	75,5	72,2	55,5
	1	D	79,1	92,0	115,3	101,9	84,3	78,1	65,5	65,2
	1	E	61,5	111,4	123,1	95,2	81,9	78,0	62,4	55,7
	1	F	70,2	110,2	131,6	92,1	80,3	73,9	70,4	63,5
	2	C	73,7	102,3	93,8	92,3	79,2	80,0	76,7	64,1
	2	G	53,7	117,3	102,4	69,9	72,6	78,4	72,9	59,4
	2	I	61,7	124,4	117,0	89,3	80,1	81,1	68,2	55,7
	3	A	0,0	82,4	124,2	98,9	87,4	80,1	77,3	63,7
	3	E	91,9	125,6	127,4	96,9	75,8	74,0	71,1	58,1
	3	F	89,9	92,4	130,3	112,8	85,6	87,0	72,0	56,2
	3	G	115,5	80,2	121,1	103,9	81,6	81,3	74,9	67,4
	3	H	81,7	105,5	139,8	103,3	80,5	85,3	74,7	66,4
	8	G	69,1	94,2	113,8	95,2	88,2	79,8	70,1	60,6
	8	H	62,5	96,7	120,3	93,1	85,1	71,5	76,3	67,5
	9	A	96,5	138,0	138,0	94,0	89,4	85,8	78,3	61,2
	9	H	87,0	103,7	134,6	103,4	94,2	89,7	75,8	68,1

Tabela 28: Valores de Ts para a configuração de janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas.

Escola	Sala	Posição	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
A	9	I	132,8	98,3	103,9	82,6	91,6	98,1	93,2	79,0
	10	F	100,0	88,6	112,7	98,7	85,6	87,1	87,8	73,6
	11	I	121,8	116,1	95,1	101,8	83,8	82,5	84,4	68,6
B	1	E	110,9	109,1	67,7	47,0	38,8	42,3	51,4	40,0
	2	G	90,1	83,8	84,0	57,6	36,3	47,8	52,4	50,0
	3	A	64,8	59,6	59,3	56,8	32,3	30,7	29,2	26,4
	3	B	51,0	30,5	45,2	40,1	21,8	23,3	28,1	31,3
	3	E	73,4	78,1	72,6	57,7	42,4	42,1	45,3	41,6
	4	G	97,1	86,9	82,5	62,0	37,7	37,7	45,4	40,1
	4	H	99,5	74,5	68,0	52,8	38,6	44,1	47,6	47,7
	5	B	60,1	33,3	37,8	27,0	23,7	17,5	23,6	40,3
	5	D	173,3	70,7	64,6	54,0	39,4	42,7	48,1	44,2
	5	H	101,2	105,2	80,7	67,5	42,4	45,5	51,0	46,2
	5	I	109,2	46,4	49,7	64,1	40,8	40,8	47,9	43,3
	6	A	83,3	94,4	72,9	72,4	39,4	51,2	54,4	46,5
	6	B	78,3	61,3	39,2	42,9	24,9	29,8	34,1	24,4
	6	C	103,3	84,9	83,7	62,5	37,7	39,4	49,9	50,0
	6	E	109,9	109,0	85,3	75,3	40,5	51,8	58,5	53,1
	6	G	102,9	107,9	98,9	63,6	45,4	50,8	60,8	51,1
	6	I	113,6	87,8	90,7	82,8	50,2	47,4	56,2	53,9
	7	A	56,7	59,2	50,8	35,5	30,8	31,8	35,6	28,4
	7	E	72,1	64,0	63,8	47,8	40,2	45,8	49,4	49,6
	8	D	116,7	88,0	71,0	50,6	35,7	45,5	53,2	44,8
C	8	E	78,0	64,9	60,6	50,1	37,4	44,1	51,4	47,5
	1	B	88,9	135,5	138,4	120,7	90,0	78,6	74,2	61,1
	5	C	66,1	105,6	116,1	103,1	96,4	79,6	67,0	58,7
	5	E	85,6	134,9	112,1	97,8	92,0	84,6	73,3	65,5
	6	A	64,8	59,6	59,3	56,8	32,3	30,7	29,2	26,4
	6	B	51,0	30,5	45,2	40,1	21,8	23,3	28,1	31,3
	6	C	35,2	49,1	47,0	42,7	41,9	34,4	45,5	23,5
	6	D	74,7	80,8	66,9	66,3	36,8	43,4	42,0	39,4
	6	E	73,4	78,1	72,6	57,7	42,4	42,1	45,3	41,6
	6	F	81,0	74,9	62,9	62,8	31,2	33,0	38,0	29,8
	6	G	89,8	69,4	59,7	56,8	38,9	39,7	44,0	39,4
	6	H	100,3	96,1	80,8	53,4	32,9	41,6	45,3	42,8
D	7	E	124,7	133,4	136,9	107,6	94,5	87,1	73,0	63,8
	7	H	134,7	121,9	118,4	99,2	93,0	87,7	74,5	68,7
	7	E	139,1	121,4	183,1	146,1	147,6	147,5	123,5	104,4
	7	G	101,8	96,3	185,2	150,8	137,1	157,8	143,1	99,7
	7	I	99,9	105,8	170,0	161,0	158,2	146,0	123,5	90,7
	8	A	105,6	107,7	153,2	153,9	131,9	140,2	127,3	97,7
	8	C	113,8	111,1	161,5	152,4	148,2	134,8	116,3	86,0
	8	F	139,9	90,5	135,7	124,3	141,4	138,3	121,3	93,7
	8	I	119,5	114,5	150,3	174,7	162,5	143,5	127,9	101,7
	9	D	146,1	115,2	157,6	164,3	141,4	138,1	127,0	99,2
	9	E	122,9	105,9	139,3	128,3	160,1	151,3	130,1	98,8
	9	F	118,6	102,1	137,8	153,9	140,1	138,0	121,8	94,1
	9	G	120,1	125,6	139,7	158,1	147,4	143,1	130,4	97,9
	9	I	112,6	81,9	120,9	139,7	150,8	139,4	128,9	105,8
	10	A	88,0	91,3	159,9	162,1	140,8	128,2	120,6	90,1
	10	B	118,0	119,3	173,9	124,4	131,1	124,6	116,3	92,2
	10	C	100,0	96,1	172,0	153,0	154,0	148,6	134,8	97,9
	10	E	134,6	131,7	182,1	127,4	142,3	155,1	129,0	98,7
	10	H	129,7	125,8	157,8	130,9	146,2	155,2	130,9	105,8
	10	I	131,3	123,3	133,8	166,7	137,2	140,3	134,7	98,4
E	1	A	75,3	116,0	135,1	124,4	113,2	103,2	94,8	79,7
	1	D	82,4	93,2	121,6	122,1	119,5	99,3	85,4	79,0
	1	E	64,7	111,7	126,0	109,5	113,7	96,4	95,3	80,7
	1	F	79,6	109,5	120,7	123,7	121,4	104,2	87,8	77,1
	2	C	74,6	101,1	102,5	112,4	108,8	99,8	94,7	81,5
	2	G	49,3	115,7	116,0	102,4	99,4	95,5	84,2	74,3
	2	I	57,3	122,0	130,0	114,5	113,6	107,8	93,4	79,6
	3	A	65,0	78,8	129,8	123,4	113,1	102,9	89,7	77,9
	3	E	103,1	123,3	139,0	114,4	96,4	95,7	91,4	72,6
	3	F	92,9	86,0	138,9	134,3	108,1	107,0	93,3	75,8
	3	G	105,6	80,4	132,2	114,2	106,2	108,3	95,7	79,3
	3	H	79,0	109,7	143,8	126,0	121,3	110,5	91,5	75,9
	8	G	61,4	104,2	118,7	124,1	112,6	103,0	85,8	71,0
	8	H	77,4	84,2	139,6	132,4	104,2	106,8	100,3	79,5
	9	A	95,6	131,8	143,6	119,6	114,7	110,3	96,2	76,5
	9	H	86,2	105,5	143,3	125,8	123,5	98,9	95,5	84,3

Figura 74: Diagrama de distribuição espacial do T_s para 1000 Hz para a configuração de janelas e cortinas fechadas.

Figura 75: Diagrama de distribuição espacial do EDT para 1000 Hz para a configuração de janela fechada e cortina aberta.

As faixas de valores (mínimo e máximo) nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos, por banda de oitava, do Ts, aplicando-se o procedimento que consta no capítulo 6.5, encontram-se a Tabela 29:

Tabela 29: Indicativo de faixas de operação do Ts nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos.

Frequência	63 Hz		125 Hz		250 Hz		500 Hz	
Faixa (ms)	60	135	50	130	50	160	40	150
Frequência	1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz		8000 Hz	
Faixa (ms)	25	145	35	145	35	125	30	90

Verificou-se que os limites mínimos e máximos tenderam a diminuir com o aumento das frequências. De uma banda de oitava para a outra, a diferença dos limites mínimos entre si e dos limites máximos entre si, quando existentes, estavam acima do JND, apresentado na Tabela 8.

Em todas as bandas de oitava, os limites determinados pelos alunos participantes desta pesquisa possuem valores menores do que 80 ms conforme aqueles estabelecidos por Ribeiro (2002). Já em relação aos limites estabelecidos pela ISO 3382-1 (2009) de 60 ms a 260 ms (média de 500 Hz a 1000 Hz), os limites inferiores e superiores desta pesquisa são menores. Estes resultados são apresentados de forma gráfica na Figura 76.

Figura 76: Valores de T_s obtidos neste estudo e estipulados por outras normas e pesquisas.

Legenda: — Ribeiro (2002); — ISO 3382-1 (2009)

O T_s mostra-se um parâmetro que responde às intervenções do projetista como, por exemplo, quanto à seleção de materiais, pois trabalhando com a absorção sonora, o projetista consegue ajustar este parâmetro.

Os resultados desta pesquisa indicam que os limites definidos pela mesma são mais tolerantes que o de Ribeiro (2002) mas, menos tolerantes que os da ISO 3382-1 (2009).

7.6 Definição

Os valores de D_{50} , levando em conta, os pontos selecionados das salas de aula de todas as escolas, por banda de oitava e por configuração (janelas fechadas e cortinas fechadas; janelas fechadas e cortinas abertas)

encontram-se na Tabela 30 e 31. Nas Figura 77 e 78 estão exemplificados para 1000 Hz, os diagramas de distribuição espacial do D_{50} . Para as demais bandas de frequências, exemplos de diagramas de distribuição espacial do D_{50} encontram-se no Anexo N.

Figura 77: Diagrama de distribuição espacial do D_{50} para 1000 Hz para a configuração de janelas e cortinas fechadas.

Figura 78: Diagrama de distribuição espacial do D_{50} para 1000 Hz para a configuração de janela fechada e cortina aberta.

Tabela 30: Valores de D_{50} para a configuração de janelas e cortinas fechadas.

Escola	Sala	Posição	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
A	9	I	0,48	0,55	0,64	0,57	0,61	0,56	0,57	0,62
	10	F	0,56	0,48	0,37	0,42	0,59	0,55	0,59	0,64
	11	I	0,52	0,41	0,38	0,50	0,55	0,50	0,61	0,71
B	1	E	0,39	0,43	0,55	0,78	0,80	0,75	0,69	0,75
	2	G	0,38	0,49	0,30	0,59	0,78	0,69	0,60	0,64
	3	A	0,55	0,69	0,60	0,66	0,81	0,78	0,75	0,80
	3	B	0,76	0,85	0,75	0,78	0,88	0,84	0,83	0,85
	3	E	0,47	0,52	0,54	0,65	0,76	0,77	0,70	0,74
	4	G	0,45	0,45	0,41	0,67	0,77	0,78	0,71	0,66
	4	H	0,24	0,51	0,51	0,73	0,79	0,74	0,71	0,74
	5	B	0,57	0,82	0,74	0,85	0,85	0,90	0,85	0,77
	5	D	0,38	0,59	0,46	0,50	0,71	0,75	0,66	0,71
	6	E	0,25	0,42	0,55	0,60	0,74	0,72	0,65	0,71
	5	H	0,25	0,42	0,55	0,60	0,74	0,72	0,65	0,71
	5	I	0,18	0,70	0,76	0,55	0,76	0,72	0,68	0,72
	6	A	0,61	0,34	0,45	0,52	0,80	0,72	0,65	0,64
	6	B	0,67	0,62	0,79	0,78	0,85	0,80	0,77	0,85
	6	C	0,66	0,38	0,41	0,60	0,80	0,77	0,70	0,74
	6	E	0,41	0,38	0,45	0,58	0,77	0,66	0,60	0,66
	6	G	0,42	0,38	0,37	0,62	0,69	0,66	0,57	0,63
	6	I	0,38	0,58	0,51	0,51	0,66	0,69	0,65	0,66
	7	A	0,78	0,74	0,74	0,80	0,84	0,80	0,78	0,83
	7	E	0,61	0,40	0,41	0,70	0,80	0,71	0,68	0,72
	8	D	0,22	0,36	0,50	0,70	0,79	0,73	0,66	0,65
	8	E	0,53	0,61	0,49	0,58	0,73	0,72	0,66	0,70
C	1	B	0,41	0,35	0,27	0,46	0,45	0,46	0,53	0,64
	5	C	0,66	0,49	0,31	0,35	0,49	0,55	0,54	0,60
	5	E	0,60	0,27	0,40	0,40	0,43	0,48	0,52	0,65
	6	A	0,51	0,38	0,45	0,48	0,50	0,53	0,59	0,70
	6	B	0,45	0,55	0,57	0,56	0,63	0,60	0,69	0,74
	6	C	0,70	0,44	0,31	0,44	0,56	0,57	0,59	0,63
	6	D	0,40	0,19	0,36	0,43	0,41	0,54	0,54	0,55
	6	E	0,35	0,25	0,36	0,47	0,55	0,67	0,61	0,67
	6	F	0,55	0,29	0,28	0,30	0,44	0,60	0,60	0,68
	6	G	0,48	0,41	0,40	0,41	0,46	0,43	0,52	0,57
	6	H	0,41	0,37	0,33	0,44	0,46	0,51	0,55	0,62
	7	E	0,33	0,23	0,43	0,41	0,45	0,42	0,52	0,57
	7	H	0,22	0,21	0,23	0,45	0,49	0,49	0,48	0,59
D	1	A	0,54	0,31	0,30	0,34	0,46	0,48	0,45	0,60
	1	D	0,63	0,52	0,44	0,43	0,41	0,45	0,56	0,53
	1	E	0,71	0,31	0,33	0,44	0,45	0,47	0,59	0,60
	1	F	0,61	0,45	0,30	0,46	0,47	0,51	0,53	0,54
	2	C	0,62	0,54	0,51	0,47	0,46	0,47	0,48	0,52
	2	G	0,66	0,29	0,46	0,62	0,55	0,50	0,50	0,59
	3	A	0,50	0,52	0,38	0,42	0,42	0,50	0,48	0,54
	3	E	0,55	0,32	0,35	0,42	0,49	0,55	0,54	0,61
	3	F	0,57	0,59	0,32	0,34	0,48	0,43	0,49	0,60
	3	G	0,28	0,58	0,34	0,37	0,51	0,45	0,49	0,52
	3	H	0,52	0,43	0,34	0,41	0,54	0,45	0,52	0,57
	8	G	0,64	0,32	0,38	0,50	0,43	0,45	0,52	0,58
	8	H	0,60	0,37	0,40	0,54	0,48	0,54	0,48	0,51
	9	A	0,52	0,32	0,28	0,53	0,43	0,45	0,48	0,59
	9	H	0,48	0,48	0,32	0,42	0,40	0,41	0,48	0,48

Tabela 31: Valores de Ts para a configuração de janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas.

Escola	Sala	Posição	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
A	9	I	0,38	0,53	0,35	0,55	0,40	0,37	0,40	0,43
	10	F	0,55	0,50	0,35	0,41	0,47	0,46	0,39	0,51
	11	I	0,53	0,33	0,40	0,41	0,47	0,50	0,48	0,58
B	1	E	0,39	0,39	0,52	0,73	0,75	0,70	0,62	0,73
	2	G	0,38	0,51	0,27	0,55	0,76	0,67	0,61	0,61
	3	A	0,54	0,69	0,57	0,58	0,78	0,82	0,81	0,83
	3	B	0,77	0,87	0,72	0,74	0,87	0,85	0,81	0,77
	3	E	0,51	0,48	0,54	0,59	0,69	0,70	0,66	0,71
	4	G	0,45	0,44	0,38	0,62	0,74	0,75	0,69	0,72
	4	H	0,23	0,53	0,55	0,62	0,75	0,67	0,66	0,66
	5	B	0,58	0,82	0,75	0,85	0,83	0,89	0,84	0,71
	5	D	0,34	0,57	0,57	0,60	0,73	0,67	0,63	0,69
	5	H	0,22	0,35	0,53	0,54	0,72	0,67	0,60	0,67
	5	I	0,17	0,70	0,74	0,52	0,74	0,70	0,65	0,69
	6	A	0,63	0,38	0,46	0,50	0,73	0,62	0,61	0,67
	6	B	0,67	0,64	0,78	0,75	0,87	0,80	0,74	0,82
	6	C	0,61	0,39	0,44	0,61	0,75	0,74	0,65	0,64
	6	E	0,35	0,40	0,42	0,54	0,73	0,64	0,56	0,60
	6	G	0,41	0,37	0,38	0,58	0,68	0,66	0,57	0,62
	6	I	0,36	0,56	0,47	0,46	0,64	0,65	0,59	0,58
	7	A	0,75	0,69	0,65	0,78	0,77	0,78	0,76	0,82
	7	E	0,62	0,42	0,39	0,69	0,73	0,66	0,65	0,65
	8	D	0,22	0,34	0,45	0,64	0,75	0,68	0,63	0,64
	8	E	0,53	0,61	0,51	0,58	0,74	0,70	0,60	0,67
C	1	B	0,47	0,32	0,22	0,34	0,44	0,49	0,46	0,56
	5	C	0,66	0,45	0,32	0,31	0,35	0,45	0,56	0,56
	5	E	0,60	0,24	0,37	0,37	0,42	0,47	0,52	0,54
	6	A	0,54	0,69	0,57	0,58	0,78	0,82	0,81	0,83
	6	B	0,77	0,87	0,72	0,74	0,87	0,85	0,81	0,77
	6	C	1,00	0,72	0,66	0,67	0,71	0,77	0,68	0,86
	6	D	0,49	0,57	0,59	0,45	0,75	0,69	0,68	0,72
	6	E	0,51	0,48	0,54	0,59	0,69	0,70	0,66	0,71
	6	F	0,52	0,54	0,59	0,64	0,77	0,81	0,73	0,79
	6	G	0,34	0,50	0,61	0,65	0,75	0,74	0,69	0,72
	6	H	0,23	0,36	0,43	0,68	0,81	0,69	0,69	0,69
	7	E	0,44	0,29	0,35	0,33	0,41	0,45	0,51	0,52
	7	H	0,23	0,17	0,23	0,42	0,39	0,42	0,46	0,48
D	7	E	0,40	0,30	0,28	0,35	0,29	0,26	0,36	0,36
	7	G	0,43	0,49	0,23	0,31	0,37	0,25	0,29	0,39
	7	I	0,44	0,45	0,27	0,26	0,32	0,33	0,36	0,48
	8	A	0,42	0,44	0,25	0,27	0,36	0,31	0,32	0,38
	8	C	0,54	0,57	0,29	0,20	0,30	0,33	0,39	0,46
	8	F	0,47	0,55	0,36	0,37	0,30	0,30	0,33	0,43
	8	I	0,39	0,40	0,42	0,25	0,23	0,27	0,35	0,38
	9	D	0,29	0,34	0,32	0,20	0,35	0,33	0,33	0,38
	9	E	0,47	0,42	0,38	0,33	0,28	0,25	0,30	0,39
	9	F	0,51	0,45	0,28	0,32	0,32	0,29	0,35	0,41
	9	G	0,40	0,29	0,41	0,22	0,27	0,31	0,30	0,43
	9	I	0,48	0,67	0,53	0,32	0,25	0,29	0,34	0,37
	10	A	0,51	0,60	0,21	0,27	0,35	0,37	0,35	0,44
	10	B	0,45	0,45	0,16	0,37	0,34	0,36	0,36	0,46
	10	C	0,58	0,66	0,30	0,30	0,28	0,33	0,32	0,42
	10	E	0,45	0,18	0,23	0,40	0,33	0,26	0,33	0,41
	10	H	0,27	0,24	0,32	0,39	0,31	0,26	0,33	0,35
	10	I	0,33	0,33	0,37	0,26	0,36	0,34	0,31	0,39
E	1	A	0,56	0,31	0,31	0,31	0,40	0,37	0,41	0,44
	1	D	0,63	0,52	0,44	0,41	0,29	0,40	0,46	0,48
	1	E	0,67	0,32	0,32	0,39	0,35	0,41	0,42	0,46
	1	F	0,56	0,44	0,31	0,35	0,31	0,35	0,46	0,50
	2	C	0,62	0,53	0,45	0,39	0,39	0,42	0,42	0,42
	2	G	0,69	0,27	0,35	0,44	0,43	0,40	0,46	0,46
	2	I	0,66	0,25	0,22	0,39	0,34	0,34	0,43	0,49
	3	A	0,61	0,55	0,38	0,36	0,34	0,41	0,43	0,45
	3	E	0,45	0,33	0,32	0,39	0,42	0,43	0,42	0,49
	3	F	0,56	0,61	0,28	0,28	0,40	0,37	0,41	0,50
	3	G	0,35	0,61	0,33	0,41	0,41	0,36	0,42	0,48
	3	H	0,52	0,41	0,30	0,37	0,35	0,38	0,47	0,51
	8	G	0,65	0,33	0,43	0,37	0,37	0,42	0,50	0,54
	8	H	0,58	0,50	0,27	0,31	0,42	0,37	0,39	0,47
	9	A	0,53	0,32	0,26	0,45	0,32	0,35	0,40	0,52
	9	H	0,51	0,50	0,29	0,32	0,31	0,41	0,40	0,46

Verificou-se que a distribuição espacial dos valores de D_{50} , na região ocupada pelos alunos, apresentam variações maiores que o JND entre os pontos da malha. As faixas de valores (mínimo e máximo) nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos, por banda de oitava, do D_{50} , aplicando-se o procedimento que consta no capítulo 6.5, encontram-se a Tabela 32:

Tabela 32: Indicativo de faixa de operação de D_{50} nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos.

Frequência	63 Hz		125 Hz		250 Hz		500 Hz	
Faixa (%)	0,25	1,00	0,29	0,87	0,27	0,79	0,31	1,00
Frequência	1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz		8000 Hz	
Faixa (%)	0,32	1,00	0,33	1,00	0,35	1,00	0,42	1,00

Verificou-se que de uma banda de oitava para a outra, a diferença entre os limites mínimos, quando existentes, estavam dentro do JND, somente para a banda de oitava de 8000 Hz, a diferença em relação à banda de oitava de 4000 Hz está acima do JND. Como quanto mais próximo de 1,00 melhor o parâmetro, para as bandas de oitava de 125 Hz e 250 Hz, foram considerados como limite máximo, o valor de 1,00, conforme a Tabela 33.

Tabela 33: Indicativo de faixas de operação de D_{50} nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos.

Frequência	63 Hz		125 Hz		250 Hz		500 Hz	
Faixa	0,25	1,00	0,29	1,00	0,27	1,00	0,31	1,00
Frequência	1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz		8000 Hz	

Em todas as bandas de oitava, os limites inferiores determinada pelos alunos participantes desta pesquisa, são menores que aqueles estabelecidos por ARAU (apud RIBEIRO, 2002) que partem de 0,65. Os valores estabelecidos por MARSHALL (apud ANSAY e ZANNIN, 2016) para razoável, bom e excelente partem de 0,39. Somente para a banda de oitava de 8000 Hz o limite mínimo sugerido por esta pesquisa foi maior. Estes resultados são apresentados de forma gráfica na Figura 79.

Figura 79: Valores de D_{50} obtidos neste estudo e estipulados por outras normas e pesquisas

Legenda: — MARSHALL (apud ANSAY e ZANNIN, 2016);
 — ARAU (apud RIBEIRO, 2002)

O D_{50} mostra-se um parâmetro pouco exigente, pois possui faixas de aceitação largas que são facilmente atendidas. Os resultados desta pesquisa indicam que os limites sugeridos por esta pesquisa são concordantes com os limites indicados pela literatura.

7.7 RASTI

Os valores de RASTI, levando em conta, os pontos selecionados das salas de aula de todas as escolas, por configuração (janelas fechadas e cortinas fechadas; janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas) encontram-se na Tabela 34 e 35. Os diagramas de distribuições espaciais do descritor STI, ilustrados pelas Figuras 80 e 81, são apresentados em substituição aos do RASTI uma vez que o *software* não gera diagramas para o RASTI, já que o RASTI é uma versão mais simplificada do STI.

Tabela 34: Valores de RASTI para a configuração de janelas e cortinas fechadas.

Escola	Sala	Posição	Configuração	RASTI
A	9	I	JF_CF	0,83
	10	F	JF_CF	0,83
	11	I	JF_CF	0,81
B	1	E	JF_CF	0,56
	2	G	JF_CF	0,56
	3	A	JF_CF	0,56
	3	B	JF_CF	0,56
	3	E	JF_CF	0,56
	4	G	JF_CF	1,00
	4	H	JF_CF	1,00
	5	B	JF_CF	1,00
	5	D	JF_CF	1,00
	6	E	JF_CF	0,56
	5	H	JF_CF	1,00
	5	I	JF_CF	1,00
	6	A	JF_CF	0,56
	6	B	JF_CF	0,56
	6	C	JF_CF	0,56
	6	E	JF_CF	0,56
	6	G	JF_CF	0,56
	6	I	JF_CF	0,56
	7	A	JF_CF	0,88
	7	E	JF_CF	0,56
	8	D	JF_CF	0,56
	8	E	JF_CF	0,56
C	1	B	JF_CF	0,77
	5	C	JF_CF	0,77
	5	E	JF_CF	0,78
	6	A	JF_CF	0,56
	6	B	JF_CF	0,56
	6	C	JF_CF	0,56
	6	D	JF_CF	0,56
	6	E	JF_CF	0,56
	6	F	JF_CF	0,56
	6	G	JF_CF	0,56
	6	H	JF_CF	0,56
	7	E	JF_CF	0,78
	7	H	JF_CF	0,79
E	1	A	JF_CF	0,75
	1	D	JF_CF	0,75
	1	E	JF_CF	0,76
	1	F	JF_CF	0,77
	2	B	JF_CF	0,75
	2	C	JF_CF	0,74
	2	G	JF_CF	0,81
	2	I	JF_CF	0,77
	3	A	JF_CF	0,76
	3	E	JF_CF	0,75
	3	F	JF_CF	0,75
	3	G	JF_CF	0,78
	3	H	JF_CF	0,76
	8	G	JF_CF	0,76
	8	H	JF_CF	0,78
	9	A	JF_CF	0,78
	9	H	JF_CF	0,76

Tabela 35: Valores de RASTI para a configuração de janelas fechadas e cortinas abertas ou sem cortinas.

Escola	Sala	Posição	RASTI
A	9	I	0,81
	10	F	0,80
	11	I	0,79
B	1	E	0,56
	2	G	0,56
	3	A	0,56
	3	B	0,56
	3	E	0,56
	4	G	1,00
	4	H	1,00
	5	B	1,00
	5	D	1,00
	5	H	1,00
	5	I	1,00
	6	A	0,56
	6	B	0,56
	6	C	0,56
	6	E	0,56
	6	G	0,56
	6	I	0,56
	7	A	0,56
	7	E	0,56
	8	D	0,56
	8	E	0,56
C	1	B	0,75
	5	C	0,78
	5	E	0,78
	6	A	0,56
	6	B	0,56
	6	C	0,56
	6	D	0,56
	6	E	0,56
	6	F	0,56
	6	G	0,56
	6	H	0,28
	7	E	0,77
	7	H	0,78
D	7	E	0,75
	7	G	0,76
	7	I	0,76
	8	A	0,75
	8	C	0,74
	8	F	0,78
	8	I	0,75
	9	D	0,73
	9	E	0,76
	9	F	0,75
	9	G	0,74
	9	I	0,75
	10	A	0,74
	10	B	0,78
	10	C	0,75
	10	E	0,77
	10	H	0,76
	10	I	0,74
E	1	A	0,74
	1	D	0,77
	1	E	0,77
	1	F	0,76
	2	C	0,74
	2	G	0,78
	2	I	0,76
	3	A	0,74
	3	E	0,74
	3	F	0,74
	3	G	0,77
	3	H	0,76
	8	G	0,76
	8	H	0,75
	9	A	0,76
	9	H	0,74

Figura 80: Diagrama de distribuição espacial do RASTI para a configuração de janelas e cortinas fechadas.

Figura 81: Diagrama de distribuição espacial do RASTI para a configuração de janela fechada e cortina aberta.

Na Tabela 36 foi determinada a faixa de de valores (mínimo e máximo) nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos, do parâmetro “RASTI”, aplicando-se o procedimento que consta no capítulo 6.5.

Tabela 36: Indicativo de faixa de operação do RASTI nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos.

Valor	Mínimo	Máximo
Faixa	0,6	1,0

A faixa de operação, determinada pelos alunos participantes desta pesquisa, está de acordo com as classificações sugeridas por Gade (2014) que categorizavam como “Bom” os valores de 0,60 à 0,75 e de “Excelente” os valores de RASTI maiores do que 0,75. Estes resultados são apresentados de forma gráfica na Figura 82.

Figura 82: Valores de RASTI obtidos neste estudo e estipulados por outras normas e pesquisas.

Ao levar em conta os aspectos da acústica de salas e a razão sinal/ruído, as decisões de projeto acabam por influenciar no RASTI, pois os parâmetros

de acústica de salas precisam ser atendidos juntamente com o desempenho acústico de vedações verticais e horizontais quanto à isolamento sonora e escolha de equipamentos menos ruidosos para que o ruído residual seja o mais baixo possível.

Os resultados desta pesquisa indicam que os limites obtidos por esta pesquisa estão concordantes com os limites estabelecidos por Gade (2014).

7.8 Síntese das faixas obtidas para os descritores acústicos

Na Tabela 37 estão listadas as faixas de operação (limites mínimos e máximos), determinadas pelos alunos participantes desta pesquisa, para salas de aula desocupadas e mobiliadas, dos descritores acústicos considerados relevantes para a melhoria do projeto acústico destes espaços.

Tabela 37: Indicativo de faixas de operação para salas de aula desocupadas e mobiliadas, nas posições consideradas satisfatórias pelos alunos participantes desta pesquisa.

Frequência (Hz)	63		125		250		500		1000		2000		4000		8000	
TR (s)	0,6	2,2	0,9	2,2	0,8	2,5	0,8	2,1	0,6	2,0	0,6	2,0	0,6	1,8	0,6	1,4
EDT (s)	0,6	1,8	0,7	1,8	0,7	1,2	0,6	2,1	0,5	2,1	0,5	2,0	0,6	1,7	0,5	1,3
Ts (ms)	60	135	50	130	50	160	40	150	25	145	35	145	35	125	30	90
RASTI	0,6 a 1,0															

8

"Education is the most powerful weapon
which you can use to change the world."

Nelson Mandela

Fonte: KEATING (apud FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO, 1998, P.135)

CAPÍTULO 8: Conclusões

Muitos dos descritores para qualidade acústica de salas foram inicialmente concebidos para a avaliação de espaços dedicados à música. Alguns estudos estabeleceram, adicionalmente, faixas de uso destes descritores para espaços destinados à fala como auditórios e salas de conferência. Entretanto, estes espaços possuem configurações diferentes e volumes maiores do que os de uma sala de aula, além de contarem com sistemas elétricos de amplificação. Faltavam estudos que estabelecessem faixas de operação dos descritores acústicos, além do classicamente utilizado “tempo de reverberação, TR”, no caso de salas de aula. Esta pesquisa contribuiu para diminuir esta lacuna ao sugerir faixas de operação de 6 descritores acústicos (TR, EDT, BR, Ts, D₅₀ e RASTI) e selecionar quais deste seriam mais impactados pelas decisões de projeto arquitetônico das salas de aula (TR, EDT, Ts e RASTI). Ressalta-se que estas faixas foram obtidas de uma amostra e, apesar de não poderem ser generalizadas, configuram um indicativo.

A pesquisa teve como abordagem o ponto de vista do usuário, ou seja, utilizou como evidência as respostas dos alunos ao questionário associado a valores determinados dos descritores acústicos. Assim, foram sugeridas faixas de operação de outros parâmetros acústicos, além do tempo de reverberação, para a obtenção de uma resposta de satisfação quanto à qualidade acústica das salas de aula. Os critérios estabelecidos foram baseados no conceito de desempenho e não de soluções prescritivas, como

receitas pré-estabelecidas, daí a importância do uso da simulação computacional para testar as soluções de projeto.

O recorte do estudo foi delimitado para usuários do 8º ano do ensino fundamental ao 3º ano do ensino médio, pela sua maturidade para responder ao questionário, mas isso não restringe o uso das faixas de parâmetros acústicos obtidas, somente para salas de aula destes grupos. O projeto de salas de aula do ensino infantil, dos primeiros anos do ensino fundamental e do ensino superior também podem se nortear por estes critérios, uma vez que o ouvido humano não sofre alterações nesse período, pois já está formado e a perda auditiva natural costuma se dar na velhice. Entretanto, caberiam estudos mais aprofundados, pois na educação infantil e nos primeiros anos do ensino fundamental, em que há a aquisição formal da linguagem escrita e falada, as faixas de operação dos parâmetros poderiam ser mais estreitas para mitigar riscos ao processo. Já no ensino superior, em que os processos cognitivos estão mais maduros, um estudo específico poderia confirmar se as faixas de operação permanecem as mesmas ou não.

Os parâmetros relacionados a “tempo” (TR, EDT, Ts) mostraram-se mais sensíveis à atuação do projetista quando da seleção de materiais do que os parâmetro “energético” D_{50} . Os parâmetros de tempo pareceram ter limites mais dificilmente atingidos também, necessitando de atenção por parte do projetista quanto ao comportamento, por bandas de frequência, dos materiais selecionados.

Com exceção do RASTI, cujas faixas de operação obtidas estavam concordantes com os da literatura, as faixas obtidas para os outros

parâmetros foram mais largas, isto é, menos exigentes que as faixas sugeridas pela literatura. Com esta maior tolerância, o projetista pode ter maior liberdade de atuação no projeto de salas de aula.

Colocar como meta aos projetistas um número maior de descritores, além dos classicamente utilizados em projetos acústicos, é uma forma de melhor garantir a qualidade acústica da sala de aula projetada. O fato de os limites sugeridos serem mais abrangentes que os classicamente considerados permite também uma maior flexibilidade para o projetista. Neste contexto, o uso de simulação computacional torna possível testar os vários descritores e sua distribuição espacial.

Como continuidade da pesquisa sugere-se verificar a interface dos resultados dos valores de medições nas posições ocupadas pelos alunos insatisfeitos. Isto poderia trazer um maior refinamento destas faixas sugeridas. Expandir a pesquisa, adicionando-se perguntas no questionário relacionadas à inteligibilidade da fala poderiam também trazer um maior refinamento das faixas sugeridas. Além disso, a presente pesquisa considerou o professor (fonte sonora) na posição mais tradicional adotada nestas escolas que é à frente da lousa em uma posição centralizada. Entretanto, para complementar o estudo, seria interessante verificar o comportamento do som nas salas de aula com o professor e alunos adotando outras posições, já que a introdução de novas tecnologias nas escolas e métodos pedagógicos que valorizam trabalhos colaborativos e em grupo tende a exigir arranjos espaciais mais flexíveis.

REFERÊNCIAS

ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA - ASA. **ANSI S12.60**. Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools. Melville, 2010.

ACRÓPOLE. São Paulo, nº3, jul 1938.

AHNERT W., SCHMIDT W. **Appendix to EASERA** Manual: Fundamentals to Perform Acoustical Measurements. – Berlin, 2006. – P. 1 – 53.

ALARCÃO, D.; FAFAIOL, C.A.; BENTO COELHO, J.L. Acústica de salas de aula. **XXIII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA**: anais. Salvador, 2010. 1 CD-ROM.

AMBROGI, I.H. Os projetos arquitetônicos das escolas integradas do século XX no Brasil. **Trama Interdisciplinar**, v.2, nº2, p.30-43, 2011. Disponível em: <<http://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/tint/article/viewFile/4417/3387>>. Acesso em: 15 abr. 2015.

AMORIM, S.V. **Instalações Prediais Hidráulico-Sanitárias**: Desempenho e Normalização. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Arquitetura e Planejamento, Curso de Pós Graduação em Arquitetura. São Carlos.

ANSAY, S.; ZANNIN, P.H.T. Using the parameters of definition, D50, and reverberation time, RT, to investigate the acoustic quality of classrooms. **Canadian Acoustics**. Vol. 44 No. 4, p.6-11, 2016.

ARAU, H. **ABC de La Acustica Arquitectónica**, CEAC, Espanha, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12179**. Tratamento acústico em recintos fechados - Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

AZEVEDO, G.A.N.; BASTOS, L.E.G.; BLOWER, H.S. Escolas de ontem, educação hoje: é possível atualizar usos em projetos padronizados? Anais: **III SEMINÁRIO PROJETER**, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <http://www.gae.fau.ufrj.br/arq_pdf/artigos/escola_ontem_edu_hj_gana_leo_hsb.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2015.

BARROS, I. A arquitetura da educação. SESI, SERVIÇO SOCIAL DA INDÚSTRIA DE SÃO PAULO, Setembro de 2015. Disponível em: <<http://www.sesisp.org.br/noticias/a-arquitetura-da-educacao>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

BASTOS, M.A.J.; A escola-parque: ou o sonho de uma educação completa (em edifícios modernos). **AU, Arquitetura e Urbanismo**, Edição 178, Janeiro de 2009. Disponível em: <<http://au.pini.com.br/arquiteturaurbanismo/178/artigo122877-1.aspx>>. Acesso em: 06 mar. 2015.

BERANEK, L. **Music, Acoustics & Architecture**. Londres: Wiley, 1962.

_____. **Concert hall and opera houses**. Music, Acoustics, and Architecture. New York: Springer.2003.

BERTOLI, S. R.; GOMES, M. H. A.. **Técnicas de Medição para Acústica de Salas**. [Material didático para o curso de extensão universitária. Adaptado da apostila do curso Técnicas de Medição em Acústica do professor Michael Vorländer, Alemanha]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2005. 66p.

BISTAFA, S.R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Blucher, 2006.

BISTAFA, S.R.; BRADLEY, J.S. Comparisons of computer simulations of acoustical conditions in classrooms. **Canadian Acoustics**, 1998; 26 (3): 21–22.

BOREN, B.; LONGAIR, M. A method for acoustic modeling of past soundscapes. The **Anais: Acoustics of Ancient Theatres Conference**, Patras, 2011.

BORK, I. A Comparison of Room Simulation Software – The 2nd Round Robin on Room Acoustical Computer Simulation. **Acta Acustica**, 2000; 86, 943-956.

BRADLEY, J.S. Predictors of Speech Intelligibility in Rooms. **Journal of the Acoustical Society of America**., 80 (3), p.837-845, 1986.

_____. Optimising Sound Quality for Classrooms. Anais: **XX Meeting of SOBRAC**, Rio de Janeiro, 2002.

_____. Does the Classroom Assist or Impede the Learning Process? **Canadian Association of Principals Journal**, 2005; 13 (1): 32-34.

BRÜEL & KJÆR. **Dirac Help**. DIRAC Type 7841, versão 6.0, Dinamarca, 2013.

_____. **Application Notes**: Measuring Speech Intelligibility using DIRAC Type 7841. Disponível em: <<https://www.bksv.com/doc/bo0521.pdf>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

BUCAK, T.; BAZIJANAC, E.; JURIČIĆ, B. Correlation between SIL and SII in a light aircraft cabin during flight. Proceedings: **Fourteenth International Congress on**

Sound and Vibration, Cairns, 2007. Disponível em: <https://www.acoustics.asn.au/conference_proceedings/ICSV14/papers/p441.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.

BUFFA, E.; PINTO, G.A. **Arquitetura e Educação**: organização do Espaço e Propostas Pedagógicas dos Grupos Escolares Paulistas (1893 – 1917). São Carlos: Brasília: EdUFSCar, INEP, 2002.

BURGESS, T.F. **A general introduction to the design of questionnaires for survey research**. Information Systems Services, Guide to the Design of Questionnaires. University of Leeds, 2001. Disponível em: < <http://iss.leeds.ac.uk/downloads/top2.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2016.

CAMPBELL, C.; NILSSON, E.; SVENSSON, C. The same reverberation time in two identical rooms does not necessarily mean the same levels of speech clarity and sound levels when we look at impact of different ceiling and wall absorbers. **Energy Procedia**, 2015; 78: 1635–1640.

CARTOON STOCK. **Classroom disruptions cartoon** 1. Disponível em: <http://www.cartoonstock.com/directory/c/classroom_disruptions.asp>. Acesso em: 2 dez. 2011.

CARVALHO, C. Escolas Sesi padrão vertical. **Infraestrutura urbana**, Edição 23, Novembro de 2012. Disponível em: <<http://www.sesisp.org.br/noticias/a-arquitetura-da-educacao>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

CARVALHO, I.C.. **Projeto Arquitetônico Escolar**: uma proposta voltada à Educação Ambiental. 2009. 227p. Trabalho Final de Graduação (TFG) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Pará

(FAU-UFPA). Pará, 2009. Disponível em: <<https://germinai.wordpress.com/textos-classicos-sobre-educacao/linha-historica-da-arquitetura-escolar-do-brasil/>>. Acesso em: 06 mar. 2015.

CHRISTENSEN, C.L.; RINDEL, J.H.. Predicting Acoustics in Class Rooms. **Proceedings: INTER NOISE 2005**, Rio de Janeiro, 2005.

CRANDELL, C.C.; SMALDINO, J.J. Classroom acoustics for children with normal hearing and with hearing impairment. **Language, speech, and hearing services in schools** 2000; 31: 362–370.

DELIBERADOR, M.S. **O processo de projeto da arquitetura escolar no Estado de São Paulo**: caracterização e oportunidades. 2010. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000776591&fd=y>> Acesso em: 13 mar. 2015.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG - DIN. **DIN E 18041**. Hörsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Räumen. Berlin, 2003.

DELIBERADOR, M.S.. ; KOWALTOWSKI, D.C.C.K. Os elementos de conforto no processo de projeto escolar no estado de São Paulo. Anais: **XI ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído e VII ELACAC Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, 2011, Búzios.

DFES, GREAT BRITAIN DEPARTMENT FOR EDUCATION AND SKILLS. **Acoustic design of schools: a design guide** (Building bulletin 93), Stationery Office, 2003.

DIAZ, C.; VELAZQUEZ, C. A live evaluation of RASTI-Method. **Applied Acoustics**, v. 46, n.1, p. 363-372, Jan. 199.5

ELALI, G.A. **Ambientes para educação infantil: Um quebra-cabeça? Contribuição metodológica na avaliação pós-ocupação de edificações e na elaboração de diretrizes para projetos arquitetônicos na área.** 2002. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16131/tde-10032010-141853/pt-br.php>>. Acesso em: 26 fev. 2013.

FIGUEIREDO, F.L. **Parâmetros Acústicos Subjetivos: Critérios para a Avaliação da Qualidade Acústica de Salas de Música.** 2005. Dissertação (Mestrado) – Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

FLORIN, E. Arquitetura paulista: do bloco único à grande cobertura. **Tópos**, v.5, nº1, p.173-184, 2011. Disponível em:<<http://revista.fct.unesp.br/index.php/topos/article/viewFile/2276/2082>>. Acesso em: 07 abr. 2015.

FUNDAÇÃO PARA O DESENVOLVIMENTO DA EDUCAÇÃO. **Arquitetura escolar e política educacional: os programas na atual administração do Estado.** São Paulo: FDE, p.59. Desenho de Vallandro Keating, 1998.

_____. (FDE, 2003). **Normas de apresentação de projetos de edificações** – Arquitetura e Paisagismo. CD-Rom, ISBN 85-87028-17-0, São Paulo.

FRANÇA, A.J.G.L. **Ambientes contemporâneos para o ensino - aprendizagem**: Avaliação Pós-Ocupação aplicada a três edifícios escolares públicos situados na região metropolitana de São Paulo. 2011. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP.

FUKUCHI, T.; UENO, K. Guidelines on acoustic treatments for school buildings proposed by the Architectural Institute of Japan. **Proceedings**: Proceeding of the International Congress of Acoustics, Kyoto, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268345588_Guidelines_on_acoustic_treatments_for_school_buildings_proposed_by>. Acesso em: 16 set. 2018.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Indústria automobilística**. Disponível em: <http://www.saopaulo.sp.gov.br/conhecasp/historia_republica-industria-automobilistica>. Acesso em: 02 abr. 2015.

GRAÇA, V.A.C.; KOWALTOWSKI, D.C.C.K.; PETRECHE, J.R.D. An evaluation method for school building design at the preliminary phase with optimisation of aspects of environmental comfort for the school system of the State São Paulo in Brazil. **Building and Environment** 2007;42:984–999.

GÜNTHER, H. Como elaborar um questionário. **Série: Planejamento de Pesquisa nas Ciências Sociais**, Universidade de Brasília, Instituto de Psicologia, Laboratório de Psicologia Ambiental, n. 1, 2003. Disponível em: <http://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/lapsam/Texto_11_Como_elaborar_um_questionario.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2016.

HUNECK. **Reverberation time**. Disponível em: <<https://www.hunecke.de/en/knowledge/room-acoustics/reverberation-time.html>>. Acesso em: 03 nov. 2018.

IAZZETTA, F.H ;FIGUEIREDO, F.L., MASIERO, B.S. Parâmetros Subjetivos em Salas Destinadas à Prática Musical. **Anais** do IV Congresso Ibero-Americano de Acústica, Guimarães, Portugal, pp 1-8, 2004.

IKEDA, C.Y.K.; ONO, R.; VITTORINO, F. Elaboração de questionário como ferramenta auxiliar na avaliação do conforto acústico em escolas. **Anais: ENTAC 2016**, São Paulo, 2016. Disponível em: <http://infohab.org.br/entac/2016/ENTAC2016_paper_324.pdf>. Acesso em: 28 dez. 2018.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Internacional Standard **IEC 60268-16 – Part 16**: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index. Genova: 2003, 3 ed.

IECC, Instituto de Educação Caetano de Campos. **História da escola**. Disponível em: <http://www.iecc.com.br/historia-da-escola/material-didaticos/202/o-feminino-e-o-masculino-na-escola>. Acesso em: 05 mar. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Sinopse Estatística da Educação Básica 2017**. Brasília: 2018. Disponível em: <<http://portal.inep.gov.br/sinopses-estatisticas-da-educacao-basica>>. Acesso em: 28/02/2018.

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

_____. **ISO 3382-3**: Acoustics -- Measurement of room acoustic parameters -- Part 3: Open plan offices. Suíça, 2012.

JOVIČIĆ, S.T. A relation between speech intelligibility and distribution of speech pressure about the head. Technical Note. **Applied Acoustics**, v.34, p. 51–59, 1991.

KAWAKITA, C.Y. **Medição do ruído de tráfego na rodovia SP 270 e avaliação da satisfação quanto ao conforto acústico de seus moradores**. 2008. 174 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-30052008-105650/pt-br.php>>. Acesso em: 25 out. 2018.

KON, N. **Escola de Guarulhos, Vilanova Artigas**, 1960. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.057/498>>. Acesso em: 21 jun. 2011.

KOWALTOWSKI, D.C.C.K., **Arquitetura Escolar**: o projeto do ambiente de ensino, Oficina de Textos, São Paulo, Brasil, 2011, p.272.

KRÜGER, E.L.; ZANNIN, P.H.T. Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms. **Building and Environment** 2004;39:1055–1063.

LAZARUS, H. New methods for describing and assessing direct speech communication under disturbing conditions. **Environment International**, v.16, p.373-392, 1990.

LEO, K. Speech intelligibility measurements in auditorium. **Acta Physica Polonica A**, v.118, p.110-114, 2010.

LOSSO, M.; VIVEIROS, E. Acoustical Quality in Educational Buildings: Measurements in Brazilian Public Schools. Proceedings: **Eleventh International Congress on Sound and Vibration**, St. Petersburg, 2004.

LUCCIA, O. **FDE – Escola Parque Dourado V / Apiacás Arquitetos**. Disponível em: <<http://www.archdaily.com.br/br/01-3326/fde-escola-parque-dourado-v-apiacas-arquitetos>>. Acesso em: 06 mar. de 2015

MACHADO, D. **Público e comunitário**: projeto arquitetônico como promotor do espaço de convivência. 2009. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade São Judas Tadeu, 2009. Disponível em: <http://www.usjt.br/biblioteca/mono_disser/mono_diss/119.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2011.

MARROS, F. **Caracterização acústica de salas para prática e ensino musical**. 2011. 148 p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgec/wp-content/uploads/DISSERTA%C3%87%C3%83O_FMARROS.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2013

MARSHALL, L.G. An acoustics measurement program for evaluating auditoriums based on the early/late sound energy ratio. **Journal of the Acoustical Society of America**, 96 (1994) 2251-2261.

MELLO, M.G. **Arquitetura escolar pública paulista**. Fundo Estadual de Construções Escolares – FECE: 1966-1976. 2012. 419 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da USP. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/.../dissertacao_mirela_original.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2015.

MEHTA, M.; JOHNSON, J.; ROCAFORD, J. **Architectural Acoustics: Principles and design**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999.

MONTEIRO, B.C. **Arquitetura escolar e qualidade ambiental**: Avaliação pós-ocupação em duas escolas de Volta Redonda – RJ - Instituto Educacional Professor Manoel Marinho e Centro Integrado de Educação Wladir de Souza Telles . 2009. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://fenix2.ufrj.br:8991/F/YUKPUCSRCUE13JKQ8B27J9IN7M13RB7NLKLCCKXR12E1YV1UX37806?func=fullsetset&set_number=655885&set_entry=000001&format=999#.UfvifpLVAwA>. Acesso em: 20 jul. 2013.

MULLER, S.; MASSARANI, P. Criação de varreduras com ênfase arbitrária. In: **Seminário de Engenharia de Áudio**, 2002, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SEMEA, 2002. 8p. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268419829_CRIACAO_DE_VARREDURAS_COM_ENFASE_ARBITRARIA >. Acesso em: 28 dez 2018.

NELSON, P.B.; SOLI, S.D.; SELTZ, A. **Classroom Acoustics II. Acoustical Barriers to Learning**. Technical Committee on Speech Communication of the Acoustical Society of America. 2002.

NILSSON, E. Room acoustic measures for classrooms. **Proceedings**: INTER NOISE 2010, Lisboa, 2010. Disponível em: <<http://www.acousticbulletin.com/EN/ROOM%20ACOUSTIC%20MEASURES%20FOR%20CLASSROOMS.pdf>>. Acesso em: 26 dez. 2012.

O'KEEFE, J. Acoustical problems in large post-war auditoria. **Proceedings of the Institute of Acoustics**; 2002; , v.24. Disponível em: <http://www.akutek.info/Papers/JO_PostWarAuditoria.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2013.

ODEON A/S. **ODEON Room Acoustics Software**. User's Manual. Version 14. Lyngby. 2018.

OGASAWARA, A.P. **Avaliação acústica de oito salas destinadas apresentações teatrais da cidade de Campinas, SP, através da técnica impulsiva**. 2006. 230 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, 2006. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000424636>>. Acesso em: 03 jan. 2013.

OLIVEIRA, F.V. **Arquitetura escolar paulista dos anos 30**. 2007. 140 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16133/tde-20052010-152808/pt-br.php>>. Acesso em: 08 jun. 2011.

OLIVEIRA, N.F. **Avaliação acústica de salas de aula de dimensões reduzidas através da técnica impulsiva**. 2006. 137 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

ORNSTEIN, S.W.; ONO, R. Post-Occupancy Evaluation and Design Quality in Brazil: Concepts, Approaches and an Example of Application. **Architectural Engineering And Design Management**, Vol. 6, pp. 48-67, 2010.

QUEIROZ, M.; IAZZETTA, F; KON, F.; GOMES, M.H.A.; FIGUEIREDO, F.L.; MASIERO, B.; UEDA, L.K.; DIAS, L.; TORRES, M.H.C.; THOMAZ, L.F. AcMus: an open, integrated platform for room acoustics research. **Journal of the Brazilian Computer Society**, p. 87 – 103, 2008.

RADFORD, A.D.; GERO, J. On optimization in computer aided architectural design. **Building and Environment**, v.15, p. 73–80, 1980.

RIBEIRO, Maria Rosa Sá. Room Acoustic Quality of a Multipurpose Hall: A Case Study. In FORUM ACUSTICUM SEVILLA, 2002, Sevilla. **Anais...** Sevilla: FORUM ACUSTICUM, 2002. 6p.

RINDEL, J.H. The Use of Computer Modeling in Room Acoustics. **Journal of Vibroengineering**, n.3(4), p. 219 – 224 , 2000. Disponível em: <http://www.odeon.dk/pdf/Vilnius_2000-rindel.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2009.

_____. Room acoustic prediction modelling. **Proceedings: XXIII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA**, Salvador, 2010.

SALA, E.; VILJANEN, V. Improvement of acoustic conditions for speech communication in classrooms. **Applied Acoustics**. v. 45, n. 1, p. 81-91, 1995.

SALAT, S. 2006. **The Sustainable Design Handbook** – China. França. CSTB. 399p.

SÃO PAULO 450 ANOS. **Período 2 - A República – Escola ou Catedral?** Disponível em: <http://www.aprenda450anos.com.br/450anos/escola_cidade/2_escola_catedral.asp>. Acesso em: 14 abr. 2011.

SCHMID, Aloísio Leoni (Org.) **Espaços para aprender e ensinar música: construção e adequação**. Ministério da Cultura e Ministério da Educação,

Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior - CAPES, Programa Pró- Cultura, Pacto Ambiental, 2013.

SFAIR, C.; SANTOS, C.M.L.; MARUQUE, F.M.; AZEVEDO, G.A.N.; CASTRO, I.S.; BECK, L.M. Avaliação pós-ocupação em ambiente destinado à educação infantil: Uma abordagem multimétodos. Anais: **ENTAC 2006**, Florianópolis, 2006. Disponível em: <http://www.fau.ufrj.br/prolugar/arq_pdf/diversos/artigos_iara/entac2006_apo_educ_infan.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2013.

T, OPA, M.D.; TOMA, N.; KIREI, B.S.; S̃AR̃ACUT, I.; FARINA, A. Experimental Acoustic Evaluation of an Auditorium. **Advances in Acoustics and Vibration**, v.2012, p. 1 – 8, 2012. Disponível em: <downloads.hindawi.com/journals/aav/2012/868247.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2013.

TAGLIARI, A.; PERRONE, R.A.C.; FLORIO, W. Os projetos residenciais não-construídos de Vilanova Artigas em São Paulo. **Pós**, v.21, nº35, p.98-117, 2014. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/posfau/article/viewFile/84383/87163>>. Acesso em: 08 abr. 2015.

VARIABLE ROOM ACOUSTIC SYSTEMA – VRAS. Concert Hall Acoustics – an Overview. Disponível em: <<http://sirhute.com/slapback-discrete-strongecho.htm>>. Acesso em: 03 nov. 2018.

VALLET, M.; KARABIBER, Z. Some European policies regarding acoustical comfort in educational buildings. **Noise Control Engineering Journal**, v.50-2, p. 58 – 62, 2012. Disponível em: <http://psychoacoustics.pagesperso-orange.fr/mv_english/en_b4.pdf>. Acesso em: 15 set. 2018.

WATSON, C. (2003), "Review of Building Quality Using Post Occupancy Evaluation", **PEB Exchange, Programme on Educational Building**, 2003/03, OECD Publishing. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/715204518780>>. Acesso em: 04 mar. 2013.

WILY,R.S.,GALOWIN,L.S. (1975) "An Approach to Performance Evaluation for Water Supply and Drainage for Buildings", Proceedings of the **CIB Commission W62**, Symposium, Drainage and Water Supply for buildings, University of Glasgow.

ZANNIN, P.H.T.; FIEDLER, P.E.K.; BUNN, F. Reverberation time in classrooms - Case study: When an administrative decision changes acoustic quality. **Journal of Scientific and Industrial Research**. v.72-8, p. 506 – 510, 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/288249614_Reverberation_time_in_classrooms_-_C>. Acesso em: 16 set. 2018.

ZANNIN, P.H.T.; ZWIRTES, D.P.Z.; PASSERO, C.R.M. Assessment of Acoustic Quality in Classrooms Based on Measurements, Perception and Noise Control,. In: SIANO, D. **Noise Control, Reduction and Cancellation Solutions in Engineering**. InTech, 2012. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/noise-control-reduction-and-cancellationsolutions-inengineering/assessment-of-acoustic-quality-in-classrooms-based-on-measurements-perceptionand-noise-control>>. Acesso em: 16 nov. 2012.

Anexo A

– Ficha de levantamento das
características das salas

ID da Sala de Aula: _____ Data: ____/____/____ Horário: _____

Áreas ruidosas próximas: _____

Pé direito: _____

Obs: _____

Mobiliário:

<p>1. Cadeiras dos alunos</p> <p>Quantidade: _____</p> <p>Dimensões:</p>	<p>2. Carteiras</p> <p>Quantidade: _____</p> <p>Dimensões:</p>
Assento:	Tampo:
Encosto:	Estrutura:
Estrutura:	
Obs.:	Obs.:
<p>3. Cadeira do professor</p> <p>Dimensões:</p>	<p>4. Mesa Professor</p> <p>Dimensões:</p>
Assento:	Tampo:
Encosto:	Estrutura:
Estrutura:	
Obs.:	Obs.:

5. Armário / Estante Quantidade: _____ Dimensões: _____	
Acabamento: _____	
Obs.: _____	
6. Quadro branco / negro Dimensões: _____	7. Outros

Materiais:

Piso	
Teto	
Parede 1	
Parede 2	
Parede 3	
Parede 4	

Equipamentos / quantidade:

Ventiladores: _____ Ar-condicionado: _____ Projetor: _____
 Televisão: _____

Planta / layout:

8) Porta
 Material: _____
 Dimensões: _____

9) Janelas
 Quantidade: _____
 Material: _____
 Dimensões: _____

Anexo B

– Questionário

Questionário para alunos

Este questionário é sobre o edifício escolar e suas reações em relação a ele – não é sobre professores ou sobre as atividades realizadas na escola. Os dados serão coletados de forma anônima e a participação é voluntária. Seja sincero e responda sem perguntar aos seus colegas. O que queremos saber é sua opinião.

1. Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:
a. Silencioso b. Quente c. Sujo d. Frio
e. Espaçoso f. Visual agradável g. Lotado h. Barulhento
i. Com luzes ofuscantes j. com odor desagradável i. Outros. Qual? _____
2. Você gostaria que o pátio ficasse:
a. Sem mudanças
b. Um pouco mais silencioso
c. Mais silencioso
d. Muito mais silencioso
3. Você gostaria que a quadra esportiva ficasse:
a. Sem mudanças
b. Um pouco mais silenciosa
c. Mais silenciosa
d. Muito mais silenciosa
4. Você gostaria que os corredores da escola ficassem:
a. Sem mudanças
b. Um pouco mais silenciosos
c. Mais silenciosos
d. Muito mais silenciosos
5. Você gostaria que a sua sala de aula ficasse:
a. Sem mudanças
b. Um pouco mais silenciosa
c. Mais silenciosa
d. Muito mais silenciosa
6. Você gostaria que a região próxima à sua carteira ficasse:
a. Sem mudanças
b. Um pouco mais silenciosa
c. Mais silenciosa
d. Muito mais silenciosa

FRENTE DA SALA		
LATERAL FRENTE (A)	FRENTE (B)	LATERAL FRENTE (C)
LATERAL CENTRO (D)	CENTRO (E)	LATERAL CENTRO (F)
LATERAL FUNDO (G)	FUNDO (H)	LATERAL FUNDO (I)

Favor indicar a posição aproximada da carteira que costuma usar.

7. O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?
a. Faz-me perder a concentração	sim / não
b. Torna as atividades mais difíceis de serem feitas	sim / não
c. Ajuda-me a realizar as atividades de forma melhor	sim / não
d. Ajuda-me a encobrir as distrações	sim / não
8. O ruído nesta sala de aula te impede de ouvir bem o professor?
- a. Nunca / quase nunca
- b. Algumas vezes
- c. Muitas vezes
- d. O tempo todo
9. O ruído nesta sala de aula impede que o professor ouça bem os alunos?
- a. Nunca / quase nunca
- b. Algumas vezes
- c. Muitas vezes
- d. O tempo todo
10. O ruído gerado no interior desta sala de aula (pessoas, ventiladores):
- a. É muito perturbador.
- b. É perturbador
- c. É levemente perturbador
- d. Não perturba
11. O ruído proveniente do lado de fora da sala de aula (veículos, atividades esportivas, recreio):
- a. É muito perturbador.
- b. É perturbador
- c. É levemente perturbador
- d. Não perturba
12. O som “eco” muito nesta sala de aula? sim / não
13. Há alguma outra fonte de ruído que te incomoda? Cite qual. _____

Seus Dados: Idade: _____ anos
Sexo: feminino / masculino
Nome da escola: _____
Há quanto tempo estuda nesta escola? _____ ano(s)

Caso tenha algum comentário em relação às questões de conforto acústico, favor usar o espaço abaixo:

Anexo C

– Carta de apresentação e
solicitação de acesso

São Paulo, xx de maio de 2017.

A Sra. XXXX
Diretora
Colégio XXXX

Prezada Senhora,

A arquiteta Cristina Y. Kawakita Ikeda é aluna do curso de Doutorado regularmente matriculada no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo e está desenvolvendo uma pesquisa cujo título é “Aplicação de métodos de avaliação pós-ocupação para hierarquização de parâmetros de projeto determinantes na qualidade acústica de salas de aula”.

Assim, por meio desta, gostaria de solicitar autorização para o acesso desta aluna ao Colégio XXX, especificamente, às suas salas de aula, para o desenvolvimento das atividades de pesquisa. Tais atividades consistem, basicamente, de levantamento das condições construtivas e de acabamento das salas, de medições acústicas e de aplicação de questionários para avaliação da satisfação dos estudantes.

Ressaltamos que esta pesquisa tem finalidade exclusivamente acadêmica, assim, as escolas participantes não serão identificadas pelo nome em qualquer documentação de divulgação do trabalho científico, e as respostas dos questionários serão tratadas como massa de dados, sem a identificação individual dos respondentes. Os modelos de questionários, assim como dos roteiros de entrevistas serão disponibilizados aos senhores, para ciência e aprovação, previamente às visitas técnicas e à aplicação do questionário junto às classes de alunos.

Nossa proposta inclui a realização das seguintes atividades na escola:

- Aplicação simultânea de questionários para o 8º e 9º anos do ensino fundamental e 1º, 2º e 3º anos do ensino médio e medição acústica – junho/2017
- Medições acústicas com salas vazias e levantamento das condições construtivas das salas – julho e agosto/2017

A equipe de pesquisa será responsável pelo fornecimento dos materiais e equipamentos necessários para a coleta de dados e EPIs, assim como pela instalação e operação dos mesmos, sempre em comum acordo com o responsável pela administração da escola e se adequando para que as condições de funcionamento da unidade de ensino sejam preservadas ao máximo. O Colégio XXX não será responsável por quaisquer acidentes que venham a ocorrer no trajeto à escola ou dentro de suas dependências com a equipe de pesquisa.

Agradecemos desde já a colaboração nesta empreitada acadêmica e colocamo-nos à disposição para quaisquer esclarecimentos.

Atenciosamente,

Rosaria Ono
Professora Titular
Departamento de Tecnologia da Arquitetura
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Universidade de São Paulo
Tel. (11) 3091-4571
Cel. (11) xxxx-xxxx
e-mail: rosaria@usp.br

Anexo D

– Modelos de TCLE e TALE

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA OS PAIS E RESPONSÁVEIS

Título do estudo: Aplicação de métodos de avaliação pós-ocupação para hierarquização de parâmetros de projeto determinantes na qualidade acústica de salas de aula

Pesquisadoras responsáveis: Cristina Y. Kawakita Ikeda / Rosaria Ono

Instituição: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (FAU USP)

Prezado(a) Senhor(a):

- O/A seu/sua filho(a) está sendo convidado(a) a responder às perguntas de um questionário de forma totalmente **voluntária**.
- Antes de concordar que seu/sua filho(a) participe desta pesquisa e responda ao questionário é muito importante que você compreenda as informações e instruções contidas neste documento.
- Os pesquisadores estão disponíveis para responder a todas as suas dúvidas antes de você decidir a participar.
- Seu/Sua filho(a) tem o direito de **desistir** de participar da pesquisa a qualquer momento, sem nenhuma penalidade e sem perder os benefícios aos quais tenha direito.

Objetivo do estudo: *Propor parâmetros para melhoria da qualidade acústica de salas de aula, sob o ponto de vista de seus usuários.*

Justificativa: *O desenvolvimento de soluções que melhorem a qualidade acústica dos edifícios escolares possui grande potencial de serem replicadas em futuros projetos de construção e reformas de edifícios já existentes.*

Procedimentos: *A participação nesta pesquisa consistirá apenas no preenchimento de um questionário em sala de aula, respondendo às perguntas formuladas.*

Benefícios: *Ao participar desta pesquisa não haverá nenhum benefício direto para seu/sua filho(a). Entretanto, esperamos que este estudo traga informações importantes sobre a qualidade acústica de salas de aula, de forma que o conhecimento que será construído a partir desta pesquisa possa ser utilizado para a melhoria das salas de aula.*

Riscos: *O preenchimento deste questionário não representará qualquer risco de ordem física ou psicológica, porém considera-se a possibilidade de um risco subjetivo, pois algumas perguntas podem remeter a algum desconforto ou levar a um leve cansaço. Caso algumas dessas possibilidades ocorram, seu/sua filho(a) poderá optar pela suspensão imediata do preenchimento do questionário.*

Sigilo: *As informações fornecidas pelo(a) seu/sua filho(a) terão sua privacidade garantida pelos pesquisadores responsáveis. Os participantes não serão identificados em nenhum momento, mesmo quando os resultados desta pesquisa forem divulgados em qualquer forma.*

Indenização e ressarcimento: *É garantida indenização em casos de danos, comprovadamente, decorrentes da sua participação na pesquisa, por meio de decisão judicial ou extrajudicial.*

Em caso de dúvida: *Em caso de dúvida quanto à condução ética do estudo, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos, CEP da Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) da Universidade de São Paulo (USP), Av. Arlindo Bétio, nº 1000 – Ermelino Matarazzo – São Paulo – Capital – CEP 03.828-000, Telefone: (11) 3091-1046 – e-mail: cep-each@usp.br.*

Ciência e de acordo do responsável:

Ciente e de acordo com o que foi anteriormente exposto pela pesquisadora, eu _____,

RG: _____, estou de acordo com a participação do(a) meu/minha filho(a) _____

nesta pesquisa, assinando este consentimento **em duas vias**, ficando com a posse de uma delas.

_____, _____ de _____ de 20____.

Assinatura do Representante legal

Assinatura da Pesquisadora

Contato com a pesquisadora: Cristina Y. Kawakita Ikeda

Instituição: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Endereço: Av. Prof. Almeida Prado, 532 – Prédio 36 **Telefone:** (11) 3767-4555 **e-mail:** cristinak@ipt.br

TERMO DE ASSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA OS PARTICIPANTES DA PESQUISA

Concordo em participar, como voluntário/a, da pesquisa intitulada **Aplicação de métodos de avaliação pós-ocupação para hierarquização de parâmetros de projeto determinantes na qualidade acústica de salas de aula**, desenvolvida junto à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo sob a coordenação da Profª Dra Rosaria Ono e da pesquisadora Cristina Y. Kawakita Ikeda.

Objetivo do estudo: *Propor parâmetros para melhoria da qualidade acústica de salas de aula, sob o ponto de vista de seus usuários.*

Procedimentos: *A participação nesta pesquisa consistirá apenas no preenchimento de um questionário em sala de aula, respondendo às perguntas formuladas.*

Sigilo: *As informações fornecidas por você terão sua privacidade garantida pelos pesquisadores responsáveis. Os participantes da pesquisa não serão identificados em nenhum momento, mesmo quando os resultados desta pesquisa forem divulgados em qualquer forma. Você tem o direito de desistir de participar da pesquisa a qualquer momento, sem nenhuma penalidade e sem perder os benefícios aos quais tenha direito.*

Benefícios: *Ao participar desta pesquisa não haverá nenhum benefício direto para seu/sua filho(a). Entretanto, esperamos que este estudo traga informações importantes sobre a qualidade acústica de salas de aula, de forma que o conhecimento que será construído a partir desta pesquisa possa ser utilizado para a melhoria das salas de aula.*

Riscos: *O preenchimento deste questionário não representará qualquer risco de ordem física ou psicológica, porém considera-se a possibilidade de um risco subjetivo, pois algumas perguntas podem remeter à algum desconforto ou levar à um leve cansaço. Caso alguma dessas possibilidades ocorram, você poderá optar pela suspensão imediata do preenchimento do questionário.*

Em caso de dúvida: *Em caso de dúvida quanto à condução ética do estudo, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos, CEP da Escola de Artes, Ciências e Humanidades (EACH) da Universidade de São Paulo (USP), Av. Arlindo Bétio, nº 1000 – Ermelino Matarazzo – São Paulo – Capital – CEP 03.828-000, Telefone: (11) 3091-1046 – e-mail: cep-each@usp.br.*

Ciência e de acordo do responsável:

Ciente e de acordo com o que foi anteriormente exposto pela pesquisadora, eu _____, estou de acordo com minha participação nesta pesquisa, assinando este consentimento **em duas vias**, ficando com a posse de uma delas.

_____, _____ de _____ de 20____.
Assinatura do aluno(a)

Assinatura da Pesquisadora

Contato com a pesquisadora: Cristina Y. Kawakita Ikeda

Instituição: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo

Endereço: Av. Prof. Almeida Prado, 532 – Prédio 36 **Telefone:** (11) 3767-4555 **e-mail:** cristinak@ipt.br

Anexo E

– Procedimento para medição

Procedimento para a medição de parâmetros acústicos descritos na norma ISO 3382-1:2009 "*Acoustics – Measurement of room acoustic parameters – Part 1: Performance spaces*".

▪ **Condições de medição**

As medições devem ser feitas com a sala desocupada. Entretanto permite-se a presença de até 2 pessoas no recinto. Se o parâmetro for utilizado para a correção de níveis de pressão sonora medidos, o número de pessoas presentes na medição do tempo de reverberação deve ser o mesmo.

▪ **Equipamentos**

- Fonte sonora omnidirecional;
- Microfone de campo difuso de ½";
- Pré-amplificador;
- Fonte de alimentação do microfone;
- Interface de áudio;
- Amplificador de potência;
- Tripé para a fonte sonora;
- Tripé para o microfone;
- *Laptop* com o software DIRAC instalado e seu respectivo *hardlock*;
- Cabos.

Nenhuma sobrecarga (*overload*) é permitida em nenhuma das etapas nos equipamentos de medição.

- **Posições de medição**

A posição da fonte pode ser escolhida conforme o uso do recinto.

- **Resposta impulsiva integrada**

Adotou-se o método da varredura de senos para a obtenção da resposta impulsiva da sala, pois outros métodos possuem baixa repetitibilidade, ou são mais trabalhosos, ou possuem baixa relação sinal ruído em algumas frequências ou seu uso é desaconselhado para determinados espaços.

Para que o tempo de reverberação esteja aderente à ISO 3382, o *Impulse to Noise Ratio* (INR), que é a razão entre a resposta impulsiva e o nível de ruído residual, deve ser de pelo menos 35 dB para o T20 e 45 dB para o T30. Normalmente o INR é pior em baixas frequências devido ao ruído residual de equipamentos de ar condicionado ou vibrações do próprio edifício, mas também por cabos sem blindagem ou taxa de aquisição equivocada. Caso necessário, um modo de aumentar o INR é aumentar o tempo de medição ou aumentar o valor do *Pre-Average*.

Dentre os sinais de varredura de senos, os utilizados são o *e-sweep* (varredura de senos exponencial) e o *l-sweep* (varredura de senos linear). No início das medições deve ser testado qual proporciona o melhor INR.

Recomenda-se que o tempo de varredura (*Length*) seja de 2 vezes o tempo de reverberação estimado do local. Geralmente utiliza-se 5,46 s ou 10,9 s.

Utiliza-se a taxa de aquisição padrão do Dirac que é de 48000 Hz.

Configurar o *pre-average* entre 4 a 5 repetições. Caso não haja muito tempo pode ser utilizado um *pre-average* de 3 repetições.

Para se obter o *Rapid Speech Transmission Index* (RASTI) da resposta impulsiva, a ISO 3382-3 recomenda utilizar um *pre-average* de 1 repetição pois o RASTI é muito sensível ao ruído residual e várias repetições podem mascarar o resultado. Deve-se fazer então uma medição separada para obter o RASTI.

Anexo F

– Resumo dos resultados dos
questionários para alunos
aplicados na Escola A

8º ano do Ensino Fundamental

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

1º ano do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

2º ano do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

3º ano do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

Anexo G

– Resumo dos resultados dos
questionários para alunos
aplicados na Escola B

8º ano do Ensino Fundamental

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

9º ano do Ensino Fundamental

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

1º ano A do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

1º ano B do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

1º ano C do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

1º ano D do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

2º ano A do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

2º ano B do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

2º ano C do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

3º ano A do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

3º ano B do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

3º ano B do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

Anexo H

– Resumo dos resultados dos
questionários para alunos
aplicados na Escola C

8º ano do Ensino Fundamental

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

9º ano do Ensino Fundamental

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

1º ano do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

2º ano do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

3º ano do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

Anexo I

– Resumo dos resultados dos
questionários para alunos
aplicados na Escola D

8º ano do Ensino Fundamental

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

9º ano do Ensino Fundamental

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

1º ano do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

2º ano do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

3º ano A do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

3º ano B do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

Anexo J

– Resumo dos resultados dos
questionários para alunos
aplicados na Escola E

8º ano do Ensino Fundamental

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

9º ano do Ensino Fundamental

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

1º ano do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

2º ano do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

3º ano do Ensino Médio

Circule as palavras que descrevem o prédio da escola como um todo:

Você gostaria que esse ambiente:

O ruído afeta as pessoas de forma diferente. Como o ruído na sala de aula te afeta?

Anexo K

– Exemplos de diagramas de distribuição espacial de TR para as configurações de janelas fechadas e cortinas fechadas; e janelas fechadas e cortinas abertas.

Fonte: HUNECKE (online)

Figura 83: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 63 Hz

Figura 84: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 63 Hz

Figura 85: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 125 Hz

Figura 86: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 125 Hz

Figura 87: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 250 Hz

Figura 88: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 250 Hz

Figura 89: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 500 Hz

Figura 90: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 500 Hz

Figura 91: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 1000 Hz

Figura 92: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 1000 Hz

Figura 93: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 2000 Hz

Figura 94: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 2000 Hz

Figura 95: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 4000 Hz

Figura 96: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 4000 Hz

Figura 97: Exemplo de diagramas de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 8000 Hz

Figura 98: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de TR para a configuração de cortina aberta e janela fechada para 8000 Hz

Anexo L

– Exemplos de diagramas de distribuição espacial de EDT para as configurações de janelas fechadas e cortinas fechadas; e janelas fechadas e cortinas abertas.

Fonte: *Variable Room Acoustic System* (online)

Figura 99: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 63 Hz.

Figura 100: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 63 Hz.

Figura 101: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 125 Hz.

Figura 102: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 125 Hz.

Figura 103: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 250 Hz.

Figura 104: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 250 Hz.

Figura 105: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 500 Hz.

Figura 106: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 500 Hz.

Figura 107: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 1000 Hz.

Figura 108: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 1000 Hz.

Figura 109: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 2000 Hz.

Figura 110: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 2000 Hz.

Figura 111: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 4000 Hz.

Figura 112: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 4000 Hz.

Figura 113: Exemplo de diagramas de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 8000 Hz.

Figura 114: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de EDT para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 8000 Hz.

Anexo M

– Exemplos de diagramas de distribuição espacial de Ts para as configurações de janelas fechadas e cortinas fechadas; e janelas fechadas e cortinas abertas.

Fonte: BRADLEY (2002)

Figura 115: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de Ts para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 63 Hz

Figura 116: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de Ts para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 63 Hz.

Figura 117: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 125 Hz

Figura 118: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 125 Hz.

Figura 119: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 250 Hz

Figura 120: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 250 Hz

Figura 121: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 500 Hz

Figura 122: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 500 Hz

Figura 123: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de Ts para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 1000 Hz

Figura 124: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de Ts para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 1000 Hz

Figura 125: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de Ts para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 2000 Hz

Figura 126: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de Ts para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 2000 Hz

Figura 127: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 4000 Hz

Figura 128: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de T_s para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 4000 Hz

Figura 129: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de Ts para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 8000 Hz

Figura 130: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de Ts para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 8000 Hz

Anexo N

– Exemplos de diagramas de distribuição espacial de D_{50} para as configurações de janelas fechadas e cortinas fechadas; e janelas fechadas e cortinas abertas.

Fonte: BRADLEY (2002)

Figura 131: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 63 Hz

Figura 132: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 63 Hz.

Figura 133: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 125 Hz

Figura 134: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 125 Hz.

Figura 135: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 250 Hz

Figura 136: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 250 Hz.

Figura 137: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 500 Hz

Figura 138: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 500 Hz.

Figura 139: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 500 Hz

Figura 140: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 500 Hz.

Figura 141: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 1000 Hz

Figura 142: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 1000 Hz.

Figura 143: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 2000 Hz

Figura 144: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 2000 Hz.

Figura 145: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 4000 Hz

Figura 146: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 4000 Hz.

Figura 147: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina fechada e janela fechada para 8000 Hz

Figura 148: Exemplo de diagrama de distribuição espacial de D_{50} para a configuração de cortina aberta e janela fechada, para 8000 Hz.