

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SU
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NORIE – NÚCLEO ORIENTADO PARA A INOVAÇÃO DA EDIFICAÇÃO**

**AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DO RUÍDO AERONÁUTICO
EM ESCOLAS**

Maria Fernanda de Oliveira Nunes

Porto Alegre
dezembro 2005

MARIA FERNANDA DE OLIVEIRA NUNES

**AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DO RUÍDO AERONÁUTICO
EM ESCOLAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Engenharia

Porto Alegre
dezembro 2005

N972a Nunes, Maria Fernanda de Oliveira

Avaliação da percepção do ruído aeronáutico em escolas:
Aeroporto Internacional Salgado Filho, Porto Alegre /
Maria Fernanda de Oliveira Nunes. – 2005.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande
do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS,
2005.

Orientação : Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler

1. Ruído – Medição. 2. Engenharia civil. 3. Aeroporto
Inter-nacional Salgado Filho – Porto Alegre (RS). I.
Sattler, Miguel Aloysio, orient. II. Título.

CDU-534.83(043)

MARIA FERNANDA DE OLIVEIRA NUNES

**AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DO RUÍDO AERONÁUTICO
EM ESCOLAS: AEROPORTO INTERNACIONAL SALGADO
FILHO, PORTO ALEGRE**

Esta tese de doutorado foi julgada adequada para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 12 de dezembro de 2005

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD pela Universidade de Sheffield
orientador

Prof. Fernando Schaid
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof^a Stelamaris Rolla Bertoli (UNICAMP)
Doutor (Dr.) pela Universidade Estadual de Campinas

Prof^a Dinara Xavier da Paixão (UFSM)
Doutor (Dr.) pela Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Alberto Tamagna (UFRGS)
Doutor (Dr.) pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

A meu marido Carlos Alberto Moraes Nunes Jr.
e meus filhos Carolina e Bruno.

A meu pai Henrique Fernando de Oliveira.

AGRADECIMENTOS

À Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade de Caxias do Sul pelo Auxílio Qualificação para a conclusão do Doutorado.

Ao Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Caxias do Sul pela cessão dos equipamentos de medição.

A meu orientador Miguel Aloysio Sattler pela compreensão, apoio e tolerância.

Aos professores e funcionários das Escolas, mencionadas no trabalho, pela possibilidade de realização das medições.

Ao professor Wilson Luis Caldart do Instituto de Pesquisa Econômica e Social da Universidade de Caxias do Sul pelas críticas e valiosas orientações sobre estatística

A Infraero por disponibilizar os Boletins de Horários Previstos do Aeroporto Internacional Salgado Filho.

À minha equipe de trabalho, Eng. Carlos Alberto Moraes Nunes Jr., pela dedicação, incentivo e inestimável ajuda durante todo o trabalho.

Aos alunos do Curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Caxias do Sul, Fernanda Tissot, Paulo Vasconcellos Hayet e Raquel Munaro, pela ajuda no tratamento das imagens.

Aos amigos que me incentivaram com muita motivação.

RESUMO

NUNES, M.F.O. Avaliação da percepção do ruído aeronáutico em escolas: Aeroporto Internacional Salgado Filho, Porto Alegre. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

Este trabalho apresenta uma avaliação do ruído aeronáutico nas proximidades do Aeroporto Internacional Salgado Filho, no município de Porto Alegre, RS, através de um estudo em escolas localizadas dentro das zonas do Plano Específico de Zoneamento de Ruído – PEZR. Segundo a Organização Mundial da Saúde, as crianças são consideradas o grupo mais vulnerável aos efeitos do ruído e, atualmente, os prejuízos na vida escolar possuem evidências científicas comprovadas. No entanto, as atividades escolares dentro das zonas de ruído mais críticas no entorno dos aeroportos, que não são permitidas segundo legislações nacionais e municipais, ocorrem em ambientes com características construtivas inadequadas aos níveis de exposição. A avaliação da percepção e do incômodo do ruído aeronáutico nas escolas localizadas dentro dos limites do PEZR do Aeroporto Internacional Salgado Filho, fundamentou-se em critérios quantitativos e qualitativos, com medições acústicas, aplicação de questionários, realização de entrevistas e observações de comportamento e de ocupação dos ambientes nas Escolas. Os resultados indicam um grande incômodo manifestado por alunos e professores que convivem em ambientes ruidosos, além de encontrar relações com a interferência em possíveis problemas vocais e auditivos, em função da necessidade da elevação no volume da voz. Outro aspecto levantado foi o comprometimento do desempenho escolar, que é afetado diretamente pela falta de critérios de conforto acústico no projeto das edificações.

Palavras-chave: ruído aeronáutico; percepção do ruído; ambiente escolar.

ABSTRACT

NUNES, M.F.O. Avaliação da percepção do ruído aeronáutico em escolas: estudo na Zona I do PEZR do Aeroporto Internacional Salgado Filho. 2005. Exame de Qualificação de Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

Evaluation of aircraft noise perception in schools: study in Zona I do PZER do Salgado Filho International Airport

This paper aims at evaluating aircraft noise in the vicinity of Salgado Filho International Airport, with research done in two schools inside Zona I of Plano Específico de Zoneamento de Ruído - PEZR. According to the World Health Organization, children are considered the most vulnerable group regarding the effects of noise. In addition, scientific evidence has proved that school life is harmed. However, school activities inside the most critical noise zones around airports, which are not allowed according to national and municipal legislation, take place in environments with constructive building features unsuitable to the exposure levels. This study aims at evaluating the perception and inconvenience of aircraft noise in schools within Zona I of PZER of Salgado Filho International Airport, based on quantitative and qualitative criteria, with acoustics measurement, surveys, interviews, and observation of behavior and use of school environment. The primary results show a lot of annoyance reported by students and teachers who live in noisy environments. Such results may also indicate possible vocal and auditory problems as a consequence of the need to raise one's voice. Another aspect which has been pointed out was problems in school performance because of the frequent interruption in the communication between teacher and students whenever planes flew over the place.

Key words: aircraft noise; noise perception; school environment.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	27
1.1 Justificativa.....	29
1.2 Problema de pesquisa.....	30
1.3 Hipóteses	30
1.4 Objetivos.....	32
1.4.1 Objetivo geral.....	32
1.4.2 Objetivos específicos.....	32
1.5 Estrutura do trabalho.....	32
2 O RUÍDO	34
2.1 Definições de ruído.....	34
2.2 Percepção humana e reações ao ruído.....	37
2.3 Isolamento acústico do ruído aéreo.....	39
2.3.1 Isolamento de fechamentos simples.....	41
2.3.1.1 Região afetada pela ressonância.....	42
2.3.1.2 Região controlada pela lei da massa.....	43
2.3.1.3 Região do efeito de coincidência.....	43
2.3.2 Isolamento de fechamentos compostos.....	45
2.3.3 Características de isolamento de elementos construtivos.....	46
2.4 Ruído em prédios escolares	51
2.4.1 Tempo de reverberação e inteligibilidade.....	53
2.5 O impacto do ruído aeronáutico na qualidade de vida.....	57
2.5.1 Incômodo devido ao ruído.....	58
2.5.2 Ruído e sono.....	61
2.5.3 Alterações fisiológicas.....	63

2.5.4 Ruído e performance escolar.....	64
3 A EXPOSIÇÃO AO RUÍDO AERONÁUTICO.....	71
3.1 Medição do evento de ruído aeronáutico.....	73
3.1.1 Recomendações da ISO 3891.....	78
3.2 Índices de exposição da população ao ruído aeronáutico.....	81
3.2.1 Modelos de avaliação de incômodo baseados no L_{Aeq}	85
3.2.1.1 <i>Day-night Level</i> – L_{DN}	85
3.2.1.2 <i>Community Noise Equivalent Level</i> – CNEL.....	86
3.2.1.3 <i>Day Evening Night Level</i> – L_{den}	86
3.2.2 Modelos de avaliação de incômodo baseados no L_{PN}	86
3.2.3 Modelos de avaliação de incômodo baseados no L_{EPN}	87
3.2.3.1 <i>Noise Exposure</i> – NE.....	88
3.2.3.2 <i>Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level</i> – WECPNL.....	89
3.2.4 Relações entre índices e nível de incômodo.....	91
3.2.5 Considerações finais sobre índices para o ruído aeronáutico.....	92
3.3 Curvas isofônicas: origem e evolução.....	93
3.4 Método adotado no Brasil: Índice Ponderado de Ruído IPR	96
3.4.1 Cálculo do IPR a partir de valores medidos.....	98
3.4.2 Relação entre o IPR e o incômodo subjetivo.....	98
3.4.3 Geração de curvas isofônicas a partir do IPR.....	99
4 O RUÍDO AERONÁUTICO NOS AEROPORTOS.....	101
4.1 Medidas internacionais de controle do ruído aeronáutico.....	106
4.1.1 Aeroportos norte-americanos.....	111
4.1.1.1 Aeroporto Internacional de O’Hare.....	114
4.1.2 Aeroportos franceses.....	116
4.1.3 Aeroportos japoneses.....	119

4.1.4 Aeroportos australianos.....	122
4.2 O ruído nos aeroportos brasileiros.....	123
4.2.1 Aeroporto Internacional de Congonhas.....	126
4.2.2 Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos.....	127
4.2.3 O Aeroporto Internacional Salgado Filho.....	129
4.2.3.1 Breve Histórico do Aeroporto Internacional Salgado Filho.....	129
4.2.3.2 Situação atual.....	131
5 MÉTODO ADOTADO.....	135
5.1 Objetos de estudo.....	135
5.1.1 Escola Estadual Dr. Carlos Barbosa Gonçalves.....	138
5.1.2 Escola Estadual <i>Lions Club</i> Porto Alegre Farrapos.....	141
5.1.3 Colégio Estadual Presidente Arthur da Costa e Silva.....	145
5.2 Entrevistas.....	147
5.3 Observações.....	147
5.4 Questionários.....	148
5.5 Medições acústicas.....	151
5.5.1 Medições externas.....	153
5.5.2 Medições internas.....	154
5.6 Verificação do nível de incômodo a partir de índices calculados.....	155
5.7 Análise das características construtivas.....	157
6 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS.....	158
6.1 Entrevistas.....	158
6.1.1 Escola Estadual Carlos Barbosa Gonçalves.....	158
6.1.2 Escola Estadual <i>Lions Club</i> Porto Alegre Farrapos.....	159
6.1.3 Colégio Estadual Presidente Arthur da Costa e Silva.....	160

6.2 Observações.....	160
6.2.1 Escola Estadual Carlos Barbosa Gonçalves.....	160
6.2.2 Escola Estadual Lions Club Porto Alegre Farrapos.....	161
6.2.3 Colégio Estadual Presidente Arthur da Costa e Silva.....	161
6.3 Questionários.....	162
6.3.1 Respostas dos alunos.....	162
6.3.1.2 Respostas dos professores.....	165
6.3.2 Análise e interpretação dos dados.....	170
6.3.2.1 Associações das variáveis entre as escolas.....	172
6.3.2.2 Grau de incômodo declarado por sexo dos alunos.....	173
6.3.2.3 Incômodo e elevação no volume de voz.....	174
6.3.2.4 Incômodo e deixar de ouvir a professora.....	175
6.3.2.5 Incômodo por faixa etária dos alunos.....	175
6.3.2.6 Incômodo para os ambientes onde o incômodo é maior.....	177
6.3.2.7 Incômodo para os ambientes mais silenciosos.....	179
6.3.2.8 Incômodo e comparação entre o ruído em casa e na escola.....	182
6.3.3 Considerações sobre os resultados dos questionários.....	183
6.4 Medições Acústicas.....	185
6.4.1 Medições externas.....	185
6.4.1.1 Medições externas na escola CB.....	185
6.4.1.2 Medições externas na escola LC.....	187
6.4.1.3 Medições externas no colégio CS.....	189
6.4.1.4 Considerações sobre as medições externas.....	191
6.4.2 Medições internas.....	194
6.4.2.1 Medições internas na escola CB.....	194
6.4.2.2 Medições internas na escola LC.....	196
6.4.2.3 Medições internas no colégio CS.....	198
6.4.2.4 Considerações sobre as medições internas.....	200
6.5 Análise construtiva.....	201

6.5.1 Tempo de reverberação.....	201
6.5.2 Isolamento dos fechamentos externos.....	202
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	204
7.1 Recomendações para futuros trabalhos.....	207
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	209
GLOSSÁRIO.....	222
APÊNDICE A – Roteiro da entrevista com os diretores.....	224
APÊNDICE B – Roteiro da entrevista com os professores.....	226
APÊNDICE C – Questionário aplicado aos alunos.....	228
APÊNDICE D – Questionário aplicado aos professores.....	230
APÊNDICE E – Planilha para análise dos dados dos questionários.....	233
APÊNDICE F – Investigação dos eventos isolados e caracterização do ruído aeronáutico.....	243
APÊNDICE G – Localização dos equipamentos de medição nas quadras esportivas.....	250
APÊNDICE H – Sala de aula e biblioteca na escola CB	254
APÊNDICE I – Sala de aula e biblioteca na escola LC.....	257
APÊNDICE J – Sala de aula e biblioteca na escola CS.....	260

APÊNDICE L – Medição piloto na sala de aula da escola CB.....	264
APÊNDICE M – Medição piloto na sala de aula da escola LC.....	267
APÊNDICE N – Comparação entre o nível sonoro da fala da professora e o sobrevôo de uma aeronave.....	269
APÊNDICE O – Planilha de análise das características sonoras dos ambientes internos.....	271
APÊNDICE P – Planilha de cálculo dos índices de incômodo.....	278
ANEXO A – Curvas de ruído do Aeroporto de Sydney	283
ANEXO B – Plano Específico de Zoneamento de Ruído do Aeroporto Internacional Salgado Filho	286
ANEXO C – Curvas I e II do PEZR e a localização dos estabelecimentos de ensino dos bairros vizinhos	288

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: comparativos de pressão sonora e níveis de pressão sonora.....	35
Figura 2: perfil gráfico do ruído contínuo.....	36
Figura 3: perfil gráfico do ruído impulsivo.....	37
Figura 4: perfil gráfico do ruído intermitente.....	37
Figura 5: isolamento acústico de uma parede simples.....	42
Figura 6: isolamento para diferentes composições de vidros duplos.....	50
Figura 7: nomograma para estimativa do isolamento sonoro em escolas.....	52
Figura 8: localização dos ambientes em escolas em função do ruído.....	53
Figura 9: níveis máximos de ruído e sua relação com o volume da sala.....	55
Figura 10: inteligibilidade da fala, para diferentes tempos de reverberação.	56
Figura 11: estímulos e efeitos do incômodo no contexto comunitário.....	60
Figura 12: localização do microfone na (a) cobertura e no (b) pátio, no estudo de Jiggins e Berry.....	68
Figura 13: localização interna do microfone no estudo de Jiggins e Berry.	69
Figura 14: níveis de ruído produzidos por uma turbina a jato no solo.....	71
Figura 15: reflexão do som em uma fachada.....	72
Figura 16: propagação do som de uma aeronave em movimento.....	73
Figura 17: quatro tipos de tempo de integração: diagramas demonstrativos.....	75
Figura 18: perfil temporal da aterrissagem de um DC-9.....	76
Figura 19: perfil temporal da decolagem de um Folker 50.....	77
Figura 20: índice de ruído com evoluções temporais diferentes.....	82
Figura 21: perfis de ruído de mesmo L_{eq}	82

Figura 22: curvas isofônicas geradas pelo INM 6.0.....	96
Figura 23: aceitação pública da ampliação do Aeroporto de Zurique.....	103
Figura 24: recomendação da distância lateral da rota de aproximação.....	104
Figura 25: recomendação da distância da cabeceira da pista na rota de aproximação.....	104
Figura 26: recomendação da distância lateral da rota de ascensão.....	105
Figura 27: recomendação da distância da cabeceira da pista na rota de ascensão.....	105
Figura 28: curvas de ruído de algumas aeronaves e sua classificação conforme a ICAO.....	110
Figura 29: localização das estações de monitoramento de ruído no Aeroporto de O'Hare.....	115
Figura 30: localização das escolas do Programa de Isolamento Acústico do Aeroporto O'Hare.....	116
Figura 31: curvas de ruído em 2004 do Aeroporto Charles De Gaulle na França.....	118
Figura 32 zonas de ruído do Aeroporto de Narita no Japão.....	120
Figura 33: barreira acústica padrão do Aeroporto de Narita no Japão.....	121
Figura 34: procedimentos operacionais alternativos.....	125
Figura 35: curva de ruído do Aeroporto Internacional São Paulo/Guarulhos.....	128
Figura 36: localização das ocupações irregulares próximas ao Aeroporto Salgado Filho.....	132
Figura 37: macrozonas do PDDUA de Porto Alegre.....	136
Figura 38: localização das escolas em relação à pista do aeroporto.....	138
Figura 39: localização da Escola Carlos Barbosa Gonçalves no Bairro Navegantes.....	139

Figura 40: vista da Escola Carlos Barbosa Gonçalves.....	139
Figura 41: aproximação de uma aeronave na Escola Carlos Barbosa Gonçalves.....	140
Figura 42: forro de madeira das áreas de circulação da Escola Carlos Barbosa Gonçalves.....	141
Figura 43: localização da Escola <i>Lions Club</i> Porto Alegre Farrapos no Bairro Navegantes.....	141
Figura 44: vista da entrada da Escola <i>Lions Club</i> Porto Alegre Farrapos.....	142
Figura 45: vista do prédio de alvenaria da Escola <i>Lions Club</i>	142
Figura 46: prédio de madeira da Escola <i>Lions Club</i> Porto Alegre Farrapos.	143
Figura 47: sinalização da pista do aeroporto vista da quadra da Escola <i>Lions Club</i>	143
Figura 48: sinalização da pista do aeroporto vista da Rua Dona Teodora....	144
Figura 49: passagem de uma aeronave acima da Escola <i>Lions Club</i>	144
Figura 50: localização do Colégio Presidente Costa e Silva no Bairro São Sebastião.....	145
Figura 51: vista da entrada do Colégio Presidente Arthur da Costa e Silva.	146
Figura 52: bloco das salas de aula do Colégio Presidente Arthur da Costa e Silva.....	146
Figura 53: medidor de nível de pressão sonora utilizado nas medições.....	152
Figura 54: monitor QUEST TEMP 36.....	153
Figura 55: questionário dos alunos – respostas para a questão 1.....	162
Figura 56: questionário dos alunos – respostas para a questão 2.....	163
Figura 57: questionário dos alunos – respostas para a questão 3.....	163
Figura 58: questionário dos alunos – respostas para a questão 4.....	164
Figura 59: questionário dos alunos – respostas para a questão 5.....	164

Figura 60: questionário dos alunos – respostas para a questão 6.....	165
Figura 61: questionário dos professores – respostas para a questão 1.....	166
Figura 62: questionário dos professores – respostas para a questão 2.....	166
Figura 63: questionário dos professores – respostas para a questão 3.....	167
Figura 64: questionário dos professores – respostas para a questão 4.....	167
Figura 65: questionário dos professores – respostas para a questão 5.....	168
Figura 66: questionário dos professores – respostas para a questão 6.....	168
Figura 67: questionário dos professores – respostas para a questão 10.....	169
Figura 68: questionário dos professores – respostas para a questão 11.....	169
Figura 69: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola CB no turno da manhã.....	186
Figura 70: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola CB no turno da tarde..	186
Figura 71: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola CB no turno da noite..	187
Figura 72: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola LC no turno da manhã.....	188
Figura 73: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola LC no turno da tarde..	188
Figura 74: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola LC no turno da noite..	189
Figura 75: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola CS no turno da manhã	190
Figura 76: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola CS no turno da tarde..	190
Figura 77: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola CS no turno da noite.	191
Figura 78: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na sala de aula da escola CB.....	195
Figura 79: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na biblioteca da escola CB.....	196
Figura 80: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na sala de aula da escola LC.....	197
Figura 81: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na biblioteca da escola LC.....	198

Figura 82: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na sala de aula da escola CS.....	199
Figura 83: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na biblioteca da escola CS.....	200
Figura 84: caracterização da passagem de um caminhão.....	244
Figura 85: caracterização de um evento de ruído de fundo composto.....	245
Figura 86: registro da passagem de um ônibus.....	245
Figura 87: aterrissagem de um Boeing 737-500.....	246
Figura 88: aterrissagem de um Boeing 737-700 sem atividade no pátio.....	246
Figura 89: decolagem de um avião bimotor sem atividade no pátio.....	247
Figura 90: aterrissagem de um avião bimotor com atividade no pátio.....	247
Figura 91: registro gerado pela atividade na escola.....	248
Figura 92: passagem de um caminhão com atividade no pátio.....	248
Figura 93: aterrissagem de um Airbus 320 com atividade no pátio.....	249
Figura 94: aterrissagem de um Boeing 737-800, com atividade no pátio.....	249
Figura 95: localização dos equipamentos na quadra esportiva da escola CB.....	251
Figura 96: localização dos equipamentos na quadra esportiva da escola LC.....	252
Figura 97: localização dos equipamentos na quadra esportiva da escola CS.....	253
Figura 98: localização da sala de aula na escola CB.....	255
Figura 99: vista interna da sala de aula na escola CB.....	255
Figura 100: localização da biblioteca na escola CB.....	256
Figura 101: localização da sala de aula na escola LC.....	258
Figura 102: vista interna da sala de aula na escola LC.....	258
Figura 103: localização da biblioteca na escola LC.....	259

Figura 104: vista interna da biblioteca na escola LC.....	259
Figura 105: localização da sala de aula na escola CS.....	261
Figura 106: vista interna da sala de aula na escola CS.....	261
Figura 107: localização da biblioteca na escola CS.....	262
Figura 108: vista interna da área de leitura da biblioteca na escola CS.....	262
Figura 109: vista interna da área do acervo da biblioteca na escola CS.....	263
Figura 110: gráfico da medição em uma sala de aula na escola CB.....	265
Figura 111: posicionamento do equipamento durante a medição piloto na escola CB.....	266
Figura 112: gráfico da medição em uma sala de aula na escola LC.....	268
Figura 113: comparação do registro sonoro em uma sala de aula	270
Figura 114: curvas de ruído em ANEF no Aeroporto de Sydney.....	284
Figura 115: curvas de ruído em número de eventos no Aeroporto de Sydney.....	285
Figura 116: PEZR do Aeroporto Internacional Salgado Filho.....	287
Figura 117: PEZR do Aeroporto Salgado Filho com a localização dos estabelecimentos de ensino dos bairros vizinhos.....	289

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: níveis de pressão sonora e efeitos na audição humana.....	39
Tabela 2: classe de transmissão sonora, CTS, para alguns materiais de construção.....	41
Tabela 3: valores de PT em função da espessura do vidro.....	47
Tabela 4: distância entre os vidros, em uma esquadria com vidros duplos, para evitar o efeito da frequência de ressonância.....	48
Tabela 5: isolamento sonoro de vidros.....	49
Tabela 6: valores máximos para diferentes tempos de integração.....	78
Tabela 7: níveis de ruído e reações comunitárias, segundo Stevens e Pietrosanta.....	94
Tabela 8: valores de IPR e reações comunitárias.....	98
Tabela 9: limites de zonas de ruído aeronáutico em alguns países em $L_{eq, 24h}$	102
Tabela 10: algumas das restrições adotadas nos maiores aeroportos do mundo.....	109
Tabela 11: medidas compensatórias para as zonas impactadas pelo ruído aeronáutico do Aeroporto de Narita no Japão.....	120
Tabela 12: restrições de uso do solo em função dos limites ANEF nos aeroportos australianos.....	122
Tabela 13: restrições impostas pelas Portarias 13/GM5 e 717/GC-5.....	124
Tabela 14: resumo dos dados do Aeroporto Internacional Salgado Filho...	132
Tabela 15: área com níveis de ruído em L_{EPN} e SEL, para as operações de decolagem, dos principais tipos de aeronaves que operam no Aeroporto Salgado Filho.....	134
Tabela 16: dados utilizados para a determinação da amostra.....	149
Tabela 17: modelos de aeronaves considerados para o cálculo dos índices.	150

Tabela 18: dados considerados para o cálculo dos índices baseados no L_{EPN} e L_{Aeq}	156
Tabela 19: classificação dos meses para determinação do fator S no cálculo WECPNL.....	156
Tabela 20: siglas adotadas para os estabelecimentos de ensino.....	158
Tabela 21: síntese dos dados coletados nos questionários dos alunos em números absolutos e porcentagem.....	170
Tabela 22: síntese dos dados coletados nos questionários dos professores em números absolutos e porcentagem.....	171
Tabela 23: frequência de respostas à questão 1 do questionário dos alunos das escolas CB e LC.....	172
Tabela 24: frequência de respostas à questão 1 do questionário dos alunos das escolas CB e CS.....	172
Tabela 25: frequência de respostas à questão 1 do questionário dos alunos das escolas LC e CS.....	173
Tabela 26: verificação da associação entre incômodo manifestado e sexo nas escolas CB e LC.....	173
Tabela 27: verificação da associação entre incômodo manifestado e sexo nas escolas CB e CS.....	173
Tabela 28: verificação da associação entre incômodo manifestado e sexo nas escolas LC e CS.....	174
Tabela 29: verificação da associação entre incômodo manifestado e elevação no volume de voz nas escolas CB e LC.....	174
Tabela 30: verificação da associação entre incômodo manifestado e elevação no volume de voz nas escolas CS e LC.....	174
Tabela 31: verificação da associação entre incômodo manifestado e elevação no volume de voz nas escolas CB e CS.....	174
Tabela 32: verificação da associação entre incômodo manifestado e deixar de ouvir a professora nas escolas CB e LC.....	175

Tabela 33: verificação da associação entre incômodo manifestado e elevação no volume de voz nas escolas CB e CS.....	175
Tabela 34: verificação da associação entre incômodo manifestado e elevação no volume de voz nas escolas LC e CS.....	175
Tabela 35: verificação da associação entre incômodo manifestado e faixa etária nas escolas CB e LC.....	176
Tabela 36: verificação da associação entre incômodo manifestado e faixa etária nas escolas CS e CB.....	176
Tabela 37: verificação da associação entre incômodo manifestado e faixa etária nas escolas CS e LC.....	176
Tabela 38: verificação da associação entre os ambientes onde o incômodo é maior nas escolas CB e LC.....	177
Tabela 39: verificação da associação entre os ambientes onde o incômodo é maior nas escolas CS e LC.....	177
Tabela 40: verificação da associação entre os ambientes onde o incômodo é maior nas escolas CS e CB.....	178
Tabela 41: verificação da associação entre incômodo manifestado e os ambientes onde o incômodo é maior nas escolas LC e CB.....	178
Tabela 42: verificação da associação entre incômodo manifestado e os ambientes onde o incômodo é maior nas escolas CS e LC.....	178
Tabela 43: verificação da associação entre incômodo manifestado e os ambientes onde o incômodo é maior nas escolas CB e CS.....	179
Tabela 44: verificação da associação entre os ambientes mais silenciosos nas escolas CB e LC.....	179
Tabela 45: verificação da associação entre os ambientes mais silenciosos nas escolas CB e CS.....	180
Tabela 46: verificação da associação entre os ambientes mais silenciosos nas escolas CS e LC.....	180
Tabela 47: verificação da associação entre incômodo manifestado e os ambientes mais silenciosos nas escolas CB e LC.....	181

Tabela 48: verificação da associação entre incômodo manifestado e os ambientes mais silenciosos nas escolas CS e LC.....	181
Tabela 49: verificação da associação entre incômodo manifestado e os ambientes mais silenciosos nas escolas CB e CS.....	181
Tabela 50: verificação da associação entre incômodo manifestado e o ruído em casa e na escola nas escolas LC e CB.....	182
Tabela 51: verificação da associação entre incômodo manifestado e o ruído em casa e na escola nas escolas CS e CB.....	182
Tabela 52: verificação da associação entre incômodo manifestado e o ruído em casa e na escola nas escolas CS e LC.....	182
Tabela 53: resultados das medições externas.....	192
Tabela 54: estimativa de níveis de incômodo em L_{Aeq} , L_{DN} , CNEL e L_{den} ...	193
Tabela 55: estimativa de níveis de ruído em WECPNL e NEF.....	193
Tabela 56: resultados das medições internas.....	201
Tabela 57: tempo de reverberação calculado e inteligibilidade.....	202
Tabela 58: resultados dos cálculos de perda de transmissão dos fechamentos externos.....	203
Tabela 59: dados da medição piloto na escola CB	265
Tabela 60: dados da medição piloto na escola LC.....	268

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: perda de transmissão.....	40
Equação 2: frequência de ressonância.....	42
Equação 3: velocidade da onda longitudinal.....	43
Equação 4: perda de transmissão em função da massa e da frequência.....	43
Equação 5: comprimento de onda de ressonância.....	44
Equação 6: frequência crítica.....	44
Equação 7: perda de transmissão em parede dupla.....	45
Equação 8: frequência-massa-ar-massa.....	45
Equação 9: perda de transmissão para fechamentos compostos.....	46
Equação 10: perda de transmissão do vidro.....	47
Equação 11: espaçamento entre folhas de vidro em janelas.....	48
Equação 12: perda de transmissão para janelas sobrepostas.....	50
Equação 13: espaçamento entre janelas sobrepostas.....	51
Equação 14: tempo de reverberação por Sabine.....	53
Equação 15: tempo de reverberação por Eyring.....	54
Equação 16: tempo de reverberação ótimo.....	54
Equação 17: nível equivalente contínuo L_{eq}	85
Equação 18: <i>Day Night Level</i> – L_{DN}	85
Equação 19: <i>Community Noise Equivalent</i> – CNEL.....	86
Equação 20: <i>Day Evening Night Level</i> – L_{den}	86
Equação 21: nível efetivo de ruído percebido – L_{EPN}	87
Equação 22: <i>Noise Exposure</i> – NE.....	88

Equação 23: <i>Noise Exposure Forecast</i> – NEF.....	88
Equação 24: <i>Noise Exposure Measurements</i> – NEM.....	89
Equação 25: <i>Noise Exposure Measurements</i> para os períodos diurno e noturno – NEM.....	89
Equação 26: <i>Noise Exposure Measurements</i> – NEM	89
Equação 27: WECPNL para o período de um ano.....	90
Equação 28: WECPNL para eventos isolados.....	90
Equação 29: Nível equivalente contínuo segundo a duração do evento.....	94
Equação 30: IPR para o período de um dia.....	97
Equação 31: IPR para o período de um dia.....	97
Equação 32: IPR para níveis medidos.....	98
Equação 33: amostra para população finita.....	149
Equação 34: Qui-quadrado.....	150
Equação 35: frequência esperada.....	151
Equação 36: Graus de Liberdade.....	151

1 INTRODUÇÃO

As relações humanas e suas interações com os elementos físicos se manifestam no meio ambiente e, muitas das atividades humanas, têm modificado as características naturais, causando desequilíbrios nas cidades. Dessa forma, podem-se relacionar muitas das transformações sociais com aspectos de evolução urbana ligados à degradação ambiental.

No cenário internacional, o final do século XIX e início do século XX marcou o surgimento do traçado da malha urbana, com destaque para as largas avenidas, que, entretanto, acabaram por desvalorizar o espaço do cidadão. Quanto ao planejamento urbano, este se caracterizou por um jogo de interesses entre especuladores financeiros e imobiliários (FRANCO, 2001). Naquele momento, os sistemas de transporte passaram a ter prioridade no planejamento das cidades, e o impacto ambiental, gerado pela abertura de vias de tráfego e pela implantação de aeroportos, foi desconsiderado.

Desde sua etapa inicial de construção, os aeroportos são equipamentos urbanos modificadores do meio ambiente, e os principais impactos são decorrentes, diretamente, da operação das aeronaves, como o ruído aeronáutico e a emissão de gases dos motores (ALVES, 2003). Sendo que, dentre os impactos relacionados à implantação de um aeroporto, o ruído é considerado o fator determinante de alterações na vida da população que exerce algum tipo de atividade em sua proximidade.

Alves (2003) afirma que os impactos causados pela implantação de aeroportos são uma preocupação recente e que, antes, as decisões de implantação obedeciam a critérios ligados ao conhecimento tecnológico, de engenharia e econômico, sempre relacionados aos usuários do transporte aéreo. Ainda segundo Alves, atualmente, os critérios de implantação devem levar em conta impactos econômicos, sociais, ambientais e ecológicos, que estejam ligados aos usuários e também aos não usuários do transporte aéreo.

No Brasil, em especial a partir de 1950, a estrutura das cidades foi profundamente modificada pelo crescimento demográfico, pela transformação dos meios de transporte e dos modos de produção. Em 1964, com o desenvolvimento econômico, especialmente nas metrópoles industrializadas, ocorreu o adensamento da malha urbanizada, acarretando os aumentos da

especulação com o solo urbano e da implantação de grandes projetos de intervenção (VERÍSSIMO *et al.*, 2001).

A implantação de um aeroporto, geralmente, é feita em grandes áreas desocupadas que, devido à distância das áreas centrais, possuem um valor inicial de mercado muito baixo (IAC, 1998, v. 5, p. 4). Nessas áreas, os terrenos costumam ser comprados, urbanizados, edificados e vendidos por um preço acessível, resultando em um bom lucro para o empreendedor. Justamente devido ao baixo custo dos imóveis, as comunidades vizinhas aos aeródromos cresceram de modo acelerado (KNIPPLING, 1998, p.155).

Veríssimo *et al.* (2001) relatam que, com o desenvolvimento da tecnologia da construção visando atender a problemas essenciais, semelhantes em algumas cidades brasileiras, foi imposto um padrão construtivo extremamente simplificado. Esse padrão, muitas vezes, visava apenas à redução do custo da construção, negando aspectos de desempenho e durabilidade das edificações. O chamado padrão construtivo, muitas vezes, não leva em consideração sequer a orientação solar das edificações, muito menos o clima de ruído no local da obra. Um exemplo dessa situação é o das Escolas Estaduais no Rio Grande do Sul, que podem ser encontradas com as mesmas características construtivas, tanto em áreas rurais distantes, quanto na margem de rodovias, e também dentro da Zona de Ruído do Aeroporto Salgado Filho.

Ornstein e Borelli (apud FISCHER, 2000) relatam que o início da produção de prédios escolares padronizados no Brasil teve experiências em São Paulo, por volta de 1954, e no Rio Grande do Sul, na década de 60. O primeiro padrão adotado para prédios escolares gaúchos, chamados de *Brizoletas*, seguia critérios de baixo custo e rápida execução, com a aparência de um galpão de madeira. A partir da década de 70, foram construídos prédios para atender à formação profissionalizante, com um novo padrão construtivo, oferecendo maior qualidade nos materiais e nos equipamentos (LIMA, 1992). Já no final dos anos 70, o ensino profissionalizante foi desativado, e os prédios foram adaptados para escolas de 1º e 2º graus. A década de 80, em função da crise econômica, marca a diminuição da qualidade dos prédios escolares.

Fischer (2000) afirma que, entre 1940 e 1980, 72% das escolas atualmente existentes em Porto Alegre já estavam estabelecidas, sendo que o número total existente hoje é o mesmo do final da década de 80. A autora complementa que os padrões do último período, apesar de

possuírem nomes diferenciados, apresentam uma tipologia semelhante: alvenaria aparente com sistema estrutural modular, dois ou três pavimentos e pátio interno.

1.1 Justificativa

O ruído aeronáutico pode produzir uma grande variedade de efeitos psicossociais e econômicos na população os quais, segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2001), pode incluir: interferência na qualidade de vida e no conforto, efeitos na performance escolar, na qualidade do sono e na perda de valor dos imóveis localizados no entorno dos aeroportos.

Mesmo sendo considerado, para muitos, como um grande inconveniente, a proximidade de um aeroporto possui vantagens econômicas, no aumento de atividades relacionadas ao transporte aéreo, e sociais, na geração de empregos ligados a essas atividades. No entanto, para que não sejam criados problemas derivados da falta de planejamento, é necessário que, na implantação ou ampliação de um aeroporto, sejam realizados estudos de impacto ambiental, onde o ruído aeronáutico tenha o peso de um grande definidor da qualidade de vida da população afetada.

Atualmente, as áreas dentro das curvas de ruído dos aeroportos brasileiros são gerenciadas pelo Comando da Aeronáutica, responsável pela aprovação de obras dentro dos limites estipulados. Os estudos para determinar o nível de isolamento acústico das edificações, ao redor dos aeroportos, são feitos a partir de uma estimativa dos níveis de ruído, com base em uma simulação via *software*. Atualmente não são realizados programas de monitoramento do ruído nos aeroportos brasileiros. Logo, o clima acústico dessas áreas não é verificado, ao contrário do que ocorre nos países da América do Norte e da Europa.

O monitoramento do ruído, nas comunidades vizinhas aos aeroportos, é utilizado como uma ferramenta para determinar o impacto das operações aeronáuticas e o grau de incômodo da população. O monitoramento consiste de medições, com estações fixas ou móveis, que produzem dados acústicos para a decisão de medidas de atenuação do ruído, no caso das áreas mais ruidosas. Essas medidas visam reduzir o impacto do ruído na qualidade de vida de população e, muitas vezes, são motivadas em função de ações judiciais da comunidade. As medidas podem incluir definições do uso do solo, restrições construtivas, restrições de

operação do aeroporto e, em áreas com edificações existentes, tratamento acústico das edificações.

Com este trabalho se pretende dar continuidade à linha de pesquisa em ruído ambiental do NORIE/UFRGS. As primeiras pesquisas tiveram como tema o ruído de tráfego veicular, iniciada em 1995 por Rott, seguida por Maia, em 2003. Com esta tese, inicia-se a inclusão do ruído aeronáutico dentro da pesquisa sobre ruído ambiental na cidade de Porto Alegre.

1.2 Problema de pesquisa

As questões que se colocam para esta pesquisa podem ser classificadas, conforme Yin (2005), como um problema que indica pouco controle sobre os acontecimentos, com o foco fixado em fenômenos contemporâneos do contexto da vida social. Portanto, a partir de uma observação inicial, relacionada à proximidade de duas escolas com a pista do Aeroporto Salgado Filho, os problemas foram definidos:

- Como o ruído aeronáutico é percebido nas atividades escolares das escolas da Zona I do PEZR do Aeroporto Internacional Salgado Filho?
- A percepção e o incômodo do ruído aeronáutico dos professores e alunos é compatível com os níveis de ruído da área?

1.3 Hipóteses

A suposição que orienta a investigação para este trabalho surgiu de fontes referentes à observação e resultados de outras pesquisas, conforme classifica Gil (1991). Com a observação da área de estudo, pode-se notar que o padrão construtivo das escolas, de um modo geral, é o mesmo utilizado em outras áreas da cidade, que não se localizam na trajetória de vôo das aeronaves do Salgado Filho. Por outro lado, várias pesquisas fora do Brasil¹ alertam para a necessidade de monitoramentos constantes do ruído aeronáutico no entorno de

¹ As pesquisas estão relatadas no Capítulo 4, que se fundamenta, basicamente, nas seguintes referências: ACNUSA, 2004; ANA, 2004; AUSTRÁLIA, 2000, 2005; IAC, 1998; VALLET, 1999; USA, 2004.

aeroportos, incluindo a divulgação dos resultados, para que se possam encaminhar soluções para os problemas relativos ao conforto acústico das edificações. Além disso, pesquisas² que envolvem a avaliação da exposição crônica, de crianças e adolescentes, também mostram fortes evidências do transtorno nas atividades escolares. Logo, a hipótese para este estudo é a seguinte:

Os níveis de ruído a que estão expostos os usuários das escolas localizadas na zona de ruído do PEZR do Aeroporto Salgado Filho, que têm origem no tráfego aéreo, podem gerar alterações e perturbações nas atividades escolares.

Nesse sentido, as alterações e perturbações, consideradas neste trabalho, são delimitadas, partindo-se de seus respectivos pressupostos:

- a) alterações do uso dos espaços externos: a área é considerada altamente ruidosa e os níveis de ruído verificados impedem o uso prolongado das quadras esportivas;
- b) deficiência na comunicação dentro de sala de aula: o prédio não oferece tratamento adequado para proteção do ruído e, dentro das salas de aula, o ruído deve impedir a comunicação durante a passagem dos aviões;
- c) manifestação de insatisfação com relação ao ruído: o nível de ruído esperado deve provocar perturbações, em função das reações humanas relacionadas aos níveis sonoros inadequados.

² O capítulo 2, seção 2.5.4, aborda o assunto de forma mais detalhada e as principais referências são: GIFFORD, 1998; JIGGINS e BERRY, 2001; MAXWELL e EVANS, 2000; PORTER *et al.*, 1988; WHO, 2001.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo geral

Medir os níveis de ruído e avaliar a percepção e o incômodo do ruído aeronáutico, nas escolas localizadas dentro dos limites do PEZR – Plano Específico de Zoneamento de Ruído –, do Aeroporto Internacional Salgado Filho, a partir de critérios quantitativos e qualitativos.

1.4.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram elaborados como forma de delimitar as etapas para se alcançar o objetivo geral. Logo, pretende-se também:

- a) verificar se os níveis de ruído medidos, *in loco*, estão dentro dos limites das curvas de ruído estipuladas no PEZR;
- b) comparar as ações no tratamento do ruído aeronáutico, para fins de zoneamento de uso do solo, utilizados no Brasil, com as de outros países;
- c) estudar parâmetros que definem os níveis de incômodo, gerados pelo ruído aeronáutico, e comparar com as avaliações de percepção;
- d) avaliar se as características construtivas das escolas são adequadas à exposição do ruído no local.

1.5 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado de modo a fornecer um entendimento geral sobre o ruído aeronáutico, considerando-se o estudo de caso das escolas no entorno do Aeroporto Internacional Salgado Filho, bem como atender aos objetivos propostos e testar as hipóteses levantadas.

O capítulo 1 apresenta a introdução da tese e situa a importância do ruído aeronáutico dentro do contexto social e científico, bem como apresenta o problema de pesquisa, os objetivos e hipóteses do trabalho.

No capítulo 2, inicia-se a revisão bibliográfica e são apresentados conceitos e definições de ruído, com enfoque no isolamento do ruído aéreo em edificações. No indicativo 2.4 é feita uma abordagem sobre o ruído em prédios escolares onde são apresentados os parâmetros de qualidade acústica de salas, tempo de reverberação e inteligibilidade, para ambientes escolares. Neste capítulo, também são comentadas pesquisas que relacionam a exposição ao ruído aeronáutico com a qualidade de vida, tendo como foco a influência na performance escolar.

O capítulo 3 apresenta uma revisão sobre avaliação do ruído aeronáutico, comentando medições e índices de exposição da população, utilizados em alguns países. Neste capítulo, estão expostas informações sobre a evolução dos modelos matemáticos para avaliação do incômodo em comunidades vizinhas aos aeroportos.

O capítulo 4 finaliza a revisão bibliográfica da tese e apresenta a forma como o ruído no entorno dos aeroportos é tratada em algumas cidades nos Estados Unidos, França, Japão e Austrália. Neste capítulo, também é apresentado um breve histórico do Aeroporto Internacional Salgado Filho, com a finalidade de estabelecer, posteriormente, uma relação entre alterações construtivas e o impacto no entorno imediato.

O capítulo 5 expõe como o método do estudo dos casos é abordado, com a descrição dos procedimentos metodológicos adotados. O capítulo também apresenta os objetos de estudo e mostra as principais características de cada escola, bem como sua localização na malha urbana.

No capítulo 6, são mostrados os dados coletados, as análises e interpretações que resultam na avaliação da percepção do ruído aeronáutico.

As conclusões e considerações finais são apresentadas no capítulo 7, bem como as recomendações para futuros trabalhos.

2 O RUÍDO

O ruído faz parte do cotidiano de todas as pessoas que residem em centros urbanos; ele nunca pára e é de difícil definição com relação a suas características físicas. Para se medir o ruído, é necessário caracterizar o tipo de fonte, principalmente para poder definir os parâmetros do equipamento a ser utilizado.

2.1 Definições de ruído

As características físicas do som podem ser especificadas conforme sua frequência, intensidade e duração. O ruído tem sido caracterizado simplesmente como uma falta de correlação ou frequência aleatória do espectro e, atualmente, o ruído pode ser definido como todo o som desagradável ou indesejável ao receptor (ABNT, 1990; GERGES, 2000).

A Figura 1 mostra uma relação entre os níveis de pressão sonora emitidos por diferentes fontes. A pressão sonora audível pode variar dentro de uma faixa muito ampla, entre 20 μPa (20×10^{-6} Pa) e 100 Pa. Como o intervalo entre esses dois extremos é na ordem de centenas de milhões de unidade, a utilização da escala logarítmica, em decibéis (dB), é mais prática para expressar os parâmetros acústicos da audibilidade humana. O valor de 20 μPa , ou 0 dB, corresponde ao limiar da audibilidade humana e a pressão sonora de aproximadamente 100 Pa, ou 120 dB, ao limiar da dor.

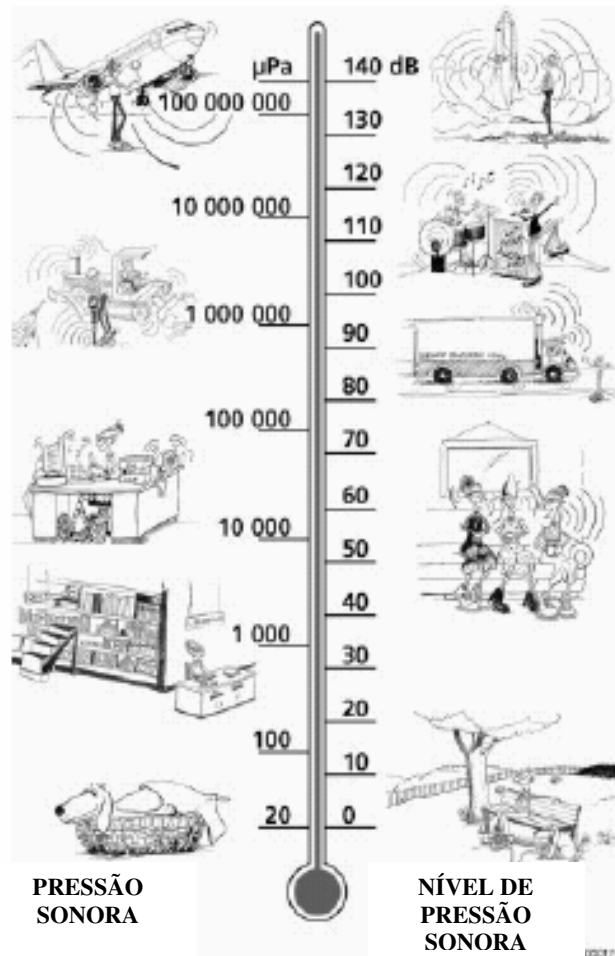


Figura 1: comparativos de pressão sonora e níveis de pressão sonora.
(Fonte: adaptado de BRUEL & KJAER, 2001)

O contexto sonoro também é muito importante, no caso da reação ao ruído ocorrer para um som não esperado. Os ruídos, seja aeronáutico, seja do tráfego rodoviário ou industrial podem ser mais tolerados por algumas pessoas, por causa dos benefícios econômicos relacionados às atividades. Porém, essa situação só pode ser aceitável quando o ruído não é percebido ou não é freqüente em função dos riscos que pode haver à saúde.

Com relação à duração, o ruído pode ser classificado em três tipos: contínuo, intermitente e impulsivo.

O ruído contínuo é aquele originado do funcionamento ininterrupto de máquinas ou equipamentos, e a medição durante alguns minutos pode ser suficiente para caracterizá-lo.

Segundo a TB 389 (ABNT, 1990), ruído contínuo é aquele que “no intervalo de tempo considerado, apresenta variação inferior ou igual a 6 dB”.

O ruído impulsivo, normalmente originado de impactos ou explosões, ocorre em um espaço de tempo bem menor, e sua energia sonora é concentrada. Nesse caso do ruído impulsivo, a seleção de resposta *fast* ou *slow*, no equipamento de medição, é de grande importância, pois, como se pode observar na Figura 3, a resposta *fast* identifica com maior fidelidade a relação com o tempo de emissão sonora. O curto tempo de duração de um ruído de impacto é sua principal característica, pois sua duração deve ser inferior a 1 segundo, com intervalos maiores que 1 segundo (ABNT, 1990)

O ruído intermitente caracteriza o som emitido por máquinas ou equipamentos em ciclos, como, por exemplo, a passagem isolada de veículos ou a passagem de um avião. O nível de pressão sonora de um ruído intermitente deve apresentar uma variação superior a 6 dB (ABNT, 1990). Nesse caso, cada evento deve ser medido, e o procedimento de medição deve ser como o do ruído contínuo.

O perfil gráfico de cada tipo se encontra nas Figuras 2 a 4, onde são mostradas as relações entre o nível de pressão sonora e o tempo.

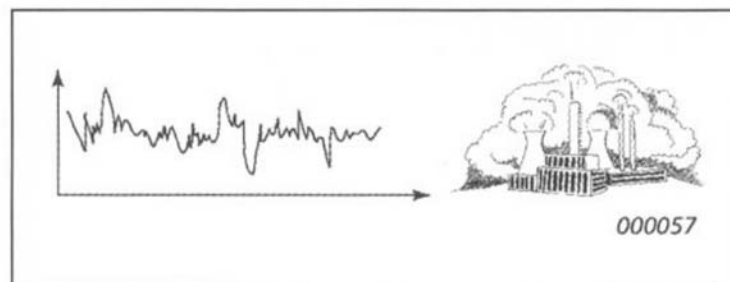


Figura 2: perfil gráfico do ruído contínuo. (Fonte: BRUEL & KJAER, 2001)

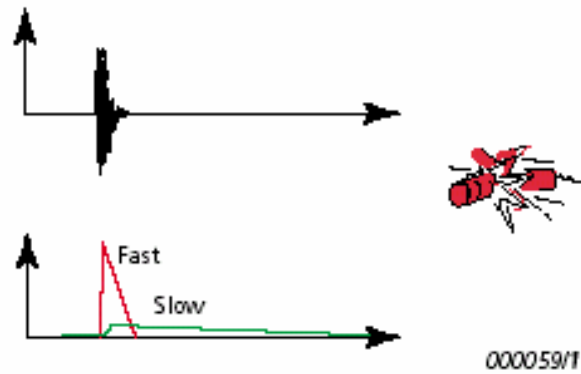


Figura 3: perfil gráfico do ruído impulsivo. (Fonte: BRUEL & KJAER, 2001)

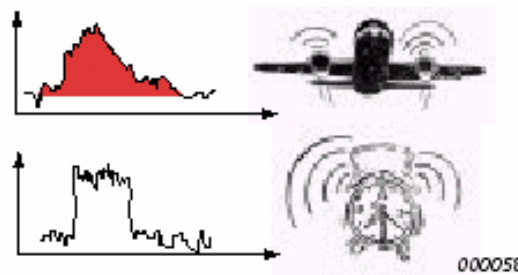


Figura 4: perfil gráfico do ruído intermitente. (Fonte: BRUEL & KJAER, 2001)

2.2 Percepção humana e reações ao ruído

As características da audição humana são o principal fator a se levar em conta na análise de dados provenientes de uma medição com um medidor de nível de pressão sonora, ou um analisador de espectro. Ou seja, devem-se entender as relações entre as propriedades físicas medidas e a percepção humana do som, porque diferentes fontes de ruído produzem reações diferentes nas pessoas.

A definição de ruído possui um componente muito subjetivo, desde que o estímulo sonoro seja processado na cóclea e no cérebro e, posteriormente, submetido a uma interpretação psicológica, a qual varia de indivíduo para indivíduo (SANTOS, 1999). Isso pode ser percebido diante de um número de harmônicos ou frequências correlatas, nas quais o som

total é interpretado, por alguns, como ruído e por outros, como música. No entanto, dependendo do contexto para se entender o tipo de som, é possível considerar um som como ruído ou não, isto é, o sobrevôo de uma aeronave acima de um certo nível de pressão sonora, pode ser considerado pela maioria como ruído. Porém dependendo do contexto, a música de câmara, por exemplo, no mesmo nível de pressão sonora, no qual o som é considerado como ruidoso, é encarado de modo diferente.

Para se incorporar em características da reação auditiva humana, dentro de uma medição de ruído, é desejável que o nível de pressão sonora se relacione razoavelmente com a percepção humana do som. No entanto, o desenvolvimento de escalas para fontes específicas envolve estágios de processos complexos, que podem abranger a relação entre resposta humana do som, em termos de volume e incômodo, duração e impulsividade da fonte de ruído e comportamentos ou atitudes subjetivas diante de determinadas fontes.

A manifestação de incômodo, em relação ao ruído, é utilizada como uma das formas de se medir a resposta humana ao som. Broadbent (1957) afirma que o comportamento humano, derivado da percepção do ruído, pode ainda ser verificado nas reações psicológicas, verificadas em exames de taxa de respiração e outros testes fisiológicos, além da quantificação de eficiência para a realização de algumas tarefas. O som, assim como outros tipos de estímulos, podem provocar reações de atração ou repulsa (BROADBENT, 1957), que estão ligadas à percepção ambiental de cada pessoa. O autor coloca ainda que, em pesquisas com a finalidade de verificar o incômodo de comunidades próximas a aeroportos, é comum que a grande maioria das pessoas que reclama do ruído das aeronaves manifeste também medo de que a aeronave caia em cima de suas casas e medo de utilizar o avião como meio de transporte. No entanto, Broadbent (1957) pondera que, na avaliação da percepção do ruído, devem-se evitar dois tipos de erro de interpretação: definir o tipo de dano em função da fonte e concluir que, na ausência de relato de incômodo, não existe dano.

Para se determinar a reação ao ruído, deve-se ir além das medições físicas de exposição ao ruído, porque, para uma variedade de sons, é necessário que seja considerada uma ampla variedade de reações auditivas entre as pessoas.

Egan (1988) e Szokolay (1980) estabelecem subdivisões entre os limites da audição humana, com uma relação entre algumas atividades. Segundo Egan (1988), a fala, ou conversação, pode variar entre 50 e 75 dB e a partir de 100 dB, pode haver surdez temporária, o que pode

ser produzido por concertos de música ou corridas de motocicleta. Szokolay (1980) afirma que níveis acima de 65 dB podem causar fadiga mental e física. Acima de 120 dB, nível correspondente à operação de decolagem de um jato a, aproximadamente, 90 metros de distância, os danos são prejudiciais à audição humana (EGAN, 1988) e um ruído de 150 dB causa perda instantânea da audição (SZOKOLAY, 1980).

Tabela 1: níveis de pressão sonora e efeitos na audição humana.

NPS (dB)	SITUAÇÃO RELACIONADA	EFEITOS DO RUÍDO
20	Salas para testes audiométricos.	
50 a 75	Ambientes de escritório. Cabine de um Boeing 757 durante o voo. Áreas próximas a vias de tráfego moderado.	Fadiga mental e física a partir de 65 dB.
90	Áreas próximas vias de tráfego intenso.	Muitos anos de exposição podem causar perda permanente de audição
100	Alguns tipos de eventos musicais. Corridas de motocicleta.	Perda temporária da audição. Danos irreparáveis aos órgãos auditivos
120	Decolagem de um jato a 90 metros de distância.	Dor
150	Operação da uma turbina de um jato a 22 metros de distância.	Perda instantânea da audição

(Fonte: EGAN, 1988; SZOKOLAY, 1980)

Ao longo da história, o ruído foi usado, freqüentemente, como um tipo de estímulo nas guerras e situações de combate, através do uso de tambores, explosivos e gritos, como uma forma de intimidação e, de modo geral, pode existir uma associação entre ruído e situações de perigo.

2.3 Isolamento acústico do ruído aéreo

Quando uma onda sonora incide sobre uma superfície, parte de sua energia é absorvida, outra é refletida e outra é transmitida. O isolamento informará sobre a quantidade de energia transmitida em relação à incidente.

Pode-se definir dois tipos de isolamento para um mesmo plano: isolamento do ruído aéreo e isolamento do ruído de impacto, que estão relacionados com as diferentes formas de

transmissão do som. O ruído de impacto é aquele transmitido por corpos sólidos que, em edificações, é referido como som transportado pelas estruturas. Para este trabalho, será sempre considerado como isolamento o isolamento do ruído aéreo, ou seja, originado de fontes sonoras que utilizam o ar como meio de transmissão do som.

O isolamento pode, ainda, ser considerado como de:

- um material: tijolo, concreto, vidro;
- um elemento construtivo: porta, janela, parede;
- um fechamento em conjunto: parede, cobertura, separação entre dois locais.

A energia sonora transmitida por um desses elementos dará origem a uma vibração mecânica que, depois de propagar-se em seu interior, se transformará em ondas sonoras, com uma perda de energia devido a reflexões e absorção interna do material.

O valor do isolamento, para os componentes de uma edificação, é determinado em laboratório, segundo a perda de transmissão PT . A perda de transmissão PT relaciona a energia sonora que incide em um fechamento e a energia sonora transmitida (GERGES, 2000; PUJOLLE, 1978). Valores elevados de perda de transmissão caracterizam fechamentos com baixa transmissão de energia acústica.

$$PT = 10 \log \frac{I_1}{I_2} \quad (\text{equação 1})$$

Sendo que: I_1 é a energia sonora incidente; I_2 é a energia sonora transmitida.

Diversos modelos teóricos têm sido desenvolvidos, a partir dos quais se tem obtido uma série de expressões matemáticas que permitem o cálculo, de forma muito aproximada, do valor de isolamento previsto para diversos tipos de fechamentos padrão, mas não se pretende desenvolvê-los neste estudo. É importante destacar que, na prática, quando se admite um valor de isolamento de um determinado material construtivo, recorre-se aos valores obtidos em câmaras de ensaio e não às expressões teóricas. Assim mesmo, é importante levar em conta que o valor do isolamento de um fechamento obtido em laboratório é decorrente da

instalação adequada que se diferencia, em muitas vezes, do tipo de instalação dos materiais na obra.

Segundo Kinsler *et al.* (1982), o isolamento acústico pode ser avaliado por único número, que representa o valor da perda transmissão, *PT*, de um fechamento. Gerges (2000) esclarece que esse número é denominado de classe de transmissão de som nominal, *CTS*, e é determinada através da comparação da perda de transmissão, *PT*, nas frequências centrais de banda de oitava entre 125 Hz e 4000 Hz, com uma curva padrão de *CTS*, para um determinado material.

Tabela 2: classe de transmissão sonora, *CTS*, para alguns materiais de construção.

CTS	Material	Espessura (cm)
40	Parede de tijolos	10
45	Parede de tijolos maciços	25
30	Madeira compensada	1,9
53	Concreto armado	10

(Fonte: EGAN, 1988; GERGES, 2000)

Kinsler *et al.* (1982) afirmam que, em função da diferença na qualidade de instalação dos materiais, na obra e em laboratório se deve prever uma diferença de 5 dB nos valores de *CTS*. Gerges (2000) também esclarece que, mesmo que a perda de transmissão sonora dependa da frequência, o *CTS* facilita o estudo comparativo inicial para determinar o isolamento de um fechamento.

2.3.1 Isolamento de fechamentos simples

Segundo Pujolle (1978), o isolamento acústico depende da frequência emitida pela fonte, da massa do fechamento e das condições de vedação das extremidades da superfície. No caso de um fechamento simples, as propriedades de isolamento variam consideravelmente com a frequência, podendo-se distinguir três regiões de comportamento diferenciado: ressonância para as baixas frequências, massa para frequências médias e de coincidência para altas frequências. A Figura 5 mostra a curva de isolamento em função da frequência onde estão delimitadas as referidas regiões.

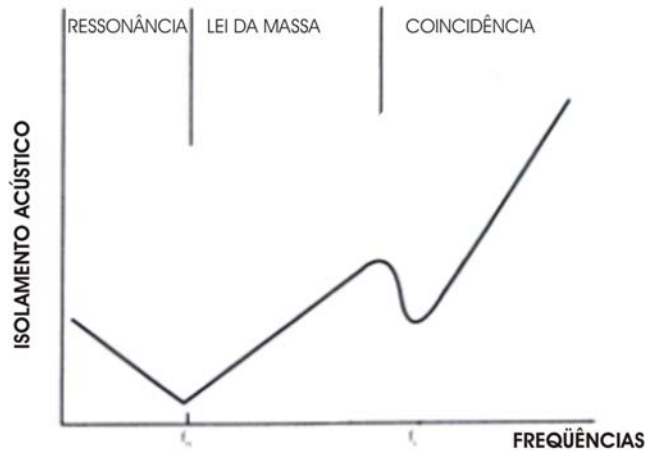


Figura 5: isolamento acústico de uma parede simples. (Fonte: adaptado de SANCHO; SENCHERMES, 1982)

2.3.1.1 Região afetada pela ressonância

Em situações de baixas frequências, o fechamento se comporta como uma placa vibrante, e o isolamento decai com a frequência, sendo afetado, assim mesmo, pelas frequências próprias de ressonância. A frequência de ressonância depende das propriedades físicas dos materiais, dimensões e condições de vedação do fechamento. Szokolay (1980) esclarece que cada fechamento possui uma frequência fundamental de ressonância que, sob um estímulo, poderá vibrar nessa frequência, anulando o efeito de redução do som.

A frequência de ressonância fundamental, f_r , de um fechamento retangular, de sustentação livremente apoiada, é dada por:

$$f_r = 0,45c_1b \left[\left(\frac{1}{l} \right)^2 + \left(\frac{1}{h} \right)^2 \right] \quad (\text{equação 2})$$

Sendo que: b é a espessura em m ; l a largura em m ; h a altura em m ; c_1 a velocidade longitudinal do som no fechamento em m/s .

Para a determinação da velocidade da onda longitudinal no sólido, c_l , tem-se que:

$$c_l = \frac{E}{[\rho_m(1-\nu^2)]} \quad (\text{equação 3})$$

Sendo que: E é o módulo de Young em N/m^2 ; ρ_m é a densidade do material em kg/m^3 ; ν o coeficiente de Poisson do material.

2.3.1.2 Região controlada pela lei da massa

Neste intervalo de frequência, o comportamento de uma parede simples é regido por sua massa. De um modo geral, o isolamento de uma parede simples aumenta com o acréscimo de sua massa. Para esse intervalo de frequências, são utilizadas expressões matemáticas para o isolamento, PT , em função da massa e da frequência (GERGES, 2000; PUJOLLE, 1978):

$$PT = 20 \log(Mf) - 47 \quad (\text{equação 4})$$

Sendo que: M é a densidade superficial em kg/m^2 ; f a frequência sonora incidente em Hz.

O isolamento aumenta 6 dB a cada duplicação da frequência, e a cada duplicação da densidade superficial do material. No entanto, Szokolay (1980) afirma que, devido às várias imperfeições dos fechamentos, na prática, o usual é um aumento de 5 dB para cada duplicação da massa.

2.3.1.3 Região do efeito de coincidência

Em determinadas condições, as ondas de flexão (λ_F), que são geradas na vibração de uma parede, podem entrar em ressonância com a onda incidente (λ), ocasionando o fenômeno

denominado coincidência. A coincidência ocorre quando a longitude da onda sonora incidente é igual à longitude de onda de flexão livre ao longo do fechamento.

A ressonância será produzida para os sons incidentes, cujo comprimento de onda cumpra e relação:

$$\lambda = \lambda_F \text{ sen } \theta \quad (\text{equação 5})$$

Sendo que: λ é o comprimento de onda sonora em metros; λ_F é o comprimento de onda a flexão originada na partição; θ é o ângulo de incidência.

Acima da frequência crítica, a parede simples não obedece à lei de massa, passando novamente a ter um comportamento similar a uma placa. Segundo Gerges (2000), a condição de coincidência é chamada crítica quando a incidência for igual a 90° , ou normal ao fechamento. A frequência crítica é dada por:

$$f_c = \frac{c^2}{1,8c_1h} \quad (\text{equação 6})$$

Sendo que: c é a velocidade do som no ar em m/s; h a espessura do fechamento em m; c_1 é a velocidade da onda longitudinal no sólido.

Para a determinação da velocidade da onda longitudinal no sólido, ver a equação 3.

O isolamento será reduzido bruscamente na frequência crítica, e Szokolay (1980) afirma que a PT na frequência crítica será reduzida em mais de 20 dB.

2.3.2 Isolamento de fechamentos compostos

Com a finalidade de aumentar o isolamento de um fechamento, recorre-se à construção de sistemas formados por mais de uma camada de materiais diferentes. Dessa forma, pode-se viabilizar construtiva e economicamente um fechamento, sem usar apenas o critério de aumento da massa.

A perda de transmissão, PT , de uma parede dupla pode ser determinada da seguinte forma:

$$PT = PT_1 + PT_2 + 6,0 + 20 \log \left(\sin \frac{2\pi f h_1}{c} \right) \quad (\text{equação 7})$$

Sendo que: PT_1 e PT_2 são as perdas de transmissão das paredes 1 e 2 do fechamento; h_1 o espaçamento entre as duas paredes, em m ; f é a frequência, em Hz ; c a velocidade do som, em m/s .

O termo contendo a função *seno*, equação 7, pode resultar em valores nulos, que significa a ocorrência de ressonância acústica na cavidade de ar entre os dois fechamentos, e, portanto, uma baixa perda de transmissão. Gerges (2000) recomenda que o espaço de ar entre os dois fechamentos seja preenchido com material de absorção acústica.

A condição da diminuição da PT , em função da formação de um sistema mecânico ressonante, é dada pela frequência massa-ar-massa, ou f_{mam} , da seguinte forma:

$$f_{mam} = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho}{h_1} \left[\frac{m_1 + m_2}{m_1 m_2} \right]} \quad (\text{equação 8})$$

Sendo que: c é a velocidade do som, em m/s ; ρ é a densidade do material em kg/m^3 ; h_1 é a espessura da cavidade de ar, em m ; m_1 e m_2 são as densidade de superfície dos fechamentos, em kg/m^2 .

Segundo Gerges (2000), o uso de paredes de espessuras e/ou materiais diferentes evita a coincidência das frequências críticas nas duas paredes simultaneamente.

2.3.3 Características de isolamento de elementos construtivos

Nas construções convencionais, podem-se encontrar elementos com fraco desempenho acústico em comparação aos modelos confeccionados em laboratórios para ensaios acústicos. As frestas provocadas, muitas vezes, pela falta de qualidade do elemento construtivo, ou de sua instalação, diminuem substancialmente a resistência sonora de um fechamento. Segundo Gerges (2000), esses elementos podem ser considerados como “acusticamente transparentes” e, muitos autores (BARING, 1991; GERGES, 2000; SANCHO & SENCHERMES, 1982), apontam as portas e janelas como os pontos que devem ter maior atenção no projeto de isolamento acústico.

A perda de transmissão, PT , para um fechamento composto é dada por:

$$PT = 10 \log \frac{\sum S}{\sum \tau S} \quad (\text{equação 9})$$

Sendo que: S é a área da superfície em m^2 ; τ é o coeficiente de transmissão sonora.

Os pequenos espaços entre a folha e o marco constituem o ponto mais frágil do isolamento acústico das portas. O isolamento acústico de portas, mesmo com boa vedação, não obedece aos valores da lei da massa, devido às suas dimensões serem menores que as da parede onde estão inseridas.

As janelas são as superfícies de contato com o meio externo com maior possibilidade de transmissão acústica e, a partir do movimento moderno na arquitetura, suas dimensões têm aumentado, limitando o desempenho acústico do conjunto da fachada. Por ser um elemento de interface com as áreas externas, as janelas possuem uma grande importância no conforto acústico de ambientes internos nos centros urbanos. O isolamento das fachadas possui uma

dependência muito grande da qualidade acústica das janelas, as quais, muitas vezes, podem requerer esquadrias fixas, ocasionando a necessidade de ventilação mecânica.

O efeito da inserção de uma janela, em uma parede de tijolos, pode ser bem maior que o representado pela área da abertura. Egan (1988) estabelece uma relação entre a área de uma janela, com vidro simples, e a área de uma parede de tijolos de um mesmo fechamento, na qual a janela, ocupando a área de 1/4 do fechamento, reduz o PT de 50 para 26 dB.

Pujoulle (1978) afirma que o isolamento de uma janela depende das características do vidro: densidade superficial, espessura e qualidade da vedação. Nas janelas de vidros simples, com boa vedação, o isolamento pode ser aumentado com o aumento da espessura do vidro. Baring (1991) comenta que as janelas comuns resolvem a maioria dos problemas de controle de ruído de fachadas, desde que instaladas adequadamente, com cuidado específico nas vedações. A variação do isolamento, em função da espessura, para uma massa específica de 2.500 kg/m³, pode ser expresso pela seguinte equação, segundo Pujoulle (1978):

$$PT_V = 17 \log e + 11 \quad (\text{equação 10})$$

Sendo que: e é a espessura do vidro em mm.

Aplicando-se a equação 10 para as espessuras de vidros usuais, temos os seguintes resultados:

Tabela 3: valores de PT em função da espessura do vidro.

Espessura (mm)	PT (dB)
3	19,1
4	21,2
5	22,9
6	24,2
10	28

A equação apresentada por Pujoulle (1978) refere-se à perda de transmissão de janelas expostas ao ruído rosa, em medições de laboratório. Os valores da Tabela 3 são muito

próximos aos valores encontrados na aplicação da equação 4, apenas para a frequência de 250 Hz. Nas frequências entre 2000 e 4000 Hz, segundo a lei da massa, o isolamento acústico decai bruscamente.

Assim como nas paredes e portas, o aumento do isolamento pode ser obtido com a utilização de peças duplas, ou triplas, com uma câmara de ar. O comportamento desse tipo de sistema é semelhante ao massa-ar-massa da parede dupla. Como a massa do vidro é relativamente baixa, a rigidez do sistema, dada pela espessura da câmara de ar, deverá ser grande, para que se assegure uma frequência de ressonância suficientemente baixa. Os vidros duplos, utilizados no isolamento térmico, possuem uma espessura de câmara de ar reduzida, entre 1 e 1,2 cm, fazendo com que as massas estejam acopladas por uma mola rígida. Um isolamento ainda maior pode ser obtido com a colocação de material de absorção nas laterais das esquadrias internamente.

Pujouille (1978) recomenda que, para evitar o efeito da frequência de ressonância, o espaçamento entre as folhas de vidro, d , seja determinado pela seguinte relação:

$$d = 256 \left(\frac{1}{e_1} + \frac{1}{e_2} \right) \quad (\text{equação 11})$$

Sendo que: e_1 e e_2 são as espessuras de cada folha de vidro em mm.

Dessa forma, o espaço entre vidros pode ser considerado como na Tabela 4:

Tabela 4: distância entre os vidros, em uma esquadria com vidros duplos, para evitar o efeito da frequência de ressonância.

Espessura das folhas (mm)	Distância entre as folhas (mm)
3 e 4	149
4 e 5	115
5 e 6	94
6 e 8	75
8 e 10	58

Scherer e Santos (2005) realizaram uma pesquisa sobre vidros monolíticos comuns e laminados de diferentes tipos e espessuras, com ensaios normatizados em câmara reverberante. Os autores constataram que o valor do isolamento aumenta com maiores espessuras da placa de vidro, sendo proporcional ao aumento de massa. A Tabela 5 apresenta os valores de isolamento sonoro e a respectiva frequência crítica para os vidros de 4, 6 e 8 mm. O comportamento acústico dos vidros, quando utilizados individualmente, não apresenta variações significativas em relação à variação de espessura. A diferença se torna mais acentuada quando se compara o valor de isolamento de diferentes tipos de vidro; nesse caso, os vidros laminados apresentam uma melhor performance, o que se deve, sobretudo, à inexistência da frequência crítica.

Tabela 5: isolamento sonoro de vidros

Tipo de vidro	Isolamento (dB_A)	Frequência crítica (Hz)
4 mm – comum	27,3	3150
6 mm – comum	28,7	2000
8 mm – comum	29,1	1600
6 mm – temperado	28,4	2000
8 mm – temperado	28,4	1600
6 mm – laminado	30,3	-
8 mm – laminado	30,9	-

(Fonte: SCHERER; SANTOS, 2005)

Nas aberturas envidraçadas, na forma de composição com vidros duplos, o isolamento aumenta em, aproximadamente, 2 a 3 dB_A. A frequência de ressonância do sistema em 160Hz causa uma queda muito acentuada de isolamento para o afastamento de 20 mm entre os vidros. A melhor performance ocorre nas médias e altas frequências, acima de 315Hz. Segundo Scherer e Santos (2005) existe a tendência de que, com o aumento do afastamento entre os vidros, a frequência de ressonância fique abaixo de 100Hz, não influenciando de maneira tão acentuada no isolamento global para a maioria das situações de exposições ao ruído ambiental. A Figura 6 mostra um gráfico comparativo do isolamento em diferentes composições onde se pode destacar que as maiores diferenças ocorrem nas frequências abaixo de 315 Hz.

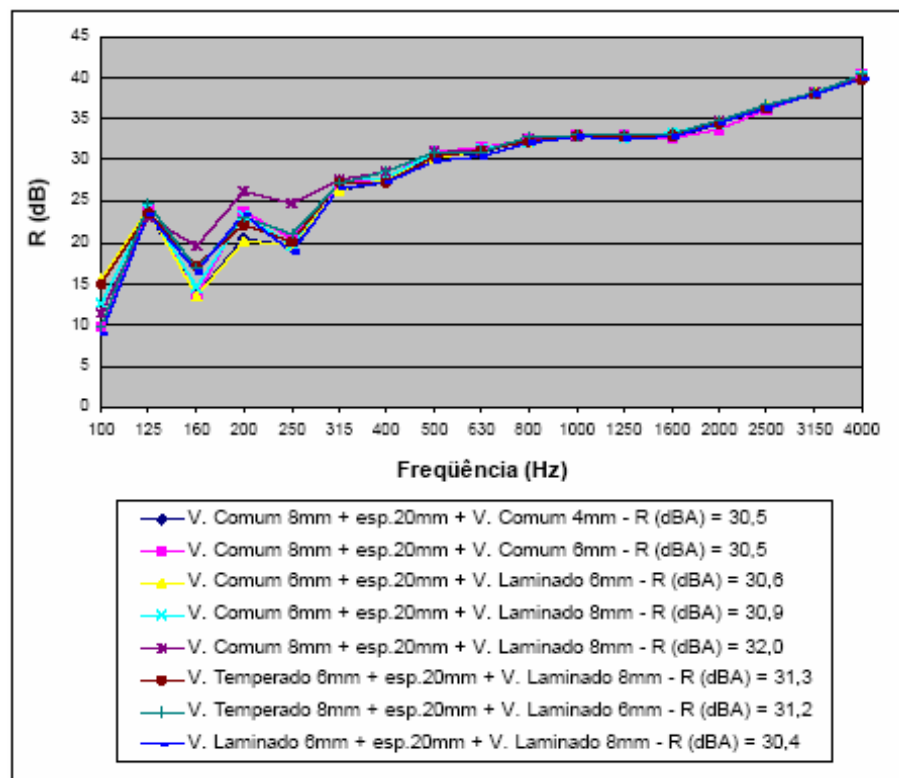


Figura 6: isolamento para diferentes composições de vidros duplos.
(Fonte: SCHERER; SANTOS, 2005)

Para edificações existentes que passam a requerer um valor maior de isolamento acústico devido, por exemplo, ao aumento do fluxo de aeronaves ou ampliação da pista de um aeroporto próximo, existe o recurso de sobreposição de uma nova esquadria. Pujouille (1978) considera que, para se estimar a perda de transmissão em função da distância entre uma janela existente e outra sobreposta, pode-se utilizar a seguinte relação:

$$PT_{JS} = 12 \log e + 19 \quad (\text{equação 12})$$

Sendo que: e é o espaço entre as janelas, em mm.

Esse recurso é utilizado nas residências e escolas situadas dentro das curvas de ruído do Aeroporto O'Hare, em Chicago. Segundo o manual de orientação do Programa de Isolamento

Sonoro de Residências (CHICAGO, 2002), destinado aos moradores vizinhos, o espaço interno entre a janela existente e a nova deve ser de, aproximadamente, 5cm. Segundo a equação 12, o espaçamento de 5cm acarretaria uma perda de transmissão de, aproximadamente, 39 dB.

Usando-se a mesma relação dada na equação 12, pode-se, também estimar o espaço entre as esquadrias em função da perda de transmissão. Logo:

$$e = 10^{\left(\frac{PT-19}{12}\right)} \quad (\text{equação 13})$$

Sendo que: e é o espaço entre as janelas em mm.

2.4 Ruído em prédios escolares

Knudsen e Harris (1988) consideram que as características acústicas dos prédios escolares podem determinar se ele cumpre ou não sua função básica, pois o aprendizado depende de fatores como a comunicação e a concentração. Para o autor, no projeto arquitetônico de uma escola, devem ser considerados aspectos relativos à seleção adequada do terreno, implantação criteriosa do prédio no terreno e o zoneamento dos ambientes em função dos requisitos sonoros.

As atividades desenvolvidas em ambientes escolares, principalmente no ensino fundamental e médio, são muito diferentes no que diz respeito à produção do ruído. As escolas possuem atividades que requerem silêncio e concentração, como as salas de aula e bibliotecas, e outras, onde a agitação dos alunos provoca altos níveis sonoros, como pátios e ginásios. Dessa forma, pode-se afirmar que o planejamento da localização de cada ambiente, em função do requisito acústico, é uma das principais estratégias para se alcançar a qualidade acústica de uma escola.

O planejamento dos ambientes deve, obrigatoriamente, levar em consideração, também, as fontes externas de ruído como, por exemplo, ruas e avenidas com tráfego intenso de veículos. No caso do ruído proveniente do tráfego de veículos, o uso de barreiras acústicas pode ser uma solução eficiente, porém para o ruído aeronáutico, segundo Knudsen (1986), não existem

barreiras eficientes. O autor afirma ainda que as aeronaves não devem passar há uma distância inferior a, aproximadamente, 1220 m de um prédio escolar.

Segundo Parkin e Humphreys (1971), em escolas, é impossível fazer recomendações definitivas de tratamento acústico, como são feitas para residências, pois o isolamento requerido entre os vários ambientes de uma escola depende de vários fatores. Ainda segundo esses autores, de modo geral, as salas devem ser avaliadas por um sistema que descreva suas características como fontes de ruído e seu nível de tolerância ao ruído que entra. A Figura 7 mostra uma sugestão para estimar o isolamento entre ambientes de uma escola, considerando uma escala de ruído emitido por uma fonte e o nível de tolerância admitido em uma sala. Segundo o nomograma, uma fonte que emite altos níveis de ruído poderá acarretar um isolamento mínimo de, aproximadamente, 33 dB em uma sala.

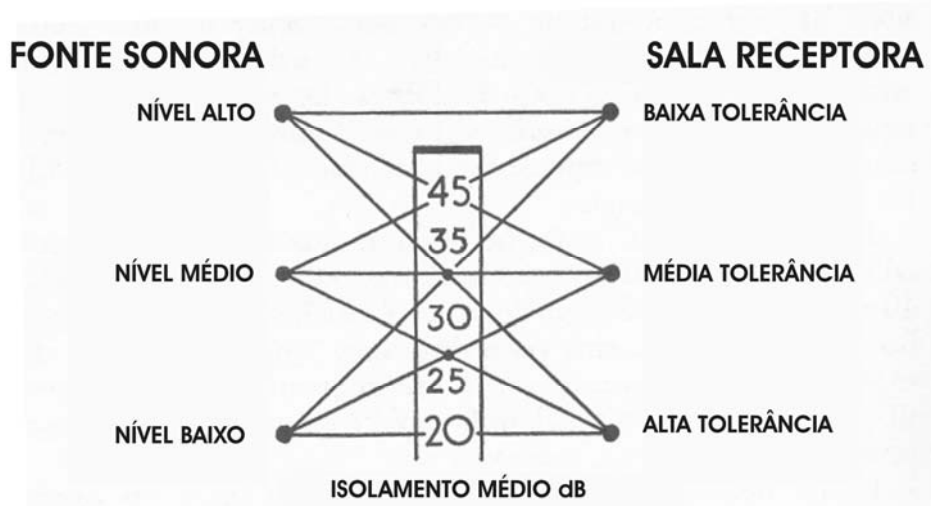


Figura 7: nomograma para estimativa do isolamento sonoro em escolas. (Fonte: adaptado de PARKIN; HUMPHREYS, 1971)

A Figura 8 mostra uma proposta de localização dos ambientes, elaborada para este trabalho, na qual a separação entre as salas que requerem silêncio, como salas de aula e biblioteca, e os locais mais ruidosos, como pátios e ginásios, é considerado o principal fator no controle do ruído. O ideal é que exista um espaço de transição que separe as áreas com diferentes requisitos acústicos. Por exemplo: um jardim ou um átrio pode funcionar como um desses espaços, desde que sejam respeitados os condicionantes de isolamento dos fechamentos e elementos construtivos. No caso de escolas, muitas vezes o isolamento sonoro não deve ser o único tratamento acústico empregado. Locais muito reverberantes, como áreas de circulação, pátios cobertos e ginásios, devem ser tratados com materiais absorção adequada.

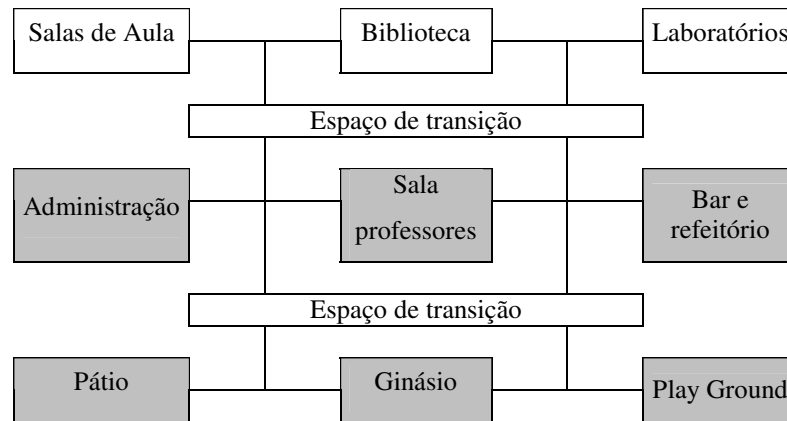


Figura 8: localização dos ambientes em escolas em função do ruído.

2.4.1 Tempo de reverberação e inteligibilidade

Seep *et al.* (2000) estabelecem algumas diretrizes específicas para salas de aula com, aproximadamente, 30 alunos, entre as quais se pode destacar a relação entre reverberação e nível de compreensão da fala.

A reverberação, em uma sala, é dada pela unidade de tempo em segundos, e é analisada segundo o volume da sala e a absorção sonora de todas as superfícies internas. O *tempo de reverberação*, TR , é considerado como o intervalo de tempo necessário para o som decair em 60 dB, a partir do instante em que a fonte cessa a emissão sonora.

Segundo a NBR 12179 (ABNT, 1992), o cálculo do tempo de reverberação pode ser feito por duas equações, que são referidas pelo nome de seus autores: Sabine e Eyring. Quando o coeficiente médio de absorção for menor ou igual a 0,30, é recomendado o uso da fórmula de Sabine, enquanto que, para valores de coeficiente médio de absorção acima de 0,30, é indicada a aplicação da fórmula de Eyring (ABNT, 1992).

$$TR_{SABINE} = \frac{0,161V}{\sum A\alpha} \quad (\text{equação 14})$$

Sendo que: V é o volume da sala, em m^3 ; A é a área de cada superfície, em m^2 ; α é o coeficiente de absorção sonora de cada material.

$$TR_{EYRING} = \frac{0,16V}{-2,3 \cdot S \cdot \log(1 - \alpha_m)} \quad (\text{equação 15})$$

Sendo que: V é o volume do ambiente, em m^3 ; S é a área total das superfícies do ambiente, em m^2 ; α_m é o coeficiente médio ponderado de absorção sonora de todas as superfícies internas do ambiente.

O resultado pode ser analisado quantitativamente, a partir de parâmetros que relacionam o volume da sala e a atividade desenvolvida, obtendo-se o valor do TR ótimo. Em Seep *et al.* (2000) encontram-se valores de TR para ambientes voltados ao ensino. Os autores recomendam que, para salas de aula, o tempo de reverberação deve obedecer aos limites de 0,4 e 0,6 segundos. Méndez e Stornini (1999), no entanto, recomendam a adoção de uma equação para determinar o TR ótimo para salas de aula, na qual se considera o volume do ambiente em estudo.

$$TR_{OT} = 0,28 + 0,18 \log V \quad (\text{equação 16})$$

Sendo que: TR_{OT} é o tempo de reverberação ótimo; V é o volume da sala de aula em m^3 .

O valor encontrado, a partir da aplicação da equação, é considerado referência para a frequência de 500 Hz, ou frequências maiores. Para baixas frequências, Brüel (*apud* MÉNDEZ; STORNINI, 1999) considera que se deve aplicar um fator de correção de 1,16, para 250 Hz, e 1,46, para 125 Hz.

Bistafa e Bradley (2000) realizaram um estudo envolvendo simulação computacional e medições de tempo de reverberação, nas quais foram testadas outras fórmulas de cálculo, com a comparação em diferentes situações de tratamento de absorção para uma mesma sala. A análise comparativa dos resultados revelou uma diferença de, aproximadamente, 10% entre os valores medidos e calculados. Essa diferença de 10% também é relatada por Richardson

(*apud* MÉNDEZ; STORNINI, 1999) que considera que os *TR* calculados podem ser aceitáveis quando se estima uma margem de erro de 10% do *TR* ótimo calculado.

Bradley (2002) apresenta uma relação entre o volume da sala, níveis máximos de ruído e elevação no volume de voz. As linhas tracejadas diagonais do gráfico da Figura 9 representam vários níveis de esforço vocal em função do ruído e do volume do ambiente. Segundo essa relação, para um nível de ruído ambiente de 35 dB_A , um locutor poderá se expressar, sem esforço vocal, em uma sala de até 300m^3 , sendo que o esforço vocal será gradativamente maior à medida que o volume da sala aumentar. Para esse mesmo nível de ruído, de 35 dB_A , a comunicação será possível em uma sala de até 3000m^3 , porém esse seria o limite que exigiria um grande esforço vocal por parte do locutor.

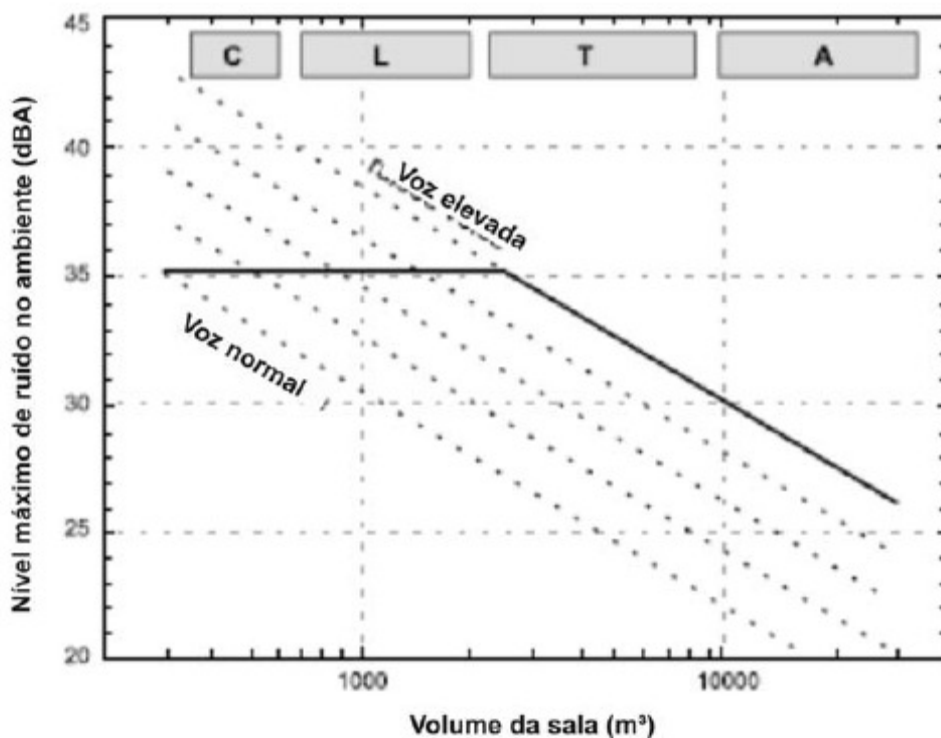


Figura 9: níveis máximos de ruído e sua relação com o volume da sala. (Fonte: adaptado de BRADLEY, 2002)

O parâmetro do tempo de reverberação pode, ainda, ser utilizado para determinar efeitos da inteligibilidade da fala. Knudsen e Harris (1988) apresentam uma relação entre esses dois condicionantes, para salas de até 116m^3 , conforme o gráfico inserido na Figura 10. Segundo

os autores, 94% de inteligibilidade pode ser considerada uma indicação de boas condições de comunicação, que é alcançado com TR de, aproximadamente, 0,5 segundos.

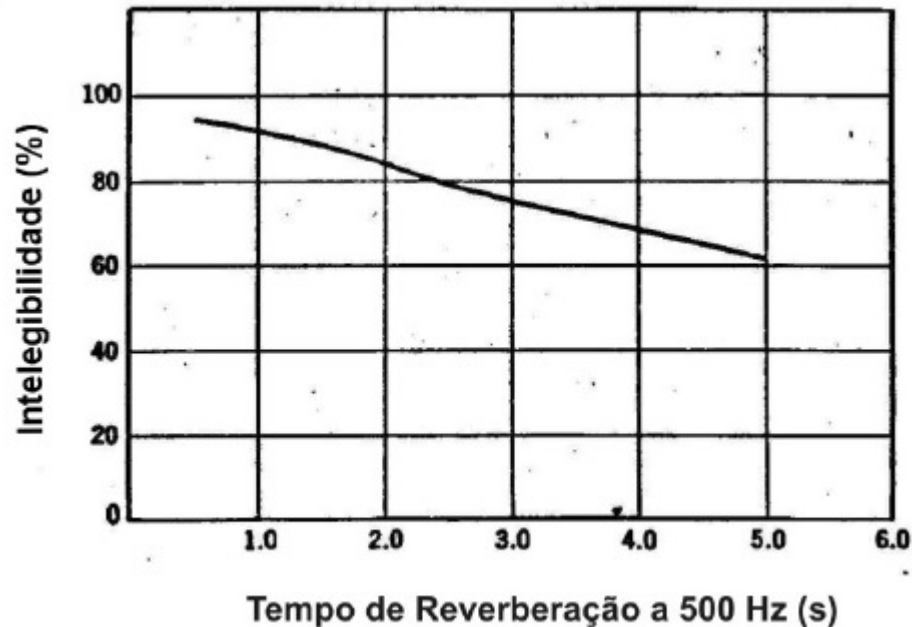


Figura 10: inteligibilidade da fala, para diferentes tempos de reverberação. (Fonte: adaptado de KNUDSEN; HARRIS, 1988, p. 379)

Apesar da complexidade envolvida no planejamento acústico de escolas e, portanto, a dificuldade em estabelecer generalizações sobre o assunto, alguns princípios gerais devem ser observados. Bradley (2002) recomenda alguns cuidados para projeto de ambientes com atividades voltadas para a comunicação oral. As cinco etapas propostas podem ser resumidas da seguinte forma:

- avaliação dos requisitos acústicos relacionados à dinâmica do uso da sala, inclusive se está se é previsto um local fixo para o locutor, ou se o uso pressupõe uma atividade mais interativa;
- definição do ruído máximo pretendido no ambiente, conforme a Figura 8, com possibilidades de fazer alterações de acordo com as necessidades dos usuários em particular;

- escolha criteriosa do tempo de reverberação, considerando as especificidades dos ambientes, inclusive a expectativa de variação no número de ocupantes;
- determinação do requisito de absorção sonora total, considerando todos os materiais que compõem as superfícies da sala;
- avaliação da forma da sala e a localização do material de absorção sonora, pois em salas pequenas os materiais de absorção sonora podem ser distribuídos de maneira uniforme nas superfícies. Porém, em salas amplas, os locais destinados à absorção sonora devem ser determinados em função do direcionamento do som.

2.5 O impacto do ruído aeronáutico na qualidade de vida

Muitos estudos apontam a poluição sonora como a forma mais difundida de poluição no mundo atual e a relacionam com danos à saúde das pessoas. A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2001) considera que há grupos da população mais vulneráveis ao ruído dos aviões, em comparação com a população geral. O grupo que apresenta maior evidência de vulnerabilidade ao ruído aeronáutico é formado por crianças e, nelas, a exposição crônica ao ruído dos aviões pode ser associada:

- ao desempenho cognitivo;
- ao incômodo do ruído;
- às alterações no bem-estar e à baixa motivação;
- a alterações na pressão sangüínea e à secreção do hormônio catecolamina (adrenalina e noradrenalina);
- à secreção do cortisol e distúrbios mentais do sono.

Outros efeitos também são citados em alguns estudos, porém são considerados limitados com relação às evidências científicas. Segundo Porter *et al.* (1988), existe um número potencial de efeitos do ruído na saúde, existindo, porém, sérias dificuldades metodológicas para a

realização de pesquisas definitivas. Alguns desses efeitos potenciais são: hipertensão, efeitos bioquímicos, efeitos imunológicos, desordens psiquiátricas e alterações no bem-estar social.

O ruído tem sido considerado como uma fonte de estresse psicológico, tanto que é escolhido como uma das principais ferramentas para estudos em laboratório onde se determinam reações ao estresse. As reações ao ruído dependem da fonte em si e das diferenças individuais de reação frente à fonte de ruído.

2.5.1 Incômodo devido ao ruído

A palavra *incômodo* possui um significado genérico ligado ao aborrecimento e ao desconforto, porém, ela é utilizada especificamente em estudos de ruído ambiental para identificar um dos efeitos do ruído nas pessoas.

Segundo a WHO (1980 *apud* PORTER *et al.*, 1988), incômodo pode ser definido como “uma sensação de desgosto provocada pelo ruído” e “qualquer sensação de ressentimento, desgosto, desconforto e irritação ocorrida quando o ruído altera o pensamento ou humor de alguém ou interfere em uma atividade”. Em pesquisas sobre ruído aeronáutico, o incômodo pode ser referido em uma escala definida por níveis e a TB 389 (ABNT, 1990) define que *nível de incômodo* é uma “relação entre níveis de ruído e determinados padrões em uma comunidade”. Embora possua um conceito simples, atualmente, o incômodo é definido subjetivamente, envolvendo fatores mais complexos.

Segundo Costa-Félix e Zindeluk (1998), o ramo da acústica que trata dos efeitos psicofisiológicos do ruído é a acústica subjetiva, ou psicoacústica, e nos primeiros estudos sobre o incômodo, a primeira preocupação foi determinar a relação entre um parâmetro físico e a sensação de audição.

Inicialmente, tentou-se uma caracterização do incômodo a partir de relações apenas com níveis de pressão sonora. Munson e Bell (1957) consideram que a magnitude para expressar a sensação auditiva que poderia corresponder ao NPS é o nível de *loudness*, LL³, cuja unidade é o *fon*. A relação entre NPS e LL é expressa em um gráfico de NPS por frequência, com

³ LL: *loudness level* ou nível de audibilidade.

diversas curvas de igual *loudness*, ou ELC⁴, no qual o NPS não é igual para diversos tons puros de diferentes frequências. O primeiro gráfico de ELC foi elaborado por Fletcher e Munson em 1933 (*apud* COSTA-FÉLIX; ZINDELUK, 1998) e, durante muitos anos, a forma correta das curvas foi discutida por vários pesquisadores (IAC, 1981; MUNSON, BELL, 1957). Apenas em 1987, as curvas isofônicas do gráfico foram normalizadas na ISO 226 (ISO, 1987). No entanto, as informações do incômodo fornecidas pelas curvas não consideravam diferenças na atividade desenvolvida, idade ou sexo das pessoas expostas ao ruído.

Na década de 1970, o conceito de incômodo acústico começou a ser revisto a partir dos trabalhos publicados de Berglund *et al.* (*apud* COSTA-FÉLIX; ZINDELUK, 1998) que constataram que o incômodo é um atributo com características diferentes do *loudness* e da ruidosidade. Com esses trabalhos a avaliação do incômodo passou a considerar não só a atividade desenvolvida, mas também o contexto social, profissional e cultural, entre outros.

O incômodo é o mais comum e o mais pesquisado dos efeitos do ruído nas pessoas e tem sido relatado, com frequência, como um efeito perturbador em diversas atividades. A extensão do incômodo do ruído, de modo descrito ou relatado, é influenciado por vários fatores não acústicos, tais como fatores pessoais, de atitude e situacionais, além do nível de ruído propriamente dito. Em função de suas características conceituais, o incômodo pode ser verificado através do relato subjetivo, embora, de acordo com Porter *et al.* (1988), existam investigações baseadas na observação do comportamento a partir do incômodo relatado.

O nível de incômodo, em áreas no entorno de aeroportos, pode ainda ser calculado segundo alguns métodos que estão expostos no capítulo 4 deste trabalho.

Devido ao caráter subjetivo da manifestação, as análises realizadas através da comparação entre estudos diferentes são, com frequência, refutadas devido às diferenças entre os descritores verbais ou numéricos utilizados.

Para Broadbent (1957), existem três formas de se obterem informações sobre o incômodo devido ao ruído:

- observação de casos de ações judiciais ou manifestações provocadas pelo ruído;

⁴ ELC: *equal-loudness contours* ou contornos de igual audibilidade.

- condução de pesquisas de opinião em locais de interesse;
- estudos em laboratórios com estímulos sonoros controlados.

Os estudos em laboratórios apresentam-se como o mais controlado dos métodos, apresentando certas facilidades de execução, como por exemplo, o uso de equipamentos de precisão. No entanto, as respostas podem não traduzir a mesma reação que a pessoa teria no ambiente sonoro real, executando suas atividades de forma espontânea.

Porter *et al.* (1988) esclarecem que o incômodo é o principal foco das atuais normas e regulamentos que tratam da poluição sonora, pois ele é uma das conseqüências imediatas da exposição ao ruído ambiental. Indivíduos são perfeitamente competentes para decidir se eles são incomodados ou não, ou se eles acreditam que seu sono é perturbado ou não. Por essa razão, o incômodo tem formado um natural e imediato tópico para pesquisas durante muitos anos.

A Figura 11 mostra uma das possíveis interpretações das várias relações entre ruído e incômodo, a partir de estímulos diretos e indiretos.

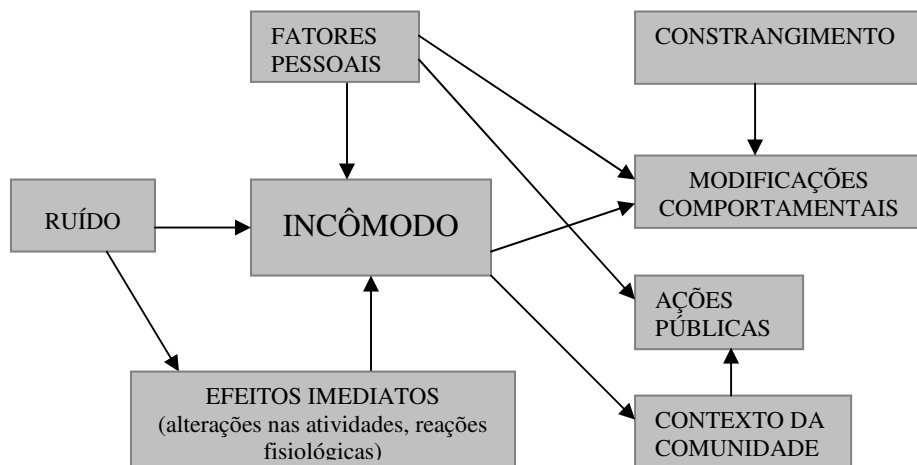


Figura 11: estímulos e efeitos do incômodo no contexto comunitário.
(Fonte: NELSON *apud* PORTER *et al.*, 1988, p. 9)

Segundo Porter *et al.* (1988), apesar do incômodo envolver uma grande variedade de estímulos, pode-se considerar que, para alguns níveis sonoros, podem ocorrer manifestações

em relação ao ruído. Os autores apresentam valores limites, em dB_A , relatados em outros estudos, para determinar a ocorrência de incômodo em função da exposição ao ruído:

- $L_{Aeq,24h}$ 40: valor acima do qual pode ser esperado algum efeito, devido à exposição ao ruído de transportes em geral (IEH *apud* PORTER, 1988);
- L_{dn} 42: valor mínimo médio de exposição externa, no qual têm sido observados efeitos em estudos de saúde pública (NETHERLANDS *apud* PORTER, 1988);
- L_{Aeq} 55: abaixo desse valor de exposição externa, existem poucos relatos de incômodo sério.

2.5.2 Ruído e sono

Muzet (2001) relata que a maior parte das queixas das populações que vivem em torno de grandes aeroportos é devido ao incômodo em geral e aos distúrbios no sono, causados pela operação noturna dos aeroportos. O autor afirma que existe uma necessidade muito grande de se fazer pesquisas de campo sobre o assunto. Ainda, segundo Muzet (2001), o tamanho das populações diretamente afetadas está aumentando com o tráfego crescente, mesmo havendo uma redução significativa da emissão total de ruído.

Os distúrbios no sono podem ser avaliados de modo subjetivo, através de questionários matinais, ou a partir de indicadores fisiológicos (PORTER *et al.*, 1988). As avaliações qualitativas podem incluir exames clínicos como, por exemplo, eletroculogramas, eletroencefalogramas, temperatura corporal e taxa respiratória. A estrutura psicológica do sono pode ser quantificada por diversos parâmetros, tais como a latência do início do sono, a duração do sono e o tempo gasto em cada estágio do sono.

Broadbent (1957) ressalta que os ruídos intermitentes, como os da passagem dos aviões, produzem uma perturbação maior, para algumas pessoas, do que a exposição ao ruído contínuo, com o mesmo nível de pressão sonora. Nesse sentido, Muzet (2001) afirma que a exposição ao ruído intermitente, com níveis de ruído a partir de L_{peak} 45 dB_A , pode aumentar o tempo de adormecer em até 20 minutos. Entretanto, as alterações no sono podem ser bem melhor avaliadas durante o período em que se está acordado. As principais conseqüências da

privação constante do sono são observadas diante da fadiga excessiva durante o dia, acompanhada pela sonolência, pela deterioração do comportamento habitual, pela expressão da raiva, da falta da concentração e da habilidade reduzida no trabalho. Nesse caso, a necessidade para o período de descanso adicional, durante o dia, nem sempre é suficiente.

Ando (2001) realizou uma pesquisa com a finalidade de verificar as diferenças na reação de bebês expostos à música e ao ruído e de explicar os diferentes efeitos de sinais do ruído e da música no sono dos bebês e no desempenho de tarefas mentais por crianças. Os bebês foram escolhidos e divididos em cinco grupos:

- Grupo I: 33 bebês cujas mães tinham sido expostas ao ruído aeronáutico antes da concepção;
- Grupo II: 17 bebês cujas mães estiveram na área ruidosa durante os primeiros meses da gravidez;
- Grupo III: 10 bebês cujas mães estiveram na área ruidosa durante os últimos quatro meses da gravidez;
- Grupo IV: 10 bebês cujas mães estiveram na área ruidosa, após o nascimento deles; e
- Grupo V: 8 bebês cujas mães viveram em uma área quieta onde não ocorreu a passagem de aviões durante a gravidez ou após o nascimento.

Os bebês dos grupos I, II e III, que possuíam a mesma exposição ao ruído depois do nascimento, não reagiram ao ruído do avião, e sim à música. Segundo o autor, a diferença nas suas reações pode ser explicada como uma *adaptação pré-natal* das mães influenciando o hábito auditivo dos bebês.

Jiggins e Berry (1999) realizaram um experimento nas proximidades do Aeroporto de Manchester, na Inglaterra, com o objetivo de avaliar a interferência do ruído aeronáutico na qualidade do sono. Foram selecionadas nove pessoas residentes na área de maior exposição ao ruído, e nove de áreas de menor exposição. A pesquisa consistiu em medir, simultaneamente, o ruído aeronáutico dentro dos quartos onde as pessoas dormiam e do lado de fora da residência e, para avaliar a qualidade do sono, foi feito, ao mesmo tempo,

eletroencefalograma nas pessoas. O experimento mostrou uma forte relação entre a diminuição da qualidade do sono, em função do aumento no número de eventos, mesmo nas pessoas das áreas menos ruidosas.

Embora não haja nenhum perigo de vida real devido ao efeito específico do ruído para as pessoas que vivem em torno dos aeroportos, os efeitos do distúrbio do sono resultam em problemas que conduzem à redução na qualidade de vida.

2.5.3 Alterações fisiológicas

Para a Organização Mundial da Saúde, saúde não é considerada como uma mera falta de doença, e sim como o pleno bem-estar físico e mental das pessoas. Tal afirmação fortalece a relação entre a exposição permanente ao ruído e os riscos para a saúde de pessoas que convivem em áreas próximas a aeroportos.

Porter, Berry e Flindell (1988) relataram que estudos na Holanda comprovam que a exposição ao ruído aeronáutico, a partir de 70 L_{Aeq} , entre 6h e 22h, possui relação direta com o surgimento de doenças cardíacas.

Matsui *et al.* (2004) realizaram uma pesquisa com 29.000 pessoas residentes nos arredores da base militar de Okinawa, no Japão. Os autores alertam que existem claras relações entre o ruído aeronáutico e a elevação na pressão sanguínea, além da alta tendência de desenvolvimento de hipertensão.

Segundo afirma Santos (1999), a visão pode ser afetada pelo excesso de ruído no momento em que, comprovadamente, há uma dilatação da pupila e a reação de piscar os olhos está ligada aos reflexos de convergência e acomodação visual. O autor ressalta que existe um prejuízo grande nos trabalhos que exigem precisão, em função de que a pessoa teria que ajustar o foco continuamente, aumentando a fadiga e a possibilidade de erros.

Outros efeitos na área da saúde também são notados nos locais ao redor dos aeroportos. Knipschild e Oudshoorn (*apud* MUZET, 2001) relataram o aumento na prescrição de remédios em torno de grandes aeroportos, e Tarnopolsky *et al.* (*apud* MUZET, 2001) registraram aumentos na admissão de pacientes em hospitais psiquiátricos. Santos (1999)

descreve que as alterações neuropsíquicas, como ansiedade, insegurança e desconfiança, também podem ser associadas ao excesso de exposição ao ruído.

2.5.4 Ruído e performance escolar

O aprendizado é uma das principais atividades na vida das pessoas e, mesmo não estando em ambientes destinados ao ensino, o processamento de novas informações, a partir da interação com o meio, faz com que o processo seja contínuo.

Fischer (2000) estudou a relação entre o ambiente escolar e o comportamento dos usuários, avaliando a percepção ambiental em três escolas de Porto Alegre. Em sua pesquisa, a autora levantou aspectos relativos à aparência, flexibilidade, segurança, privacidade, acessibilidade e conforto ambiental nas escolas. Com relação ao conforto acústico, Fischer identificou que os problemas relativos à exposição ao ruído são recorrentes, denotando a total falta de conhecimento do problema por parte dos projetistas.

No Brasil, o assunto ainda é recente, com poucos estudos relativos ao ruído aeronáutico, sendo que alguns estudos relacionam o ruído ambiente com a performance escolar das crianças. Deve-se destacar que alguns dos estudos brasileiros, realizados com a finalidade de verificar as características acústicas de ambientes escolares (FERNANDES, 2002; HANS, 2000; MATOS, 1998; OITICICA *et al.*, 2005; PEDRAZZI *et al.*, 2001; TAVARES, CLIMACO, 1999), foram realizados a partir da motivação dos próprios pesquisadores, e não das instituições responsáveis pelos estabelecimentos de ensino.

Em 1997, Paixão realizou medições em 27 escolas de Santa Maria, concluindo que as condições de conforto acústico são muito precárias.

Outro estudo foi realizado no Rio de Janeiro, por Santos (1993), que além de apontar as deficiências acústico-construtivas dos prédios, mostrou que o ruído em sala de aula possui uma forte relação com o esforço vocal dos professores, uma das principais causas de pedido de afastamento por motivo de saúde.

Losso (2003) fez uma pesquisa em Florianópolis que envolveu medições acústicas de ruído de fundo, TR e cálculo TDI em cinco escolas, além da aplicação de questionários a professores e

alunos de 7^a e 8^a séries em 33 escolas. Nessa pesquisa, o autor relatou que houve intensa manifestação da falta de qualidade acústica das salas de aula, que foi comprovada com os dados das medições.

Bertoli *et al.* (1999) avaliaram a implantação de três creches em um conjunto habitacional em São Paulo, situadas no cone de aproximação do Aeroporto Internacional de Guarulhos. Mesmo tendo um grande fluxo de aeronaves, 1 a cada 2 minutos, o ruído aeronáutico não foi percebido em função do ambiente ruidoso da escola. Em todos os estudos foi ressaltada a deficiência de projeto das edificações.

No Distrito Federal, Eniz e Garavelli (2005) conduziram uma pesquisa sobre o ambiente acústico de salas de aula em dez escolas entre os anos de 2003 e 2004. Foram avaliados o tempo de reverberação e o ruído de fundo. Os autores também afirmam que as condições acústicas são inapropriadas para atividade escolar. Às escolas sofrem diariamente com o excesso de ruído externo, além dos ruídos internos provocados pelos estudantes. Em uma das escolas, o ruído de fundo, durante o período de férias, alcançou 67,3 dB_A. Em relação ao tempo de reverberação, apenas uma das escolas atende aos critérios satisfatórios. Os resultados mostraram uma falta de preocupação com a acústica das salas, o que traz significativos prejuízos à compreensão do discurso, com destaque aos danos para os alunos das séries iniciais e àqueles com problemas de audição. Os autores alertam que as condições acústicas precárias podem provocar a perda da concentração, indiferença, alterações no comportamento, e reações de *stress*.

Em outros países, como, por exemplo, Estados Unidos, Holanda, Suécia, França e Inglaterra, a relação entre ruído aeronáutico e performance escolar tem sido muito estudada, e vários pesquisadores apontam que o vocabulário utilizado por crianças que convivem em ambientes silenciosos é melhor. As crianças, em condições silenciosas, gostam mais de falar, elas são mais bem entendidas pelos outros e entendem o que os outros dizem.

Segundo Gifford (1998), a relação entre ruído e aprendizado é complexa e depende de fatores como:

- as propriedades do ruído em relação à continuidade e grau de intensidade;

- a característica do aluno: sexo, motivação, personalidade, inteligência, autocontrole;
- a natureza da tarefa: leitura, recreação, avaliação;
- a situação em relação à hora do dia.

Gifford (1998) alerta que as crianças expostas ao ruído apresentam um rendimento escolar abaixo do normal e que a agressividade nos adolescentes em ambientes barulhentos pode ficar maior. De um modo geral, segundo o autor, o desempenho escolar do aluno fica comprometido pela interferência no processo de comunicação entre o professor e o aluno, causando distorções nas informações. Gifford estabelece algumas relações entre ruído e aprendizado, com forte dependência de alguns fatores:

- o ruído em sala de aula prejudica mais as meninas que os meninos;
- quando a tarefa possui um grau de dificuldade maior, todos são afetados;
- o autocontrole do aluno é afetado em função do aumento da pressão sanguínea.

Bronzaft (*apud* GIFFORD, 1998) realizou um estudo numa Escola de Nova York exposta ao ruído de trens. Algumas salas de aula do prédio localizavam-se em um lado mais exposto ao ruído, enquanto que outras salas, em outro lado relativamente silencioso. A habilidade de leitura das crianças foi medida em ambos os lados, e os resultados da leitura das crianças, do lado barulhento, foi significativamente mais baixo. Diante desse resultado, as autoridades locais foram pressionadas a instalar materiais de redução sonora nas linhas do trem. O teste de leitura foi repetido após um ano, e as diferenças nos resultados desapareceram.

Os estudos conduzidos sobre a influência do ruído aeronáutico nas habilidades necessárias na fase de pré-alfabetização são poucos. Maxwell e Evans (2000) realizaram uma pesquisa que mostrou uma forte ligação entre a exposição crônica ao ruído e as habilidades de leitura necessárias na fase de pré-alfabetização, focalizando as habilidades de atenção. Segundo os autores, as crianças em idade pré-escolar são afetadas negativamente por tal exposição. O estudo incluiu a aplicação de testes cognitivos em crianças de quatro anos, antes e depois do tratamento acústico da sala de aula.

Hambrick-Dixon (*apud* MAXWELL e EVANS, 2000) investigou habilidades de atenção em crianças também de quatro anos, na fase de pré-alfabetização. A partir dos resultados dessa investigação, o autor afirma que as crianças que freqüentam escolas em áreas barulhentas possuem uma performance melhor em condições ruidosas, enquanto que as crianças em escolas silenciosas executaram melhor o teste em circunstâncias com ausência de barulho.

Maxwell e Evans (2000) afirmam que as crianças mais novas possuem mais facilidade de adaptação às características ambientais e, por isso, elas são menos afetadas em locais ruidosos. Heft (1979 *apud* MAXWELL e EVANS, 2000) relatou descobertas similares para as crianças do jardim de infância expostas ao som da fala durante uma tarefa de discriminação visual. No estudo de Heft, de 1979, as crianças de lares ruidosos se distraíram menos durante a tarefa do que as crianças de lares silenciosos. No entanto, essa habilidade de concentração das crianças de lares ruidosos, segundo Cohen *et al.* (1980), desaparece à medida que a criança cresce.

Uma explicação do porquê de as crianças da pré-escola, acostumadas a um ambiente ruidoso, não se distraírem com o ruído durante uma tarefa, segundo Maxwell e Evans (2000), é que elas são capazes de selecionar os estímulos externos. As crianças dos ambientes quietos não precisam desenvolver essa habilidade.

Analisando os estudos feitos, é possível afirmar que o ruído crônico pode afetar negativamente as crianças na fase de pré-alfabetização, porém as conseqüências podem não ser evidentes até alguns anos mais tarde.

Jiggins e Berry (2001) realizaram uma pesquisa em escolas do lado ocidental de Londres, com exposição crônica ao ruído aeronáutico nos arredores do Aeroporto de Heathrow. O objetivo principal consistiu em verificar se os níveis previstos para as áreas em 1997 continuavam caracterizando a área como de intensa exposição ao ruído, além de avaliar o efeito da exposição crônica ao ruído aeronáutico na performance cognitiva (leitura, memória e atenção) e em indicativos de stress (nível de catecolamina, incômodo e relato próprio de estresse) em crianças. As vinte escolas escolhidas foram aquelas que se localizam dentro da curva do ruído, correspondente à exposição entre 57 e 63 $L_{Aeq,16h}$, sendo 10 na área de exposição máxima e 10 na área de exposição mínima. As medições acústicas e os testes cognitivos foram feitos no período da manhã, entre 9h e 12h, com monitoramento simultâneo dos níveis de pressão sonora, internos e externos. Os parâmetros de medição acústica foram: SEL –

mínimo, máximo e média, valores horários internos e externos de L_{\max} , L_{Aeq} , L_{10} e L_{90} . O posicionamento dos microfones foi feito conforme a disponibilidade de cada local, para se obterem resultados significativos. A Figura 12 mostra dois exemplos de localização externa dos microfones: a primeira na cobertura de um dos prédios (a), pois não havia espaço disponível no pátio, e a segunda, no pátio de uma das escolas (b).



Figura 12: localização do microfone na (a) cobertura e no (b) pátio, no estudo de Jiggins e Berry. (Fonte: JIGGINS; BERRY, 2001, p. 38)

Em algumas medições internas, o microfone foi suspenso no teto da sala, para evitar os obstáculos das classes e dos próprios alunos em sala de aula, conforme está ilustrado na Figura 13. Nos casos em que o microfone pôde ser colocado em tripé, no piso, a altura estipulada foi entre 1,20 e 1,50 m, e nos casos em que o microfone foi suspenso, sua altura ficou em aproximadamente 2 m do piso.

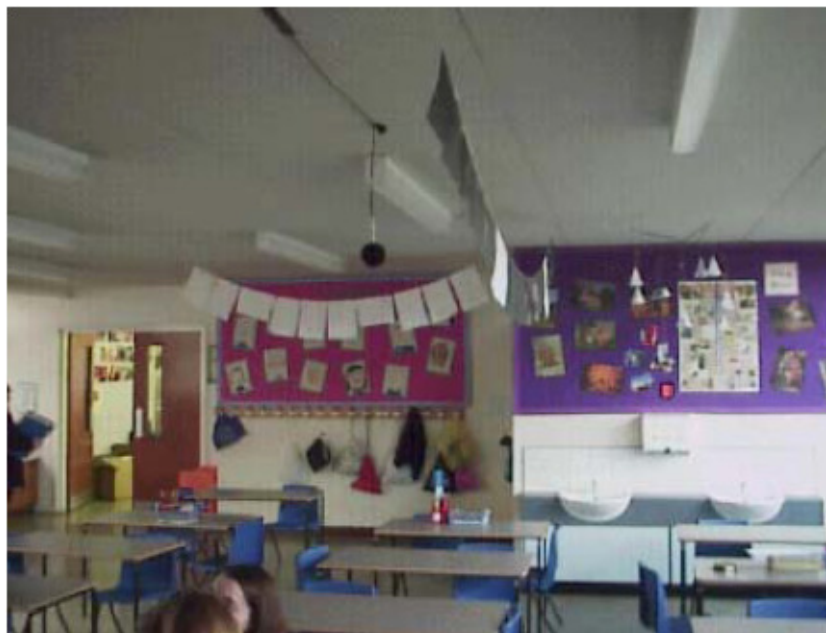


Figura 13: localização interna do microfone no estudo de Jiggins e Berry. (Fonte: JIGGINS; BERRY, 2001, p. 37)

Os resultados confirmaram que as escolas estão localizadas em áreas de exposição intensa ao ruído aeronáutico, conforme as curvas determinadas em 1997. Os testes cognitivos apontaram deficiências de leitura, com manifestação representativa de elevado nível de incômodo, confirmando estudos anteriores. Os resultados dos testes de atenção e memória não tiveram relação direta com a exposição crônica ao ruído, assim como não foram verificadas relações com o stress, segundo os exames clínicos das taxas de cortisol. A conclusão do trabalho apontou que a exposição crônica ao ruído aeronáutico não está relacionada aos danos gerais na performance cognitiva, e sim a determinadas habilidades cognitivas.

Haines *et al.* (2001, *apud* BOMAN; ENMARKER, 2004) também conduziram um estudo perto do aeroporto de Heathrow, com as crianças entre oito e onze anos. Foi verificado que, a exposição crônica ao ruído dos aviões esteve associada com os níveis mais elevados do incômodo, porém não foram medidos os principais efeitos encontrados na menor compreensão de leitura. Depois de um ano, a exposição ao ruído aeronáutico foi associada com um nível ainda mais elevado do incômodo, e, além disso, um maior número de crianças relatou a interferência do ruído do avião nas suas atividades da sala de aula, como, por exemplo, trabalhar e pensar.

Mesmo nos locais que abrigam atividades ruidosas, o ruído é considerado como fonte de perturbação das atividades escolares. Saraiva (1987) conduziu um estudo nos locais destinados à prática da Educação Física, em oito escolas de Lisboa, Portugal. Foram realizadas medições do Tempo de Reverberação, a partir do processo de extinção em campo sonoro, e do nível de pressão sonora produzido por uma *máquina de impacto*. O processo de extinção em um campo sonoro foi feito a partir de disparos em número variável conforme a dimensão do ambiente, com a análise nas frequências centrais e TR nas frequências de 500 e 1000 Hz. A *máquina de impacto* foi utilizada para simular a atividade das aulas de Educação Física que, segundo o autor, produzem maior ruído a partir da excitação mecânica do piso. Também foram aplicados questionários nos professores das escolas para detectar o incômodo devido ao ruído e identificar sua origem. Dos 36 docentes que responderam ao questionário, 21 consideraram o ruído dos aviões como o mais incômodo dos ruídos externos e, com relação ao ruído interno, 21 professores afirmaram que o ruído das atividades dos próprios alunos é considerado o fator de maior incômodo durante as aulas. Saraiva (1987) detectou ainda que, os professores que atuam em locais com TR acima de 3,5 segundos apontaram um esforço muito grande para que sua voz fosse ouvida por todos os alunos. O autor alerta para que se tenha cuidado com a escolha dos locais de implantação de atividades escolares, e que os locais destinados à prática esportiva tenham maior atenção no projeto de tratamento acústico.

Porter *et al.* (1988) afirmam que é possível adotar alguns critérios, ou valores limites em dB_A , relatados em outros estudos, para determinar a influência da exposição ao ruído em áreas externas de escolas. Segundo o IEH, *Institute for Environment and Health*, (1997 *apud* PORTER *et al.*, 1988), o desempenho escolar em crianças pode ficar comprometido a partir de uma exposição a L_{Aeq} 65. No entanto, o valor mínimo de L_{Aeq} 70 também é indicado como um limite de intervenção do ruído na performance escolar (NETHERLANDS, 1997, *apud* PORTER *et al.*, 1988).

Berglund (1996 *apud* PORTER *et al.*, 1988) afirma que, acima de níveis entre L_{Aeq} 55 e 65, a aquisição da linguagem em crianças em idade escolar fica comprometida, além de esse nível de exposição afetar o aprendizado de línguas na população em geral.

3 A EXPOSIÇÃO AO RUÍDO AERONÁUTICO

O ruído da passagem de um avião é caracterizado por uma grande variação no espectro e no nível sonoro.

O posicionamento de um receptor, em relação ao eixo de deslocamento de uma aeronave, pode alterar significativamente a exposição ao ruído. Segundo o diagrama na Figura 14, um receptor situado a aproximadamente 30°, em relação ao eixo de deslocamento de um jato, terá uma exposição aos níveis de ruído maiores que outro situado a 90°, para frequências entre 300 e 600 Hz.

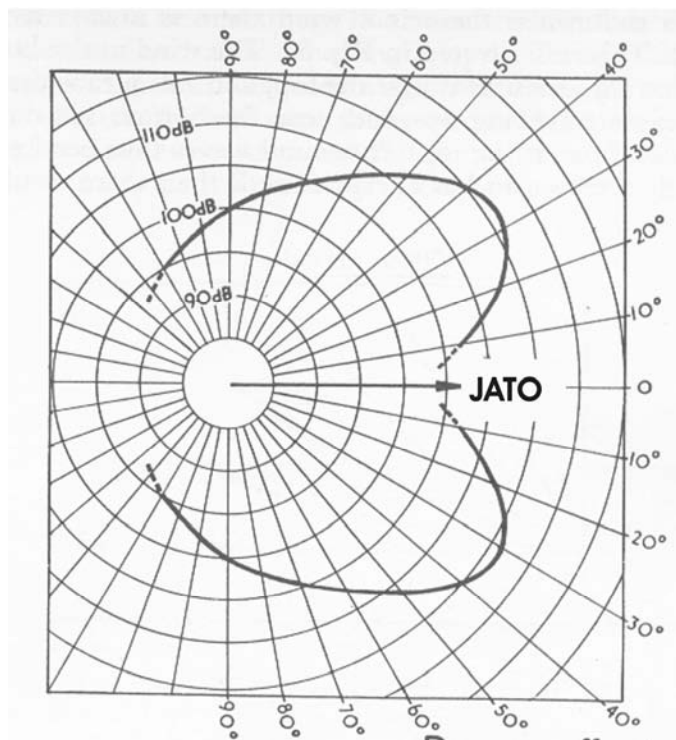


Figura 14: níveis de ruído produzidos por uma turbina a jato no solo.
(Fonte: adaptado de PARKIN; HUMPHREYS, 1971)

A exposição ao ruído também depende das características físicas do meio, pois a propagação do som pode ser alterada no caso de haver obstruções. Para exemplificar essa situação, pode ser usado o seguinte exemplo ilustrado na Figura 15: o ruído que incide na janela A, emitido

por uma aeronave, depende do tipo de material utilizado na fachada *B*. Mesmo sendo difícil a utilização de materiais absorventes em fachadas, a opção de utilizar um revestimento de madeira no lugar de uma superfície de concreto, por exemplo, diminuiria o ruído na janela *A*.

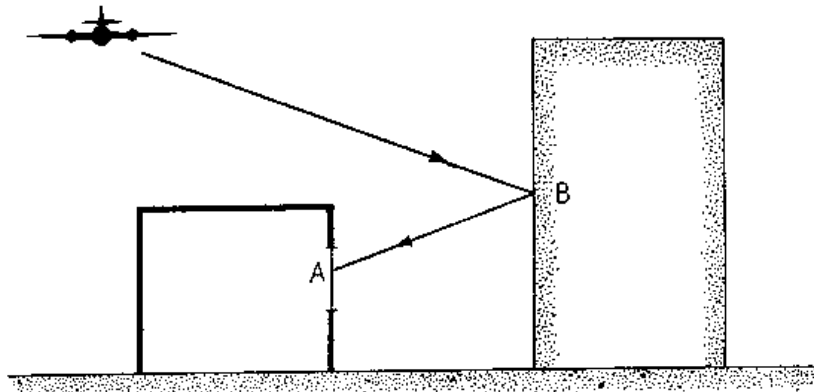


Figura 15: reflexão do som em uma fachada. (Fonte: PARKIN; HUMPHREYS, 1971)

Para Sancho e Sencherms (1982), a propagação do som, em espaços abertos, pode ser afetada pelos seguintes fatores:

- absorção do ar;
- gradientes de vento e temperatura;
- presença de chuva, neblina, etc.;
- presença de barreiras acústicas;
- efeitos da vegetação;
- tipo de superfície do solo.

No entanto, segundo Parkin e Humphreys (1971), quando o som é propagado verticalmente para um ponto, imediatamente abaixo da fonte sonora, não existem efeitos decorrentes dos gradientes de vento e temperatura. Os autores explicam que, nesse caso, os gradientes da

velocidade do ar e da temperatura são na mesma direção, como a propagação do som, e que o único fator meteorológico de importância é a absorção molecular. A mesma consideração pode ser feita em relação a outro ponto localizado no sentido oblíquo à fonte sonora, desde que, segundo Parkin e Humphreys (1971), a aeronave esteja baixa ou o ponto localize-se dentro de um limite dado por um ângulo de incidência θ , entre 5 e 10° (Figura 16).

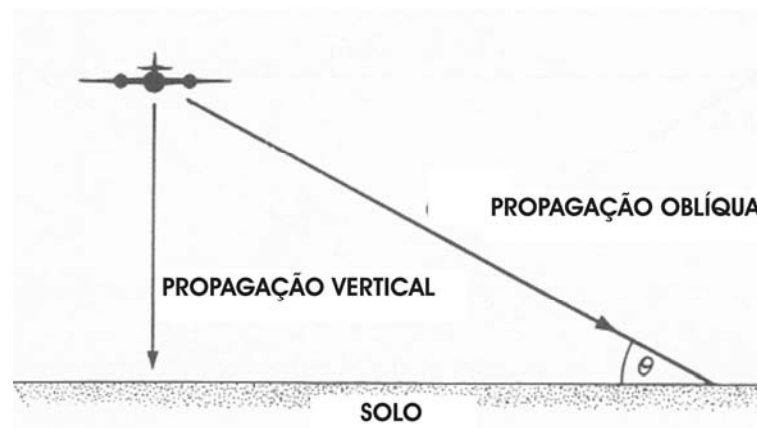


Figura 16: propagação do som de uma aeronave em movimento.
(Fonte: adaptado de PARKIN; HUMPHREYS, 1971)

3.1 Medição do evento de ruído aeronáutico

A medição do ruído aeronáutico é uma ferramenta indispensável no estudo de impacto ambiental de um aeroporto. Porém, inúmeras variáveis podem contribuir para o fracasso de uma medição. O problema mais comum enfrentado é estabelecer a diferença entre o ruído originado da passagem de uma aeronave e outro ruído originado de uma fonte eventual. Por exemplo, o programa de monitoramento de ruído de alguns aeroportos envolve a medição em estações móveis, composta por um veículo dotado dos equipamentos necessários à medição que é deslocado periodicamente na comunidade vizinha e que, freqüentemente, pode captar sons como latidos de cachorros ou de crianças brincando.

Segundo Wallis (2002), apenas no início dos anos 90 surgiu no mercado o primeiro equipamento para monitoramento do ruído de aeroportos com uma sofisticação que permitiu

uma melhor definição dos dados. A empresa do Reino Unido *Cirrus Research* introduziu o *sound gate* permitindo uma precisão de 98%.

Farina (1995) explica que a análise instrumental do evento de ruído aeronáutico pode ser observada segundo dois tipos de medição. A primeira utiliza um filtro de ponderação de frequência, sendo possível gravar uma sucessão temporal de valores de nível sonoro ponderado. A segunda é a análise de energia-tempo-frequência, ETF, que requer a disponibilidade de um analisador de espectro em tempo real, com armazenamento de uma sucessão de espectro, tipicamente em 1/3 de oitava, com um breve intervalo de tempo. Dessa forma, obtém-se um multiespectro que contém todas as informações de evolução espectral e temporal do evento sonoro.

O perfil típico do gráfico de um sobrevôo caracteriza-se por uma *rampa* de saída do nível sonoro, seguido de uma *rampa* de descida. Porém, não se observa um *platô* na duração. O valor máximo do nível da curva de saída, segundo Farina (1995), depende da constante de tempo adotada, ou seja, quanto maior a constante de tempo, menor será o valor máximo da medição.

A medição de um evento de ruído possui um outro condicionante ligado à duração desse evento, que atua na determinação do tempo de integração e na escolha do intervalo temporal do *multiespectro*. Pernet (1979) recomenda que, em medições onde o sobrevôo da aeronave se dá à baixa altitude, é desejável o uso de um curto tempo de integração. Operando com a análise ETF poder-se-á medir o nível sonoro instantâneo com constante de tempo *fast*, *slow*, integração linear de 1 segundo, $L_{eq,1s}$, ou com integração linear de 250 ms, $L_{eq,250ms}$. Em um dos quatro exemplos citados, segundo Farina (1995), será necessário adotar um critério de análise do espectro. Por exemplo, com o nível *slow*, constante de tempo $t=1s$, tempo de integração equivalente $T=2s$, será necessário capturar, no mínimo, um espectro a cada 0,5 segundos; com constante de tempo *fast*, $t=0,125s$ e $T=0,25s$, serão necessários 16 espectros por segundo. Ao contrário, operando com integração temporal linear, deve-se capturar um espectro no final de cada período de integração, logo cada segundo medindo $L_{eq,1s}$, enquanto cada 125ms na medição de $L_{eq,125ms}$.

A Figura 17 mostra gráficos qualitativos que comparam os quatro tipos de tempos de integração.

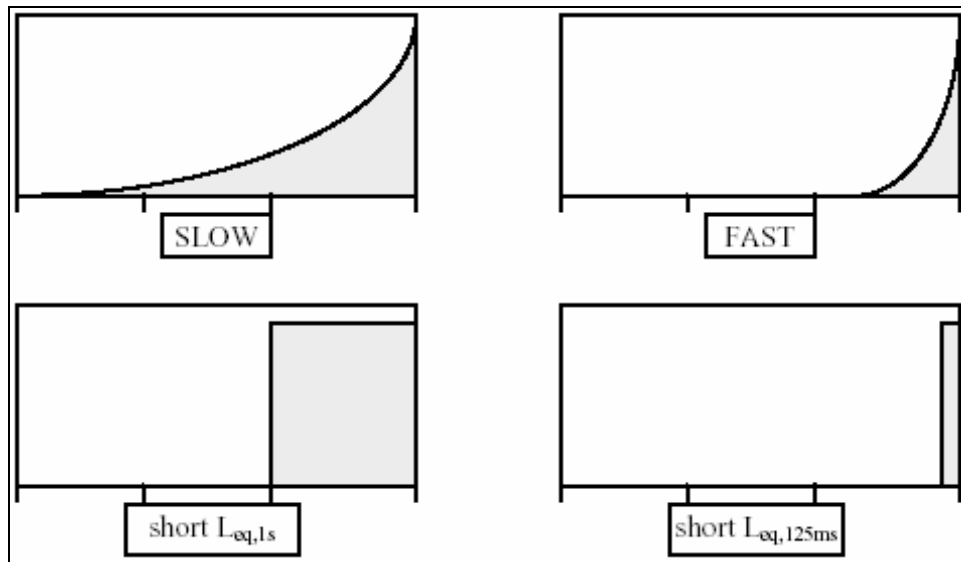


Figura 17: quatro tipos de tempo de integração: diagramas demonstrativos. (Fonte: FARINA, 1995, p. 2.)

Pode-se afirmar que, quanto menores a constante de tempo e o tempo de integração, mais detalhado será o andamento temporal. Ao contrário, o uso de constante de tempo maior produz perfil temporal mais liso e regular. A Figura 18 ilustra essa afirmação, ou seja, para um evento de sobrevôo de um DC-9 em aterrissagem, a cerca de 1000 m da cabeceira da pista, um perfil temporal ponderado A , com diferentes tempos de integração resulta em: média exponencial com constante de tempo *slow* e *fast*, e média linear com L_{eq} de 2s, 1s, 250 ms e 125 ms.

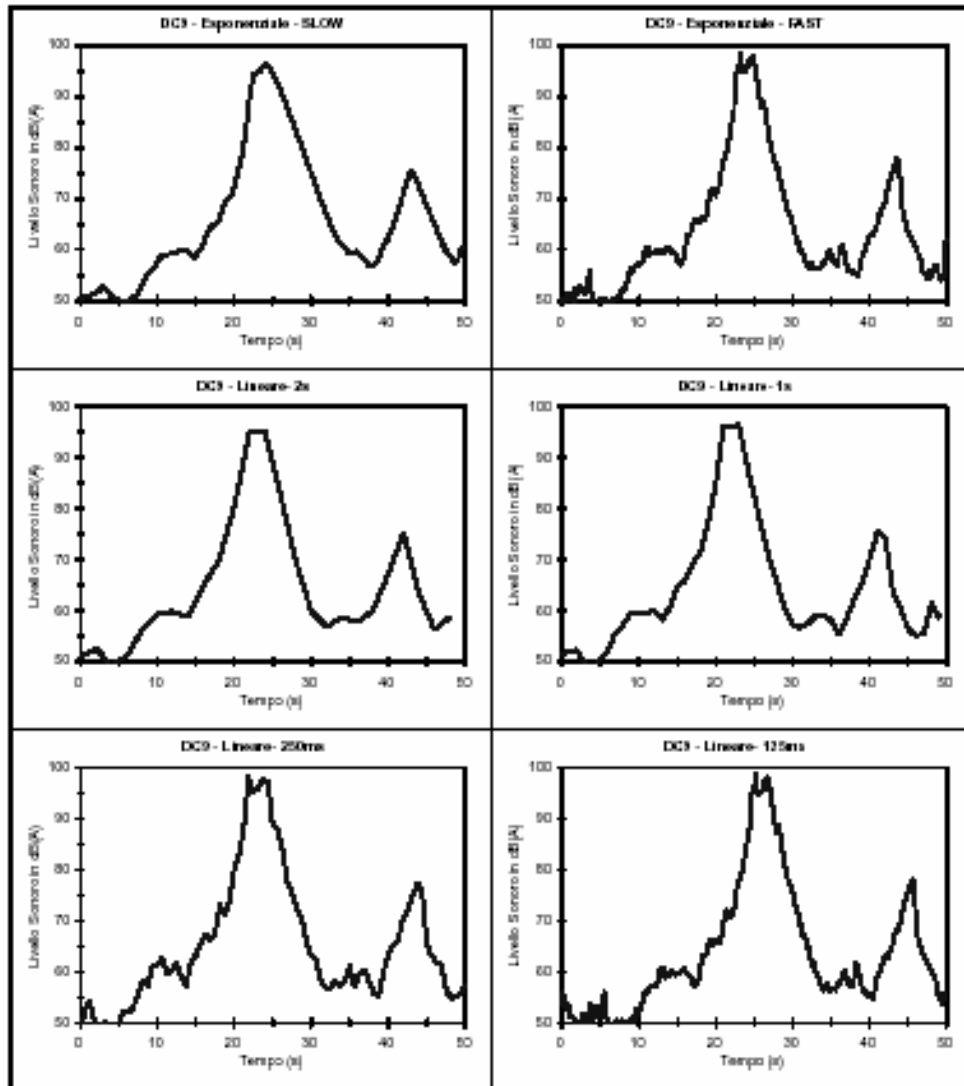


Figura 18: perfil temporal da aterrissagem de um DC-9.
(Fonte: FARINA, 1995)

A Figura 19 mostra a mesma comparação entre os tempos de integração para um evento de decolagem de um Folker 50, com a mesma distância de 1000 m da cabeceira da pista.

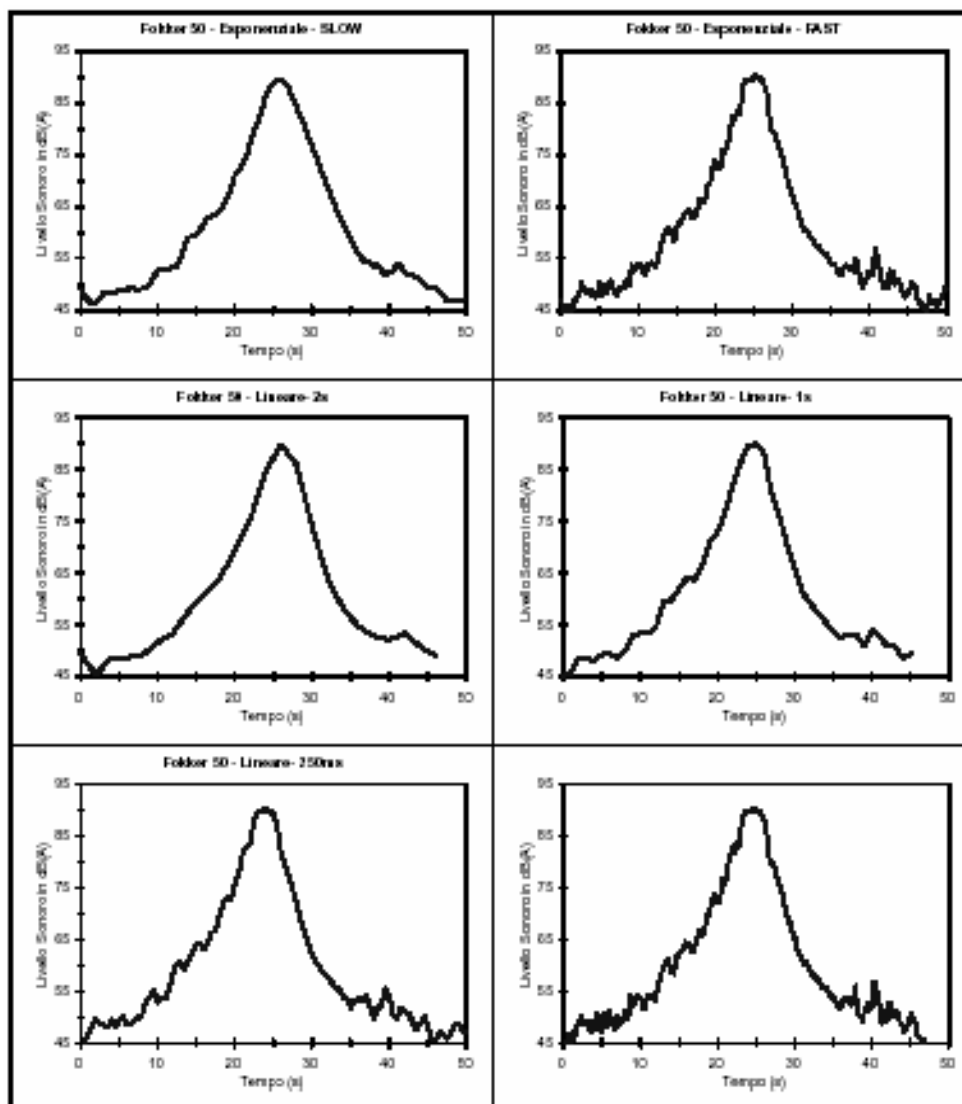


Figura 19: perfil temporal da decolagem de um Fokker 50. (Fonte: FARINA, 1995)

Tanto na Figura 18 como na Figura 19, é percebido que a constante de tempo *fast* oferece um gráfico mais detalhado em comparação ao da constante *slow*, assim como o tempo de integração de 1 segundo apresenta um perfil mais detalhado, comparado ao de 2 segundos.

A definição correta do momento do evento permite separar o ruído de fundo da contribuição acústica originada do sobrevôo. Dessa forma, para identificar o momento da passagem de uma aeronave, deve-se determinar os dois instantes convencionados e, no perfil gráfico do evento, o nível máximo deve superar o ruído de fundo entre 20 e 25 dB_(A).

Normalmente, sugere-se a separação de τ_1 e τ_2 , respectivamente, como instante cujo nível sonoro aumenta em 10 dB, e como instante cujo nível sonoro se reduz a um valor de 10 dB.

Os valores máximos verificados nos seis casos são diferentes. Podem-se comparar os valores absolutos na Tabela 6.

Tabela 6: valores máximos para diferentes tempos de integração

Evento	Tempo de Integração	L_{max} (dB_A)	t₂-t₁ (s)
Aterrissagem de um DC-9.	<i>slow</i>	97,0	5,00
	<i>fast</i>	99,3	3,19
Decolagem de um Folker-50	<i>slow</i>	89,8	7,00
	<i>fast</i>	90,6	5,31

(Fonte: FARINA, 1995)

Em estudos realizados por Jiggins e Berry (1999, 2001), os parâmetros utilizados nas medições do ruído aeronáutico mostram a preocupação na distinção do ruído de fundo. Além dos pesquisadores utilizarem os níveis L_{10} , L_{90} e L_{max} , eles adotaram o $L_{9,99,10s}$ para um gatilho, ou limite inferior de 55dB_(A). Esse índice identifica os eventos com 10 segundos de duração que excedem 55 dB_A, o que, segundo os autores, caracteriza a maioria dos eventos de ruído aeronáutico estabelecendo uma diferença com o ruído de tráfego rodoviário.

Os parâmetros adotados em medições de ruído aeronáutico podem sofrer pequenas variações, em função dos recursos oferecidos pelo equipamento utilizado. Cabe reafirmar que, mesmo com a utilização de equipamentos adequados, o impacto sonoro causado pelo sobrevôo das aeronaves deve ser diferenciado das demais fontes de ruído ambiental.

3.1.1 Recomendações da ISO 3891

A norma ISO 3891 (1978) fornece os procedimentos para identificar o ruído proveniente das operações das aeronaves, especificando a finalidade para quais esses métodos podem ser usados, como, por exemplo, na certificação de aeronaves, monitoramento de níveis de ruído ou de exposição ao ruído e planejamento de uso do solo. Essa publicação fornece

especificações de quatro etapas, com o propósito de identificar o ruído da operação de um evento:

- a) aquisição de dados: método de medição e gravação do ruído;
- b) processamento de dados: método de determinação desses dados na escala de ruído apropriada;
- c) normalização dos dados: método de correção dos dados das medições para procedimentos operacionais de referência e condições atmosféricas;
- d) relatório: método para relatar os resultados, incluindo as análises estatísticas.

Os procedimentos dividem-se em dois níveis de sofisticação de medições:

- a) aquelas que requerem análise espectral em função do tempo, usada para certificação de aeronaves, na qual é requerida uma alta confiabilidade de resultados;
- b) aquelas que requerem apenas a frequência ponderada, onde a sofisticação das medições é reduzida por simplicidade ou baixo custo.

Deve-se ressaltar que o segundo procedimento se diferencia do primeiro por não exigir a análise espectral em 1/3 de oitava e por permitir a medição apenas do nível máximo.

Para medições de exposição ao ruído devido a uma sucessão de operações, a norma recomenda o uso do segundo procedimento para se obterem as características de ruído de cada aeronave, com os resultados expressos em L_{EPN} ou L_{AX} para cada ponto de medição. No entanto, também é indicado o uso do primeiro procedimento para se obterem dados mais refinados (ISO, 1978, p. 10).

Ambos os procedimentos indicam que deve ser usado um microfone onidirecional, com características dinâmicas *slow*, na ponderação *D* ou *A*. Em casos especiais, por exemplo, em voo baixo de uma aeronave em alta velocidade, a característica dinâmica *fast* pode ser necessária para se obter uma medição mais representativa. A diferença básica entre o uso das características *fast* ou *slow* do equipamento foi apresentada anteriormente (FARINA, 1995) e

pode-se resumir no seguinte: a constante *fast* proporciona dados mais detalhados, porém apresenta o L_{\max} maior em relação a constante *slow*.

Ainda com relação ao microfone recomendado pela ISO 3891 (1978), Gerges (2000) explica que os microfones de pressão possuem três curvas de resposta: de resposta de pressão, de resposta campo livre e de resposta campo aleatório. Esse último, chamado também de onidirecional, é o recomendado pela ISO 3891.

As condições físicas do ambiente escolhido para as medições devem ser as seguintes:

- a) não pode haver obstrução;
- b) as medições de ruído serão consideradas confiáveis apenas quando o nível máximo de ruído da aeronave exceder o nível de ruído de fundo, em no mínimo 20 dB;
- c) a superfície do solo não deve possuir absorção sonora excessiva como, por exemplo, aquelas que possuem algum tipo de vegetação;
- d) o material de referência em relação ao coeficiente de absorção é o concreto;
- e) a superfície do solo deve ser horizontal, dentro de uma tolerância de três graus de inclinação;
- f) as pessoas também são consideradas como obstruções;
- g) a velocidade do ar não deve ser maior que 5m/s, considerando uma altura de 10m acima do solo.

Em relação à velocidade do vento, Gerges (2000) recomenda que, para velocidades do ar acima de 2 m/s, o equipamento deve ser utilizado com um protetor de vento, normalmente fornecido pelo próprio fabricante.

Durante as medições, as condições atmosféricas devem apresentar-se da seguinte forma: ausência de precipitações e, para umidade relativa menor que 20%, a temperatura atmosférica não deve ser menor que 5°C.

Vários métodos para análise do ruído aeronáutico, quantificação do nível de incômodo e previsão das reações comunitárias têm sido desenvolvidos em diferentes países e, em geral, cada país adota seu próprio método de avaliação e política de ruído aeronáutico, embora seus fundamentos sejam semelhantes (IAC, 1981).

3.2 Índices de exposição da população ao ruído aeronáutico

Vallet (1996) esclarece que um índice é uma expressão matemática utilizada para representar uma situação complexa, variável no tempo e no espaço. Pode-se admitir que um índice acústico é a expressão de uma determinada situação, sendo, assim uma ferramenta que permite medir e comparar a situação do ruído em diferentes locais, em diferentes momentos do dia ou do ano. O índice é utilizado, no caso do ruído aeronáutico, para definir zonas ao redor dos aeroportos e definir urbanisticamente os diferentes setores, para conciliar o uso do solo e a exploração dos aeródromos. Um índice pode, segundo Vallet (1996), permitir o controle da qualidade sonora ao redor dos aeroportos, levando-se em conta o evento diário da passagem de um avião ruidoso durante o dia e ainda, em longo prazo, a evolução do ruído ano a ano.

Segundo Sancho e Senchermes (1982), no caso da determinação do impacto do ruído aeronáutico em áreas vizinhas aos aeroportos, é importante levar em conta o número de operações em um determinado período de tempo. O conceito de *ruído e número* constitui a base de praticamente todos os índices de exposição ao ruído aeronáutico, representando um número de eventos em um determinado período de tempo. Os autores esclarecem ainda que, no caso do ruído aeronáutico, se fala em *índice de exposição* e não em *nível de ruído existente*, que é apenas um dos fatores que compõem o *índice de exposição*.

Portanto, para representar o incômodo, em valores numéricos, os dados de evolução do número de eventos e duração possuem uma grande importância, pois a utilização apenas da intensidade sonora, para um período de tempo longo, não caracteriza uma informação completa. A Figura 20 exemplifica essa situação com três situações acústicas:

- a) a curva A identifica 2 veículos que passam a uma distância de 25 metros;

b) a curva *B* é característica de uma emissão mais retilínea e, portanto, com uma pequena variação;

c) a curva *C* representa um ruído constante.

As três assinaturas sonoras representam o mesmo valor do índice L_{50} , podendo-se observar que as diferenças da evolução temporal do nível de pressão sonora podem provocar incômodos diferentes.

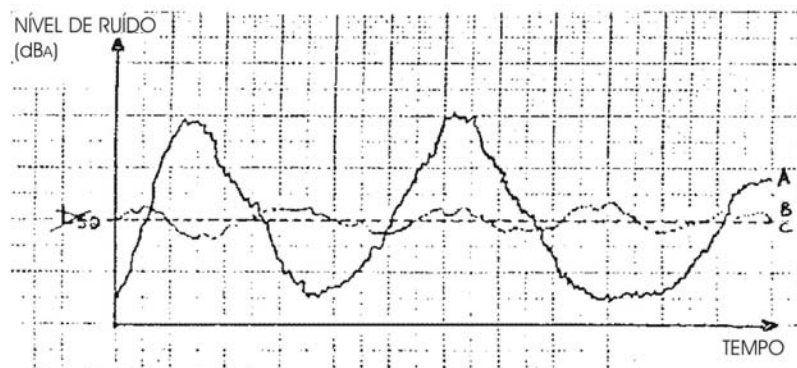


Figura 20: índice de ruído com evoluções temporais diferentes. (Fonte: adaptado de CHAPON *apud* VALLET, 1996).

Na Figura 21, os ruídos representados pelas linhas I e II, possuem o mesmo valor de L_{eq} . No entanto, os perfis acústicos são muito diferentes: o perfil I corresponde a um ruído contínuo, quase estacionário, enquanto que o ruído II, com dois eventos que atingem $68 \text{ dB}_{(A)}$ e que se destacam de um ruído de fundo de $43 \text{ dB}_{(A)}$ apresenta um perfil irregular. É o perfil do ruído II, que se assemelha ao ruído da passagem de um avião.

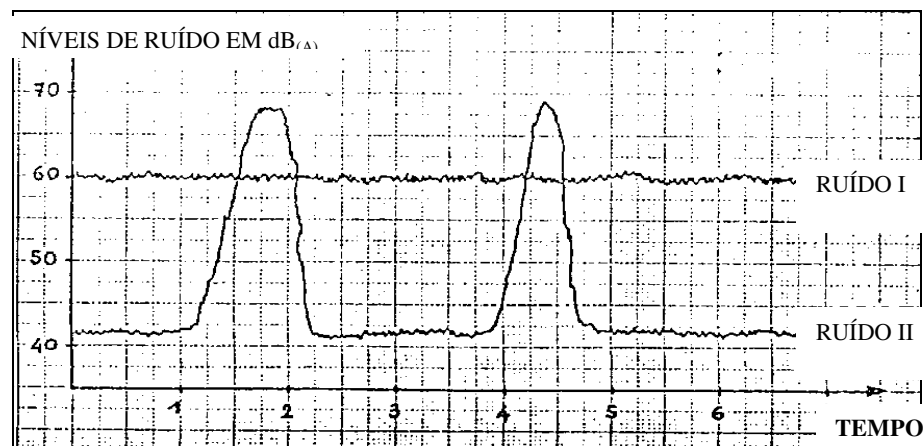


Figura 21: perfis de ruído de mesmo L_{eq} . (Fonte: adaptado de CHAPON *apud* VALLET, 1996).

Segundo Vallet (1996), os índices devem possuir várias características, dentre as quais se destacam as seguintes:

- a) boa representação do incômodo, estabelecendo relações com as diferentes variáveis envolvidas. Por exemplo: diferença entre os períodos da manhã, tarde e noite⁵;
- b) precisão na descrição dos níveis de ruído e do período de referência;
- c) facilidade de emprego, tanto na medição como nos cálculos de previsão;
- d) clareza de formulação, incluindo o tipo de medidas práticas que possam ser tomadas;
- e) coerência regulamentar, sendo preferencialmente definido por uma norma nacional ou internacional;
- f) facilidade de entendimento, para comunicação entre os administradores, comunidades vizinhas e população em geral. Esse ponto em particular, segundo Vallet (1996), possui atualmente uma importância cada vez maior.

Existem três métodos principais de avaliação do ruído durante um sobrevôo que fornecem, a partir de uma série de dados medidos ou calculados, níveis para representar o ruído percebido. Esses níveis podem ser associados à perturbação, ou incômodo, causada por um sobrevôo. Os três métodos principais são:

- a) Nível de ruído percebido – *Perceived Noise Level* – L_{PN} ou PNL;
- b) Nível de ruído percebido com correção de tom – *Tonecorrected Perceived Noise Level* – L_{TPN} ou PNLT, e
- c) Nível efetivo de ruído percebido – *Effective Perceived Noise Level* – L_{EPN} ou EPNL.

⁵ Essa diferença normalmente é estabelecida através de uma ponderação para cada período do dia.

Os três métodos não são independentes e representam a evolução do estudo do ruído produzido por aeronaves, salientando-se que cada um deles parte dos resultados calculados pelo método anterior, tornando-se assim um descritor mais completo do ruído percebido.

A evolução dos métodos de avaliação do ruído aeronáutico pode ser resumida da seguinte forma (IAC, 1981):

O primeiro método desenvolvido, o L_{PN} , leva em consideração os níveis de pressão sonora em cada banda de frequência de 1/3 de oitava, entre 50 e 10.000 Hz. Leva também em consideração, a reação humana ao ruído aeronáutico, em cada uma dessas bandas, e o efeito global do som complexo. No cálculo do efeito global nesse procedimento, a existência de tons puros ou de irregularidades pronunciadas no espectro não é levada em consideração.

Corrigindo essa falha, surgiu o segundo método, o L_{TPN} , cuja diferença do método anterior é a existência de uma etapa a mais, que seria o cômputo da correção a ser feita ao valor do L_{PN} já calculado. Esses dois índices, L_{PN} e L_{TPN} , são funções do instante em que se faz a medida e, portanto, não descrevem todo o sobrevôo. Poder-se-ia tomar, por exemplo, os níveis máximos L_{Pnmax} para descrever o evento, mas tal descrição seria incompleta, por não considerar a duração do mesmo, uma vez que ruídos do mesmo nível máximo, mas com durações diferentes, provocam reações distintas.

Para suprir essa lacuna surgiu o terceiro método, o L_{EPN} , que fornece uma descrição bem mais completa do ruído percebido durante o sobrevôo, podendo ser correlacionado com a reação humana associada ao evento.

A seguir, serão mostrados modelos matemáticos utilizados para avaliação do incômodo devido ao ruído aeronáutico. A divisão adotada obedece à critérios das publicações do IAC (1981) e de Farina (1995), onde os modelos estão divididos em três grupos: baseados no L_{Aeq} , no L_{PN} e no L_{EPN} .

3.2.1 Modelos de avaliação de incômodo baseados no L_{Aeq}

O L_{Aeq} é um valor contínuo, na ponderação A , que representa a integração da energia de uma sucessão de eventos. O nível equivalente contínuo pode ser calculado através da seguinte equação:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \sum_1^n 10^{\frac{L_{AXi}}{10}} \quad (\text{equação 17})$$

Sendo que: L_{AXi} é o nível de exposição ao ruído, na ponderação A , para o i -ésimo evento; T é o tempo da medição em segundos.

3.2.1.1 Day-night Level – L_{DN}

Segundo Farina (1995), o L_{DN} é considerado o método mais utilizado no mundo. Diferencia-se do L_{Aeq} por adicionar 10 dB aos níveis medidos entre 22h e 7h. É definido pela equação:

$$L_{DN} = 10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_D} 10^{\left(\frac{SEL_{A,i}}{10}\right)} + \sum_{i=1}^{n_N} 10^{\left(\frac{SEL_{A,i}+10}{10}\right)}}{24 \times 3600} \right] \quad (\text{equação 18})$$

Sendo que: n_D é o número de eventos diurnos das, 7h às 22h; n_N é o número de eventos noturnos; $SEL_{A,i}$ é a medição em SEL , na ponderação A , para o i -ésimo evento.

O parâmetro de medição SEL relaciona a energia sonora, em L_{Aeq} , considerando a duração de 1s.

3.2.1.2 Community Noise Equivalent Level - CNEEL

O *CNEEL*, utilizado no Estado da Califórnia, nos Estados Unidos, é similar ao L_{DN} , com a diferença de considerar, ainda, um terceiro período do dia, correspondente ao anoitecer, entre 19h e 22h. A equação que determina o *CNEEL* é a seguinte:

$$CNEEL = 10 \log \left\{ \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 \cdot 10^{\frac{L_a+5}{10}} + 9 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right\} \quad (\text{equação 19})$$

Sendo que: L_d é o valor de L_{eq} para o período entre 7h e 19h; L_a é o valor de L_{eq} para o período entre 19h e 22h; L_n é o valor de L_{eq} para o período entre 22h e 7h.

3.2.1.3 Day evening night level – L_{den}

O L_{den} é utilizado nos países membros da Comunidade Européia para avaliar o incômodo devido ao ruído ambiental. Assim como no *CNEEL*, para o cálculo do L_{den} , são atribuídos pesos para três diferentes períodos do dia. O indicador é calculado pela seguinte equação:

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \quad (\text{equação 20})$$

Sendo que: L_d é o valor de L_{eq} , para o período entre 7h e 19h; L_e é o valor de L_{eq} , para o período entre 19h e 22h; L_n é o valor de L_{eq} , para o período entre 22h e 7h.

3.2.2 Modelos de avaliação de incômodo baseados no L_{PN}

O L_{PN} , ou Nível de Ruído Percebido, foi desenvolvido por Kryter e Pearson em 1963 (IAC, 1981), com a elaboração de curvas que representam contornos de igual índice de *ruídosidade*, ou *noisiness*. O L_{PN} leva em conta, apenas, as bandas de frequências e os tipos de ruído correlacionados com o produzido por aeronaves, a pistão ou a jato, em pouso ou decolagem.

Segundo a TB 389 (ABNT, 1990, p. 9), o cálculo considera “um campo sonoro difuso e a inexistência de irregularidades pronunciadas no espectro”. A ISO 3891 (ISO, 1978) apresenta o método para correção de dados medidos e cálculo do L_{PN} e do L_{TPN} . Segundo a norma, o cálculo é composto de três etapas: conversão do nível de pressão sonora em ruído percebido, cálculo da ruídosidade total, em *noys*, e conversão dos valores em L_{PN} .

Se ocorrerem no espectro sonoro tons puros e irregularidades pronunciadas, o que geralmente é o caso, espera-se que a *ruídosidade* percebida aumente. Para contornar esse problema, uma correção pode ser aplicada ao L_{PN} para dar o nível instantâneo de ruído percebido de tom, L_{TPN} .

Caso o espectro sonoro possua um conteúdo tonal acentuado, uma correção adicional de mais 6,7 dB é adicionada ao L_{PN} , obtendo-se o nível de ruído percebido com correção de tom, L_{TPN} (BRÜEL e KJÆR, 2001, p. 64).

Os modelos fundamentados no L_{PN} são o *Noise Number Index*, *NNI*, e o *Índice Psophique*, *IP*, que são utilizados, respectivamente, na Inglaterra e na França. Como a Comunidade Européia está reformulando os padrões de índices de ruído comunitário, com a adoção do L_{den} (COMUNIDADE EUROPÉIA, 2002), esses modelos não serão estudados neste trabalho⁶.

3.2.3 Modelos de avaliação de incômodo baseados no L_{EPN}

São métodos desenvolvidos mais recentemente que, segundo a TB 389 (ABNT, 1990), avaliam os efeitos subjetivos no homem.

Para o cálculo do L_{EPN} , nível efetivo de ruído percebido, é necessário a determinação do L_{PN} , conforme se observa na equação 21.

$$L_{EPN} = 10 \log \frac{1}{10} \int_0^t 10^{\left(\frac{L_{TPN}}{10}\right)} \quad (\text{equação 21})$$

Sendo que: L_{TPN} é o L_{PN} calculado com a adição de 6,7 dB.

⁶ Os modelos *NNI* e *IP* podem ser verificados na TB 389 (ABNT, 1990).

3.2.3.1 Noise Exposure – NE

O nível de incômodo sonoro pelo método *Noise Exposure*, *NE*, possibilita a elaboração de curvas isofônicas e leva em consideração o período de 24 horas. O *NE* é utilizado para o cálculo do *NEF – Noise Exposure Forecast* –, que foi desenvolvido nos Estados Unidos, na década de 1960, e, em 1982, passou a ser adotado na Austrália com a unidade *ANEF – Australian Noise Exposure Forecast* (AIRSERVICES AUSTRALIA, 1999).

$$NE(i, j, k) = L_{EPN(i,j,k)} + 10 \log \frac{N(i, j, k)}{Q_k} - 75 \quad (\text{equação 22})$$

Sendo que: $N(i,j,k)$ é a quantidade de aeronaves tipo i , que utilizam a trajetória j , no período k do dia; Q_k é um ajuste de acordo com o período do dia:

- Para o período diurno, das 07h às 22h, $k=1$ e $Q_1=20$

Para o período noturno, das 22h às 07h, $k=2$ e $Q_2=1,2$

O método *NE*, muitas vezes conhecido como *NEF/NEM*⁷, é considerado dual, pois define duas formas de índice que são:

- NEF: para valores previstos e
- NEM: para valores medidos.

Para o cálculo do Noise Exposure Forecast, *NEF*, é utilizada a seguinte equação:

$$NEF = 10 \log \sum_i \sum_j \sum_k \frac{NE(i,j,k)}{10^{10}} \quad (\text{equação 23})$$

Sendo que: $NE(i,j,k)$ é o valor calculado do *Noise Exposure*, *NE*, para a quantidade de aeronaves tipo i , que utilizam a trajetória j , no período k do dia.

⁷ Noise Exposure Forecast/Noise Exposure Measurements.

O Noise Exposure Measurements, NEM , é dado por:

$$NEM = 10 \log \left\{ \sum_k \sum_i \left(10^{\frac{NE(i,k)}{10}} \right) \right\} \quad (\text{equação 24})$$

Sendo que: $Ne(i,k)$ é o *Noise Exposure*, NE , no ponto onde se fizeram as medidas, devido ao sobrevôo i ocorrido no período k .

O IAC (1981) propõe que a equação anterior possa ser escrita da seguinte forma:

$$NEM = 10 \log \left\{ \frac{N_1}{20} \left(\frac{1}{n_1} \sum_{\text{dia}} 10^{\frac{L_{EPNi}}{10}} \right) + \frac{N_2}{1,2} \left(\frac{1}{n_2} \sum_{\text{noite}} 10^{\frac{L_{EPNi}}{10}} \right) \right\} - 75 \quad (\text{equação 25})$$

Sendo que: N é o número total de sobrevôos que ocorreram no período k ; n é o número de eventos medidos no período k .

Segundo o IAC (1981), considerando-se $N_1 = n_1$ e $N_2 = n_2$, obtém-se:

$$NEM = 10 \log \left(\frac{1}{20} \sum_{\text{dia}} 10^{\frac{L_{EPNi}}{10}} + \frac{1}{1,2} \cdot \sum_{\text{noite}} 10^{\frac{L_{EPNi}}{10}} \right) \quad (\text{equação 26})$$

3.2.3.2 Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level - WECPNL

Modelo desenvolvido pela ICAO – *International Civil Aviation Organization*. Seus parâmetros encontram-se definidos no Anexo 16 (ICAO, 1993). Foi desenvolvido para análises de longos períodos de exposição, em semanas e meses, com a introdução de um fator de sazonalidade.

$$WECPNL = 10 \log \left(\frac{1}{m} \left(\frac{1}{8640} \sum_{i=1}^{n_D} 10^{\left(\frac{L_{EPNL,i}}{10} \right)} + \frac{10}{8640} \sum_{i=1}^{n_E} 10^{\left(\frac{L_{EPN,i}+5}{10} \right)} + \frac{10}{8640} + \sum_{i=1}^{n_N} 10^{\left(\frac{L_{EPN,i}+10}{10} \right)} \right) \right)$$

(equação 27)

Sendo que: n_D é o número de eventos diurnos entre 7h e 19h; n_E é o número de eventos entre 19h e 22h; n_N é o número de eventos noturnos; S é um fator de correção estacionário onde:

- $S=+5\text{dB}$, para meses em que há mais do que 100 horas com temperaturas iguais ou superiores a $25,6^\circ\text{C}$;
- $S=0\text{dB}$, para meses em que há normalmente mais do que 100 horas com temperaturas iguais ou superiores a 20°C e menos de 100 horas com temperaturas iguais ou superiores a $25,6^\circ\text{C}$;
- $S=-5\text{dB}$, para meses em que há menos do que 100 horas com temperaturas iguais ou superiores a 20°C .

O $WECPNL$ também pode ser calculado para dias isolados, a partir do nível de pico de ruído aeronáutico. A seguinte equação estima os valores médios diários em $WECPNL$:

$$WECPNL = PEAK + 10 \log(N_2 + 3N_3 + 10(N_1 + N_4)) - 27 \quad (\text{equação 28})$$

Sendo que: $PEAK$ é a energia média de todos os eventos em níveis de pico de qualquer dia; N_1 é o número de eventos entre 0h e 7h; N_2 é o número de eventos entre 7h e 19h; N_3 é o número de eventos entre 19h e 22h; N_4 é o número de eventos entre 22h e 24h.

3.2.4 Relações entre índices e nível de incômodo

O incômodo devido ao ruído aeronáutico tem sido avaliado na França por meio de vários levantamentos. A pedido dos Ministérios do Meio Ambiente e dos Transportes, o INRETS⁸ realizou uma nova pesquisa para coleta de dados relacionados à exposição ao ruído e incômodo, relatada em artigo de Vincent *et al.* (2000). O objetivo foi verificar se o índice IP, utilizado na França para estudos de planejamento urbano, ainda era adequado. O estudo também teve como finalidade determinar qual o índice acústico que mais leva em conta o incômodo, além de testar os índices L_{eq} , L_{DN} , L_{den} . A pesquisa envolveu a aplicação de um questionário em 36 cidades, totalizando um número de 1473 pessoas entrevistadas. Também foram realizadas medições acústicas, durante vários dias, nessas mesmas cidades. Foi verificada uma correlação estatística muito fraca entre os índices e o incômodo da população, entre 0,289 e 0,310, porém, apesar das diferenças entre os índices, as correlações foram muito similares.

Um outro fator notado na pesquisa diz respeito à localização da edificação de cada pessoa, pois aquelas que moram embaixo da trajetória das aeronaves relatam um nível de incômodo maior do que aquelas que moram nas laterais das pistas, sem um vínculo claro com o medo de acidentes. Estudos anteriores, na França e no Reino Unido, mostraram que o incômodo aumenta com o ruído; mesmo que a relação estatística seja fraca, com coeficiente de correlação entre 0,3 e 0,6, duas principais informações podem ser destacadas:

- o incômodo depende de muitas variáveis da exposição ao ruído, no espaço e tempo, e para pessoas que residem em um local em particular;
- o incômodo é expresso segundo fatores pessoais, psicológicos, sociológicos e econômicos, que são, por definição, não acústicos.

Outras reações podem ser destacadas: as exigências humanas em questões relacionadas ao meio ambiente têm aumentado durante as últimas décadas. Um exemplo desse fato se encontra no Aeroporto de Dusseldorf, onde o tráfego aéreo tem aumentado e os níveis de ruído têm diminuído desde 1987 (KATSKA *et al apud* VINCENT, 2000), porém a porcentagem de pessoas incomodadas está progressivamente aumentando. Conseqüentemente,

⁸ Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité: Instituto Nacional de Pesquisa em Transportes e Segurança.

a relação entre níveis de ruído e incômodo expresso está decaindo. Vários fatores, considerados como não acústicos, parecem aumentar o incômodo – como, por exemplo, o número de operações, o medo do aumento do tráfego numa segunda pista, o aumento na sensibilidade – sem o aumento dos níveis de ruído. Foi concluído que os índices L_{eq} e L_{DN} correspondem melhor à expectativa das pessoas que moram próximo aos aeroportos, em termos de entendimento da exposição ao ruído e melhoria da aceitação. Na avaliação dos autores, os referidos índices se mostram adequados no sentido de serem mais simples de medir ou calcular e também de melhor entendimento para os habitantes.

3.2.5 Considerações finais sobre índices para o ruído aeronáutico

Atualmente, a ISO 3891⁹ regulamenta as medições de ruído aeronáutico descrevendo como realizar o monitoramento, incluindo procedimentos de medições e gravações, análise de dados e relatórios. Em linhas gerais, podem-se ter duas situações de medição do ruído (BRÜEL e KJÆR, 2001, p. 59):

- a) para eventos únicos: considerada a situação mais comum, quando o ruído é captado de uma fonte, os parâmetros de ruído ambiental mais utilizados são o L_{ASMax} e o L_{AE} , este último também denominado de L_{AX} em outras normas;
- b) para uma sucessão de eventos de ruído, nos quais o recomendado é o uso do $L_{Aeq, T}$.

Em alguns casos, para certificação de aeronaves, por exemplo, análises mais detalhadas, de 1/3 de oitava, são realizadas com intervalos de 0,5 segundos. O PNL¹⁰ é, então, calculado através de uma conversão do nível de pressão sonora para valores de incômodo, de acordo com os padrões Anexo 16 do ICAO (BRÜEL & KJÆR, 2001, p. 63-4).

⁹ ISO 3891: Acoustics - Procedure for Describing Aircraft Noise Heard on the Ground. 1978.

¹⁰ Perceived noise level

3.3 Curvas Isofônicas: origem e evolução

O nível de incômodo, para qualquer método abordado anteriormente, é função das medidas de ruído percebido em cada evento. Como as medidas dependem do ponto no solo onde foram feitas, pode-se chegar à conclusão de que o nível de incômodo é função do ponto no qual ele é referido. As curvas isofônicas representam a união de pontos com a mesma avaliação numérica, no entorno de um aeroporto. Leva-se em consideração a possibilidade de se obterem os níveis de incômodo para um determinado período padrão de referência, um dia, por exemplo, obtendo-se um conjunto de contornos, ou curvas, de igual nível de incômodo.

A geração de curvas através de medições é uma atividade complexa, envolvendo um investimento muito alto na compra de equipamentos de precisão e um controle rigoroso sobre as variáveis que podem afetar a confiabilidade dos dados. Muitos aeroportos, atualmente, utilizam um sistema de monitoramento do ruído com a finalidade de verificar valores estipulados em simulações. Através dessas curvas, pode-se avaliar a extensão do impacto sonoro produzido pelo aeroporto, além de analisar quantitativamente os efeitos de soluções imaginadas. Dessa forma, pode-se elaborar uma política de ocupação do solo que harmonize a convivência entre o aeroporto e a comunidade servida. (IAC, 1981, p. 38).

A idéia de geração desse tipo de curva surgiu nos Estados Unidos, após a Segunda Guerra Mundial, em virtude da multiplicação de bases aéreas pelo interior do país e o surgimento das primeiras aeronaves militares a jato. Como essas bases foram instaladas, predominantemente, em áreas rurais ou mistas, o impacto sonoro tornou-se muito mais significativo devido à diferença entre o ruído das aeronaves e o ruído de fundo. A reação das comunidades ao problema gerado pelas bases aéreas obrigou a Força Aérea Americana a estudar o problema com a finalidade de encontrar soluções. Os primeiros resultados desses estudos surgiram em 1952, através do estabelecimento do primeiro esquema de avaliação do ruído aeroportuário, que foi denominado CNR, *Composite Noise Rating*, apresentado por Rosenblith e Stevens (*apud* IAC, 1981). Na segunda versão apresentada em 1955 (ROSENBLITH e STEVENS *apud* IAC, 1981), algumas modificações foram introduzidas no cálculo, ressaltando-se a diferenciação entre os períodos de inverno e verão. A partir de 1957, com a publicação do trabalho de Stevens e Pietransanta (*apud* IAC, 1981), iniciou-se uma série de modificações nos conceitos originais do CNR. A natureza das fontes de ruído envolvidas ganharam maior importância, enquanto se desprezavam alguns dos ajustes que eram efetuados para a obtenção

do estímulo efetivo. No trabalho de Stevens e Pietransanta se considerou, também, o efeito da duração de cada evento no ruído percebido. Isso foi conseguido adicionando ao nível máximo de pressão sonora de cada evento um ajuste em função da duração do evento. O nível de pressão sonora, assim obtido, foi denominado *equivalent continuous sound pressure level*, nível equivalente de pressão sonora contínua, ou simplesmente L_{eq} . Esse valor era determinado pela equação 29:

$$L_{eq} = L_{max} + 10 \left(\log_{10} \frac{\delta t}{3600} \right) \quad (\text{equação 29})$$

Sendo que: δt é a duração efetiva do ruído dada em segundos.

A comparação resultante dos valores de L_{eq} era relacionada a possíveis reações comunitárias, classificadas segundo três categorias, conforme indica a Tabela 7.

Tabela 7: níveis de ruído e reações comunitárias, segundo Stevens e Pietrosanta.

DESCRIÇÃO DE REDE COMUNITÁRIA	NÍVEL EQUIVALENTE DE PRESSÃO SONORA MAIS CORREÇÕES
Nenhum descontentamento foi relatado. O ruído pode, entretanto, interferir ocasionalmente com atividades dos residentes.	Menor que 45 dB
Alguns residentes na comunidade podem reclamar, talvez vigorosamente. Ações em grupo contra as autoridades não devem existir, mas a possibilidade dessas ações existe.	De 45 dB a 55 dB
Reações comunitárias contra as autoridades existirão. As atitudes podem variar de fortes ameaças a ações vigorosas	Maior que 55 dB

(Fonte: IAC, 1981, p. 36)

As reações esperadas da comunidade, na década de 50, estavam relacionadas com o tipo de incômodo que a comunidade poderia causar em função dos níveis de ruído.

Tornava-se interessante, portanto, delimitar no solo as faixas críticas. A primeira tentativa foi elaborada para a versão de 1957 do método CNR. Um grande número de etapas extras, com

relação à versão anterior, foi introduzida para possibilitar a delimitação, no solo, das curvas correspondentes aos níveis de incômodo de 45 dB e de 55 dB (IAC, 1981).

Entretanto, nem essa versão do CNR, nem na última versão, que surgiu entre 1963 e 1964, se adaptavam à necessidade de geração de curvas isofônicas por computador. A partir dessa necessidade foi criado, entre 1967 e 1969, pelo órgão americano de administração aeronáutica, FAA¹¹, um novo método denominado *Noise Exposure Forecast*, NEF. Esse novo método já incorporou o conceito de nível de ruído efetivamente percebido, L_{EPN} , e foi desenvolvido especificamente para permitir a geração de curvas isofônicas (IAC, 1981).

Em 1978, a FAA desenvolveu um software para previsão do impacto do ruído aeronáutico, tendo como base um modelo para estimar a evolução do impacto do ruído aeronáutico em áreas vizinhas aos aeroportos, produzindo curvas isofônicas, denominado INM¹² (FAA, 2004). Para gerar as curvas de ruído, o modelo utiliza informações referentes ao aeroporto, movimento das aeronaves, operações de voo e a definição do índice de ruído. Na versão de 1982, utilizada em um estudo feito na Espanha, nos seis maiores aeroportos espanhóis (GARCIA *et al.*, 1993), havia quatro índices pré-definidos: NEF, L_{Aeq} , L_{DN} , TA e apenas 66 tipos de aeronaves comerciais e militares. A versão atual possui mais de 16 índices pré-definidos, como, por exemplo: L_{DN} , L_{EPN} , L_{AEQ} , L_{AMAX} , NEF, PNLTM, SEL, TA_{LA} , TA_{PNL} , WECPNL; e também pode trabalhar com índices específicos de determinados países, como o ANEF na Austrália. A base de dados de aeronaves também foi ampliada, contando, atualmente, com 101 tipos de aeronaves civis (FAA, 2004).

A Figura 22 mostra um exemplo genérico de curvas isofônicas, geradas pelo INM 6.0, na qual cada cor representa um nível de ruído em dB: azul claro entre 55 e 60 dB, azul escuro, entre 60 e 65 dB, verde claro, entre 65 e 70 dB, até chegar na cor rosa, com um valor máximo de 85 dB.

¹¹ Federal Aviation Administration.

¹² Integrated Noise Model. Atualmente a versão 6.1 trabalha com ambiente WINDOWS NT e 98, enquanto que a primeira versão 4.0, rodava em ambiente FORTRAN.

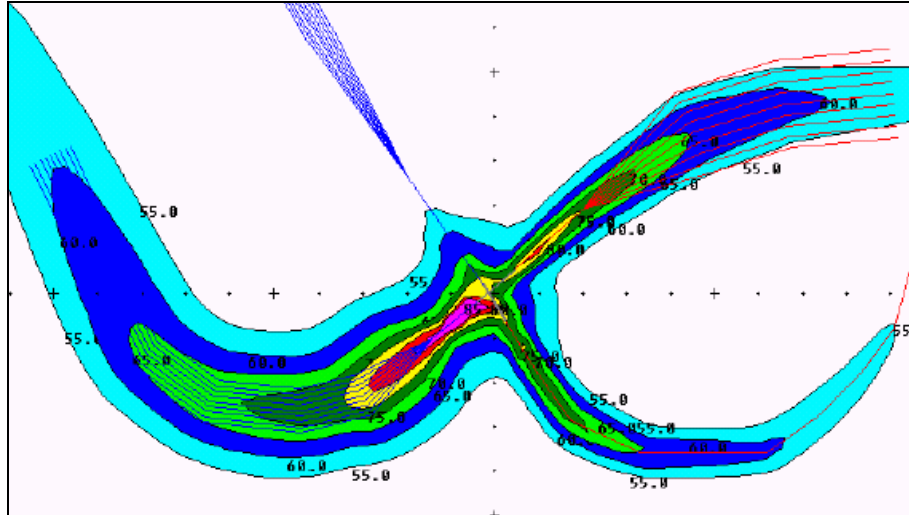


Figura 22: curvas isofônicas geradas pelo INM 6.0. (Fonte: TRANI, 2003)

O software permite que a convenção de cores utilizada pode ser modificada, bem como os intervalos entre os valores das curvas isofônicas. Nos próximos capítulos, serão mostrados outros mapas gerados pelo INM, em casos reais de previsão do ruído ao redor de alguns aeroportos.

3.4 Método adotado no Brasil: Índice Ponderado de Ruído – IPR

No Brasil, o método utilizado para medir o incômodo causado pelo ruído aeronáutico é o IPR – Índice Ponderado de Ruído, que, segundo o IAC (1981), foi criado com a finalidade de avaliar o incômodo, a partir da geração de curvas isofônicas. O IPR é um método muito parecido com o WECPNL, com algumas características do NEF. Foram mantidos os pesos diferenciados para vôos diurnos e noturnos, o período de referência foi restringido para um dia e o ajuste sazonal foi excluído.

O cálculo do IPR leva em consideração os seguintes dados:

- a) tipos de aeronaves que operam no aeroporto;
- b) número médio de operações por dia, nos períodos diurno e noturno, sendo considerado diurno o período entre 7h e 22h, e noturno o período entre 22h e 7h;

- c) distribuição dos movimentos pelas trajetórias de chegada e saída do aeroporto;
- d) dados técnicos das aeronaves que operam no aeroporto:
- perfil de subida, com peso médio de decolagem, em toneladas, para cada aeronave em cada pista do aeroporto;
 - perfil de pouso por instrumentos, para cada pista do aeroporto;
 - curva de nível efetivo de ruído percebido, L_{EPN} , versus distância, do observador à aeronave, para cada aeronave utilizada.

A componente do IPR, levando-se em conta todas as aeronaves do tipo i , que percorrem a trajetória j , durante o período k do dia, é dada por:

$$IPR_{(i,j,k)} = L_{EPN(i,j,k)} + 10 \log_{10} p_{(k)} \cdot n_{(i,j,k)} - 68 \quad (\text{equação 30})$$

Sendo que: $n_{(i,j,k)}$ é o número de aeronaves de um determinado tipo; $p_{(k)}$ é um peso em função do período do dia: para o período diurno, entre 7h e 22h, $k=1$ e $p_{(1)}=1$; para o período noturno, entre 22h e 7h, $k=2$ e $p_{(2)}=10$

O IPR total seria, então, obtido pela expressão:

$$IPR = 10 \log_{10} \sum_i \sum_j \sum_k 10^{\frac{IPR_{(i,j,k)}}{10}} \quad (\text{equação 31})$$

Sendo que: $IPR_{(i,j,k)}$ é o IPR calculado para as aeronaves do tipo i , que percorrem a trajetória j , durante o período k do dia.

3.4.1 Cálculo do IPR a partir de valores medidos

O IAC (1981) recomenda que, para esse procedimento, deverão ser realizadas medições por um período de 24 horas, obtendo-se os níveis de ruído para cada sobrevôo. O procedimento de cálculo para o IPR considera o nível efetivo de ruído percebido, L_{EPN} , e é dado por:

$$IPR = 10 \log_{10} \left[\sum_{\text{dia}} 10^{\frac{L_{EPN(i,1)}}{10}} + 10 \cdot \sum_{\text{noite}} 10^{\frac{L_{EPN(i,2)}}{10}} \right] - 68 \quad (\text{equação 32})$$

Sendo que: $L_{EPN(i,k)}$ é o nível efetivo de ruído percebido para o sobrevôo i , durante o período do dia k , sendo que:

- 1 é o período diurno, entre 7h e 22h;
- 2 é o período noturno, entre 22h e 7h.

3.4.2 Relação entre o IPR e o incômodo subjetivo

Muitos estudos apontam uma forte relação entre a reação ao incômodo, o nível socioeconômico e as atividades exercidas nas áreas afetadas. De um modo geral, quanto maior o nível socioeconômico da população, maior será a restrição à poluição sonora.

O IAC (1981) elaborou um quadro no qual apresenta os valores de IPR e a reação esperada da comunidade, com base em estudos preliminares e resultados de outros países.

Tabela 8: valores de IPR e reações comunitárias

VALOR DO IPR	REAÇÃO DA COMUNIDADE EXPOSTA A ESTE NÍVEL DE RUÍDO
Menor que 53 IPR	Nenhuma reclamação é esperada. Ambiente pouco ruidoso.
Entre 53 e 60 IPR	Ambiente medianamente ruidoso. É esperado um grande volume de reclamações por parte dos residentes.
Maior que 60 IPR	Ambiente extremamente ruidoso. São esperadas reclamações generalizadas por parte dos residentes. É possível uma ação comunitária em prol da redução do ruído.

(Fonte: IAC, 1981, p. 96)

As reações esperadas são muito semelhantes ao que foi apresentado na Tabela 7, que mostra como as autoridades militares americanas, na década de 50, relacionavam índices de ruído com reações da comunidade. Pode-se interpretar essa relação como uma forma de precaução

das autoridades aeronáuticas, no sentido de se defenderem do incômodo que a comunidade possa causar com reclamações e ações judiciais. A relação estabelecida não mostra uma intenção clara de preocupação com aspectos relacionados aos efeitos do ruído causados na comunidade.

3.4.3 Geração de curvas isofônicas a partir do IPR

No Brasil, as Zonas de Proteção são elaboradas pelos Planos de Zoneamento de Ruído, *PZR*, determinados pela Portaria 1141 (BRASIL, 1987). Os *PZR*s, criados pelo Comando da Aeronáutica, são considerados “instrumentos para ordenamento da implantação, do uso e do desenvolvimento de atividades já localizadas ou que venham a se localizar no entorno dos aeródromos, em função do ruído aeronáutico” (COMANDO DA AERONÁUTICA, 2005). Os Planos definem três áreas de impacto do ruído aeronáutico:

- a) Área I: interior à curva de nível de ruído 1, onde o nível de incômodo sonoro é potencialmente nocivo aos circundantes, podendo ocasionar problemas fisiológicos por causa das exposições prolongadas;
- b) Área II – área do Plano de Zoneamento de Ruído, compreendida entre as curvas de nível de ruído 1 e 2, onde são registrados níveis de incômodo sonoro moderado;
- c) Área III – área do Plano de Zoneamento de Ruído, exterior à curva de ruído de nível 2, onde normalmente não são registrados níveis de incômodo sonoro significativos.

No entanto, não fica claro pela Portaria n. 1141 que níveis de ruído são esperados nessas áreas, pois as curvas são definidas da seguinte forma:

- a) curva de nível de ruído 1 – Linha traçada a partir dos pontos nos quais o nível de incômodo sonoro é igual a um valor predeterminado e especificado pelo Departamento de Aviação Civil – DAC – em função da utilização prevista para o aeródromo. O nível de incômodo sonoro representado por esta curva é maior do que o representado pela curva de nível de ruído 2;

b) curva de nível de ruído 2 – Linha traçada a partir dos pontos nos quais o nível de incômodo sonoro é igual a um valor predeterminado e especificado pelo Departamento de aviação Civil – DAC, em função da utilização prevista para o aeródromo. O nível de incômodo sonoro representado por esta curva é menor do que o representado pela Curva de Nível de Ruído 1.

A aplicação dos Planos de Zoneamento de Ruído é feita seguindo o critério de número de movimento de aeronaves, que classifica as pistas em categorias de I a VI. Para as categorias de II a VI é feito o Plano Básico de Zoneamento de Ruído, conforme a própria Portaria 1141 (BRASIL, 1987), segundo parâmetros geométricos de seus anexos. Para pistas de categoria I¹³ é aplicado um Plano Específico de Zoneamento de Ruído, que foi determinado pela Portaria 0629 (BRASIL, 1984).

Atualmente é utilizado, para determinação dos Planos Específicos, o software INM 6.1 para a geração das curvas isofônicas, e os valores são emitidos em L_{DN} . Os valores são convertidos para IPR, através de uma equivalência que ocorre da seguinte forma: 75 L_{DN} para 63 IPR e 65 L_{DN} para 53 IPR. Porém, diferente de outros países que utilizam no mapeamento um número de curvas maior, no Brasil são utilizadas apenas duas curvas de nível de ruído, nas quais, pelos critérios publicados na apostila do IAC (1981), a curva 1 corresponde ao IPR 63 e, a curva 2, ao IPR 53.

¹³ Pista de Aviação Regular de Grande Porte de Alta Densidade – Pista na qual haja ou esteja prevista, num período de até vinte anos, a operação de aeronaves de aviação regular de grande porte, cuja soma de pousos e decolagens, existente ou prevista, seja igual ou superior a seis mil movimentos anuais ou que o número de operações, no período noturno, seja superior a dois movimentos (BRASIL, 1987).

4 O RUÍDO AERONÁUTICO NOS AEROPORTOS

Os estudos sobre ruído aeronáutico iniciaram na década de 50, em função das reclamações de comunidades expostas ao problema (ELLER, 2000).

Segundo Ashford *et al.* (1997), o ruído produzido pela operação dos aeroportos é problema mundial, que inibe o desenvolvimento de novos aeroportos, além de causar sérias restrições nas operações dos existentes.

Os impactos gerados pela operação dos aeroportos podem ser identificados segundo quatro tipos de fatores (Horonjeff *apud* ALVES, 2003): fatores de poluição, fatores sociais, fatores ecológicos e fatores econômicos e de engenharia. O ruído é considerado um aspecto dentro dos fatores de poluição, juntamente com a qualidade do ar, qualidade da água e impactos relativos à construção ou ampliação dos aeroportos.

As tentativas de redução do ruído aeronáutico vem sendo feitas em vários países do mundo, como uma resposta às inúmeras queixas das comunidades expostas ao ruído. Em 1968 foi criado, pela ICAO¹⁴, o *Committee on Aviation Noise – CAN* –, que produziu, em 1971, um documento normativo internacional estabelecendo padrões para redução dos níveis de ruído no entorno de aeroportos (ASHFORD *et al.*, 1997).

No entanto, apesar das normas internacionais bastante restritivas, em relação à operação de aeronaves ruidosas, estudos recentes revelam que o número de pessoas expostas a 55 L_{DN}, em determinadas regiões, aumentará em 21% até 2020. Esse aumento é menor na região da América do Norte, porém mais significativo na Europa, 42%, e no Japão, Austrália e Nova Zelândia, 170% (ICSA, 2001).

De modo geral, cada país adota valores diferentes para estabelecer os limites e usos das zonas de ruído. A Tabela 9 mostra os limites das zonas de ruído aeronáutico e a respectiva restrição construtiva utilizados em alguns países. Os valores apresentados são referentes ao L_{eq, 24h} e as zonas estão classificadas na Tabela 9 em três tipos: sem restrição de uso, com exigência de medidas de isolamento sonoro e com proibição de construção de novas residências.

¹⁴ International Civil Aviation Organization.

Tabela 9: Limites de zonas de ruído aeronáutico em alguns países em $L_{eq, 24h}$.

País	Sem Restrição	Medidas de Isolamento	Proibição de Construção de Novas Residências
ALEMANHA	< 62	67 – 75	> 75
AUSTRÁLIA	< 53	53 – 58	> 58
CANADÁ	\leq 57	60 – 62	> 68
CHINA	\leq 54		
DINAMARCA	\leq 51	> 61	> 51
EUA	\leq 62		> 72
FRANÇA	< 62	62 – 71	
HOLANDA	\leq 50	53 – 60	> 50
JAPÃO	< 54	> 69	
NOVA ZELÂNDIA	\leq 52	52 – 62	> 62
NORUEGA	\leq 55	55 – 65	> 55
SUÉCIA	< 51		
SUIÇA		62 – 72	> 62
REINO UNIDO	\leq 55	55 - 64	> 70

(Fonte: BRUEL & KJAER, 2001, p. 37)

Na Europa, a aviação é o meio de transporte de maior crescimento, com um aumento de 6% ao ano, e uma projeção de duplicação do tráfego aéreo em 2015, relativa aos dados de 2002 (SHORT, 2002). Esse dado traz uma preocupação em relação ao aumento da área de alguns dos maiores aeroportos europeus, bem como seu conseqüente impacto na malha urbana das cidades.

Güller e Güller (2002) afirmam que o nível de aceitação das comunidades vizinhas, em relação à ampliação dos aeroportos, é inversamente proporcional à exposição ao ruído. Em 2000, foi realizada uma votação na comunidade vizinha ao aeroporto de Zurique, na Suíça, para aprovação da ampliação do aeroporto, e a maior oposição estava, justamente, nas áreas mais ruidosas. A Figura 23 ilustra a localização das pistas do Aeroporto de Zurique, suas curvas de ruído e a resposta da comunidade, favorável ou não, à ampliação.

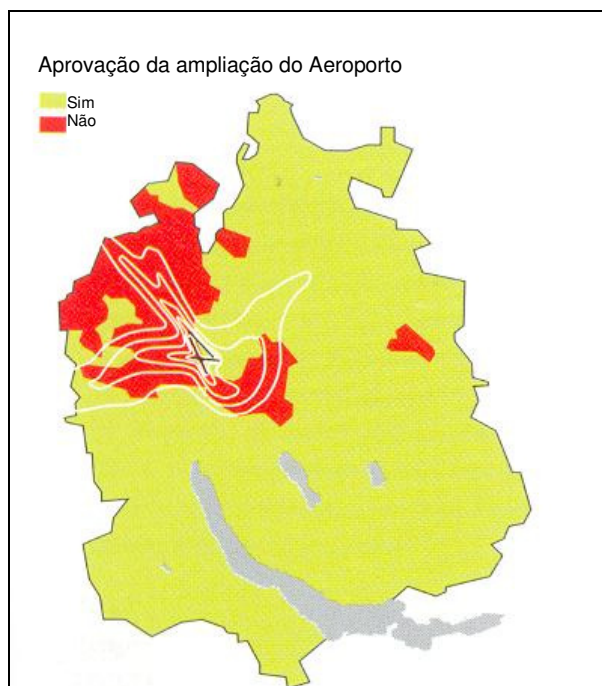


Figura 23: Aceitação pública da ampliação do Aeroporto de Zurique.
(Fonte: adaptado de GÜLLER; GÜLLER, 2002, p. 169)

Por outro lado, as áreas de maior exposição ao ruído, que não deveriam conter áreas edificadas, podem ser de difícil administração para o poder público. O Aeroporto de Helsink, na Finlândia, por exemplo, fica no município vizinho de Vantaa e o contorno de ruído ocupa 25% da área total do município, o que significa uma impossibilidade de ocupação do solo, que não seja com uso logístico e industrial.

No Brasil, o IPT (ALUCCI *et al.*, 1986) publicou um relatório onde existem critérios de distâncias mínimas para localização de conjuntos habitacionais em áreas próximas aos aeroportos. Nesse documento, as recomendações são diferenciadas para as situações de aproximação e ascensão das aeronaves (as Figuras 24 a 27 ilustram essas recomendações). Na rota de aproximação, o IPT estabelece uma distância lateral de, no mínimo, 2 Km (Figura 24), e uma distância mínima da cabeceira da pista de 10 Km (Figura 25), enquanto que, na rota de ascensão, a distância lateral deve ser de 3 Km (Figura 26), e a distância mínima da cabeceira da pista, de 15 Km (Figura 27).

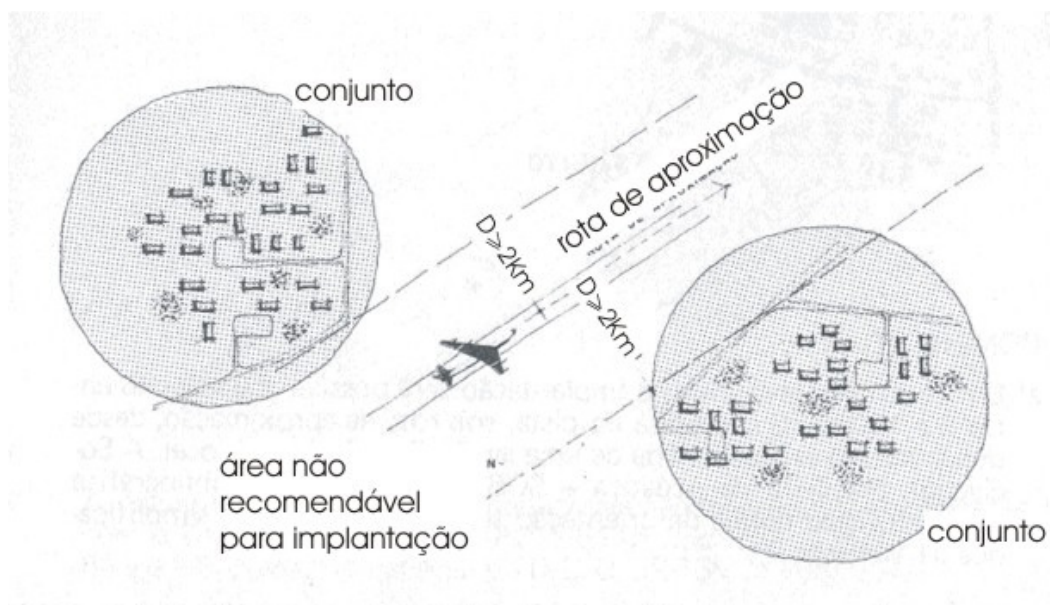


Figura 24: recomendação da distância lateral da rota de aproximação.
(Fonte: ALUCCI *et al.*, 1986)

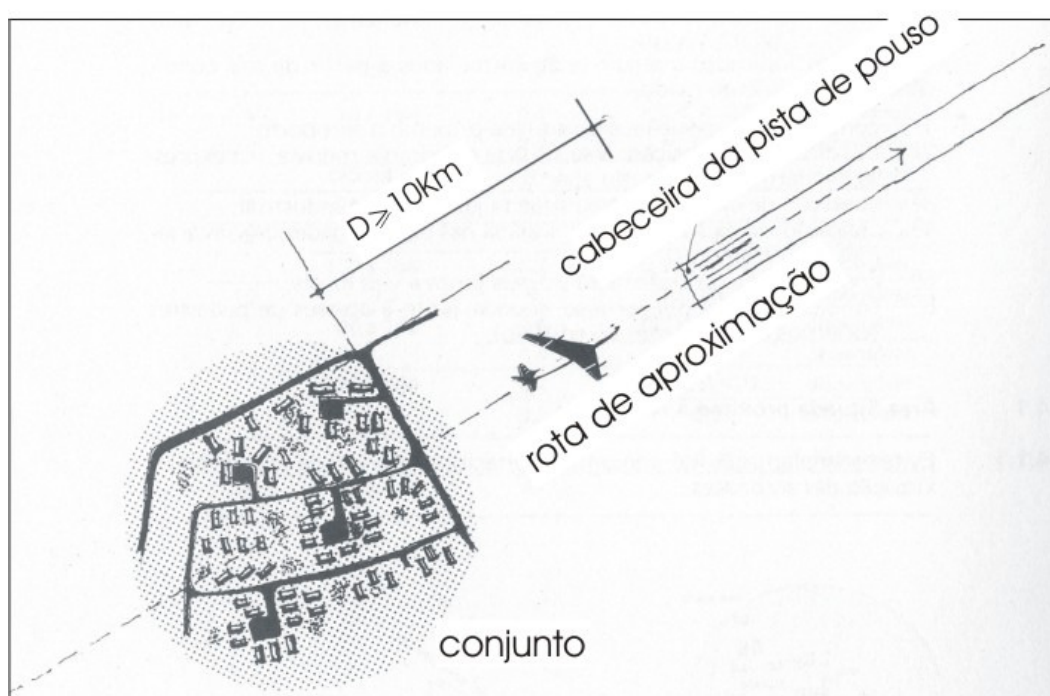


Figura 25: recomendação da distância da cabeceira da pista na rota de aproximação.
(Fonte: ALUCCI *et al.*, 1986)

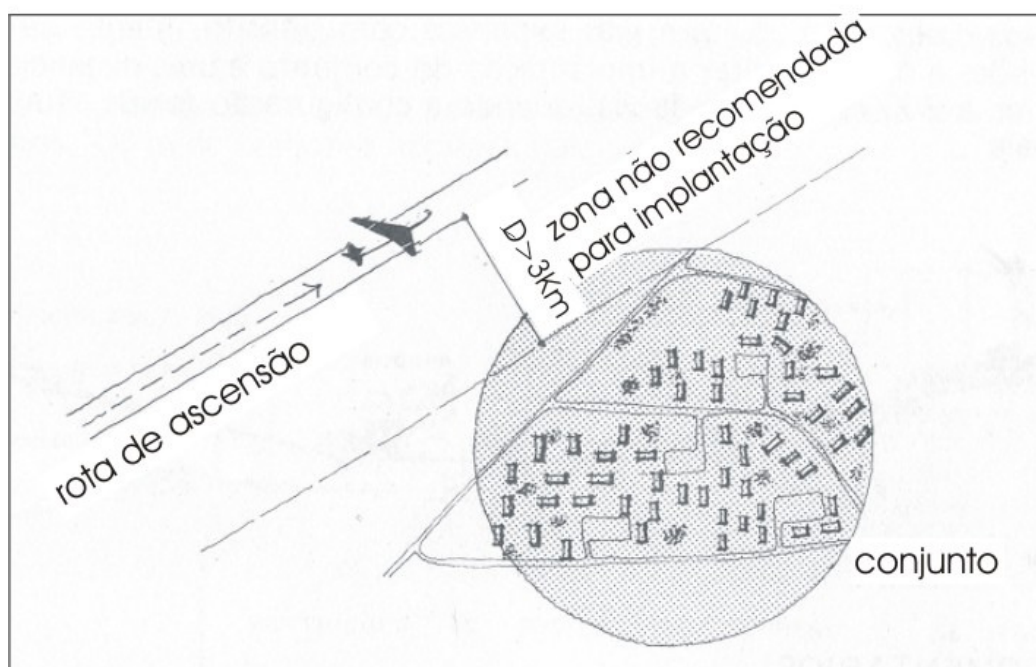


Figura 26: recomendação da distância lateral da rota de ascensão.
(Fonte: ALUCCI *et al.*, 1986)

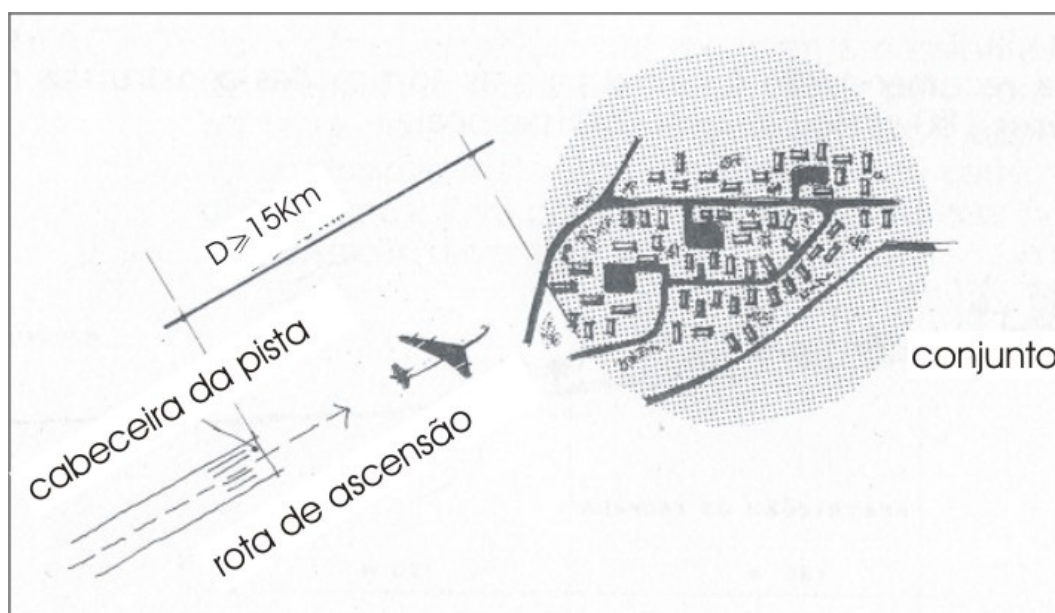


Figura 27: recomendação da distância da cabeceira da pista na rota de ascensão. (Fonte: ALUCCI *et al.*, 1986)

4.1 Medidas internacionais de controle do ruído aeronáutico

As quatro medidas usadas atualmente nos aeroportos são: a redução do ruído na fonte, o controle do uso do solo, os procedimentos anti-ruídos e as medidas de atenuação do ruído.

Nas aeronaves, o ruído é produzido predominantemente nos motores. Alves (2001) explica que os motores a jato das aeronaves de transporte podem ser classificados em dois grupos básicos: *turbojato* e *turbofan*. O *turbojato* consiste do compressor, câmara de combustão e turbina na parte posterior do motor. Já o *turbofan* é essencialmente um *turbojato*, ao qual foram acrescentadas hélices, ou *fan*, de grande diâmetro, usualmente à frente do compressor. Nesses casos, existe uma razão entre a massa de ar, por unidade de tempo, que passa através do ventilador, e a massa de ar, por unidade de tempo, que passa através do centro do motor, ou da turbina propriamente dita. Essa grandeza tem o nome de *by-pass* e está diretamente relacionada ao nível de ruído emitido pelas aeronaves.

Inicialmente, as alterações na taxa de *by-pass* tiveram o objetivo de melhorar a potência das aeronaves. Porém, foi verificada a redução do ruído emitido como um efeito secundário dessas alterações. A evolução da taxa de *by-pass* passou por três estágios que afetaram significativamente a emissão de ruído (US Department of Transportation, 1999 *apud* ELLER, 2000):

- na primeira geração de motores, todo o ar que entrava no compressor, passava por dentro da câmara de combustão. Em razão disso, quando o ar era expelido da turbina, em altas temperaturas e a grande velocidade, o choque com o ar atmosférico, mais frio, provocava um ruído elevado.
- na segunda geração de motores, a taxa de *by-pass* era equivalente a duas partes de ar, uma passando por fora da câmara de combustão e outra parte passando por dentro. O nível de ruído produzido era reduzido em função da menor velocidade do ar expelido.
- na terceira geração de motores, a taxa de *by-pass* é ainda maior, com seis partes de ar passando por fora da câmara de combustão, e duas partes passando por dentro. Essa evolução reduziu o ruído médio percebido em, aproximadamente, 75

a 80%, desde o surgimento das primeiras aeronaves a jato até hoje. Isso significa uma redução de até 25 dB.

O ruído produzido pelas aeronaves deriva, basicamente, do jato e de suas partes móveis: o *fan*, o compressor e a turbina. Alves (2001) afirma que a fonte dominante, durante a decolagem, é o ruído do jato, durante a aproximação para o pouso, é o ruído produzido pelas partes móveis.

O problema do ruído na fonte, produzido pelas aeronaves, tem sido tratado pela ICAO durante os últimos 30 anos. Os aviões e helicópteros, que são construídos atualmente, devem cumprir as normas de homologação relativas ao ruído, adotadas pelo Conselho da ICAO. Essas normas estão contidas no Anexo 16 – Proteção do meio ambiente, Volume I – Ruído das aeronaves, do Convênio sobre Aviação Internacional, enquanto que a orientação prática sobre a aplicação dos procedimentos técnicos do Anexo 16, para as autoridades encarregadas da homologação, está no Manual Técnico-Ambiental sobre aplicação dos procedimentos de homologação das aeronaves quanto ao ruído (ICAO, 2000).

Em Eller (2000) e Pereira Filho (1998), encontra-se a descrição da classificação das aeronaves, segundo o ruído produzido, de acordo com o Anexo 16, volume I da ICAO¹⁵:

a) NNC – *Non Noise Certificated* ou Não Certificadas: são aeronaves fabricadas nas décadas de 50 e 60, geralmente equipadas com a primeira geração de motores, também chamados de jatos puros. São consideradas altamente ruidosas. Por exemplo: Boeing 707, DC 08, Caravelle, Concorde, entre outras;

b) CAP 2 – Capítulo 2: são aeronaves subsônicas, cujo certificado de aeronavegabilidade do protótipo foi aceito antes de 6 de outubro de 1977. Essas aeronaves geralmente são equipadas com a segunda geração de motores a reação sendo, portanto, consideradas medianamente ruidosas. Por exemplo: Boeing 727-200, Boeing 737-200 ADV, Boeing 747-100, DC 09, entre outras; e

¹⁵ A classificação de cada tipo de aeronave possui o nome do capítulo que trata de sua certificação. Por exemplo: as aeronaves do *Cap 3* são as que possuem motores mais evoluídos, as aeronaves do *Cap 8* são os helicópteros e, *Cap 10* são as aeronaves a hélice com até 8618 kg (ICAO, 1993).

c) CAP 3 – Capítulo 3: são as mais modernas, equipadas com a terceira geração de motores a reação e consideradas pouco ruidosas. Por exemplo: Folker 100, Boeing 737-300/400/500, Boeing 747-300, DC10/30, MD11, Airbus 340, Airbus 300, Boeing 777, entre outras. De modo geral, essa classificação atende a três tipos de aeronave:

- aeronaves subsônicas, cujo certificado de aeronavegabilidade do protótipo foi aceito após 6 de outubro de 1977;
- aeronaves a hélice, com mais de 5.700 kg, cujo certificado de aeronavegabilidade foi aceito entre 1 de janeiro de 1985 e 17 de novembro de 1988; e
- aeronaves a hélice, com mais de 8.618 kg, cujo certificado foi aceito depois de 17 de novembro de 1988.

Os aviões de reação de primeira geração não estavam previstos no Anexo 16, logo são considerados aviões não homologados quanto ao ruído, ou *NNC*, como por exemplo, o Boeing 707 e o DC8. As normas iniciais para as aeronaves de reação, elaboradas antes de 1977, estavam incluídas no Capítulo 2 do Anexo 16. O Boeing 727 e o DC-9 eram exemplos de aeronaves contidas no Capítulo 2 do Anexo 16. Para cumprir as normas mais restritas do Capítulo 3, serão necessárias aeronaves mais novas, como, por exemplo, o Boeing 737-300/400, Boeing 767 e Airbus A319. Recentemente foi recomendada uma nova norma, mais rigorosa. (ICAO, 2000)

A Tabela 10 mostra algumas das restrições adotadas nos maiores aeroportos do mundo¹⁶, em relação à classificação da ICAO, ressaltando-se que as aeronaves do *Cap 2* já não operam nesses aeroportos.

¹⁶ A classificação adotada é a da ACI – Airports Council International –, que apresenta os trinta maiores aeroportos do mundo, em número de passageiros, no ano de 2003 (ACI, 2003).

Tabela 10: algumas das restrições adotadas nos maiores aeroportos do mundo.

País ou Região	Maiores Aeroportos	Restrição de operação
Estados Unidos	Chicago O'Hare, Atlanta Hartsfield, Los Angeles, Dallas, Denver, Phoenix, Las Vegas, Huston, Minneapolis, Detroit, New York JFK, Miami, Newark, San Francisco, Orlando, Seattle, Toronto	Proibição de aeronaves do <i>Cap 2</i> em 31 de dezembro de 1999.
União Européia	London Heathrow, Paris Charles de Gaulle, Madrid Barajas, London Gatwick, Roma Fiumicino, Schiphol Amsterdam, Frankfurt	Proibição de operação de todas as aeronaves do <i>Cap2</i> , em 1 de abril de 2002, em todos os aeroportos dos países membros da União Européia.
		Aeronaves com 25 anos de uso, classificadas, no <i>Cap 2</i> , impossibilitadas de operar, sem que sejam feitas modificações para o <i>Cap 3</i> .
		No Aeroporto de Schiphol, Amsterdam: 1. Para aeronaves com motores com taxa de <i>by-pass</i> menor ou igual a 3: não são permitidas novas operações. 2. Para aeronaves com motores com taxa de <i>by-pass</i> menor ou igual a 3: não são permitidas aterrissagens e decolagens entre 18h e 08h. 3. Para aeronaves com motores com taxa de <i>by-pass</i> maior 3: não são permitidas decolagens entre 23h e 06h.
Japão, Austrália, Nova Zelândia	Tóquio Haneda, Tóquio Narita, Sydney Austrália	No Aeroporto de Frankfurt: - Operações de aterrissagem e decolagem para exercícios, testes e treinos de vôo, não são permitidos entre 22h e 5:00. - Início de proibição de operação das aeronaves do <i>Cap 2</i> , depois de 1 de abril de 1995. - Proibição total de aeronaves do <i>Cap 2</i> , em 1 de abril de 2002. - Aeronaves com 25 anos de uso são proibidas de operar no Japão, mesmo modificadas para classificação no <i>Cap 3</i> .

(Fonte: ACI, 2003; Boeing, 2003)

A Figura 28 mostra um exemplo de curvas de ruído de algumas aeronaves, onde as aeronaves do tipo Boeing 727-200 e Boeing 747-100, classificadas como *Cap 2*, apresentam uma área de ruído maior que as demais, classificadas como *Cap 3*. As curvas geradas para cada tipo de aeronave representam níveis de pressão sonora de 85, 80 e 70 dB_(A).

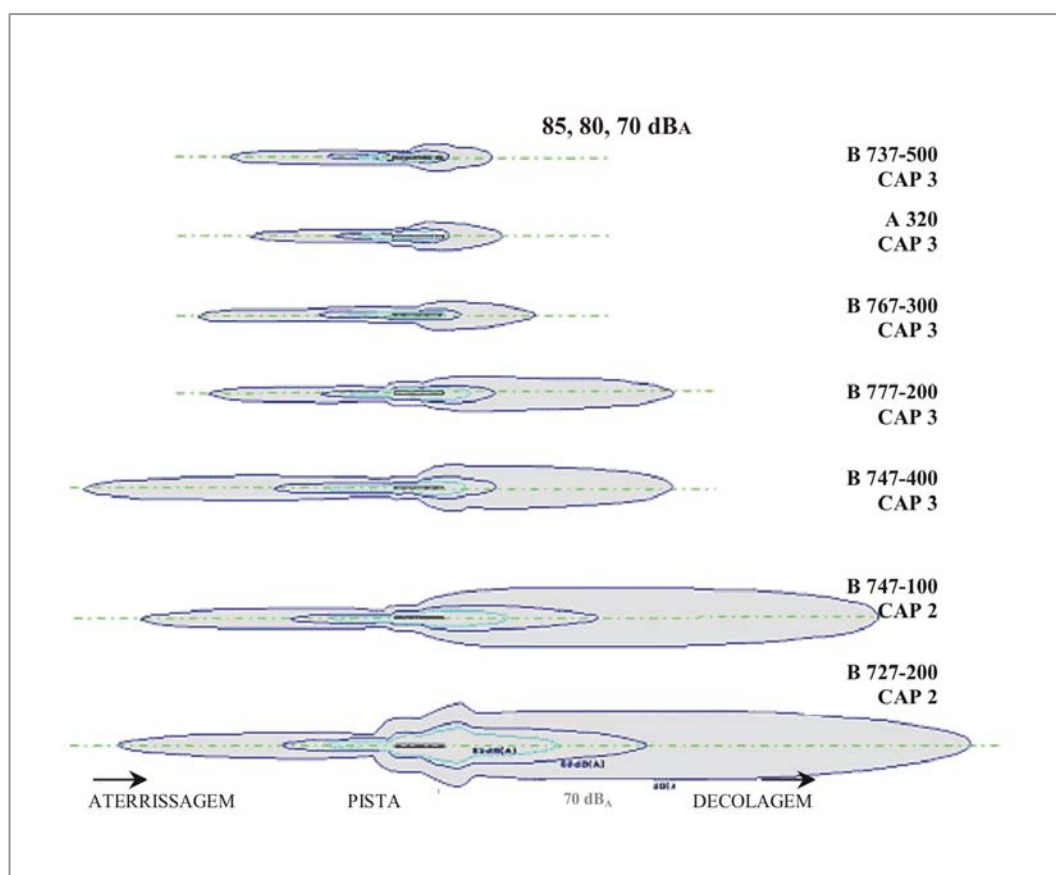


Figura 28: curvas de ruído de algumas aeronaves e sua classificação conforme a ICAO. (Fonte: adaptado de ANA, 2004)

A preocupação com o ruído tem levado alguns países a proibir a operação de certas aeronaves ruidosas em seus aeroportos. Nos anos 80, a atenção se concentrava nas aeronaves *NNC*; nos anos 90, a atenção passou para as aeronaves do *Cap 2*; atualmente as aeronaves do *Cap 3* têm tido maior atenção. No entanto, as restrições desse tipo podem ter conseqüências econômicas significativas para as empresas aéreas, tanto para as estabelecidas nos países que adotam essas medidas, como as estabelecidas em outros países, particularmente nos países desenvolvidos, que prestam serviços direta ou indiretamente na fabricação de aeronaves. As empresas aéreas terão que trocar suas aeronaves por outras mais novas, ou recondicionadas com motores mais silenciosos, e com equipamento de atenuação de ruído, ou transferir as aeronaves mais ruidosas para outras rotas. Dessa forma, a atuação da ICAO visa eliminar, progressivamente, a operação das aeronaves mais ruidosas dos aeroportos mais expostos ao ruído (ICAO, 2000).

Os *procedimentos de atenuação do ruído* permitem diminuir o ruído durante as operações das aeronaves a um custo relativamente baixo. A eficiência dessas medidas depende da estrutura do aeroporto e de seus arredores, porém, em todos os casos, a ICAO recomenda que os procedimentos devem dar prioridade aos procedimentos de segurança do voo (ICAO, 2000).

Os *planos de uso do solo* constituem uma ferramenta eficaz para compatibilizar o ruído produzido pela operação dos aeroportos e as atividades desenvolvidas nas áreas vizinhas. Os planos definem as atividades que podem ser desenvolvidas no entorno dos aeroportos e visam reduzir os riscos de acidentes e o incômodo sonoro da população. O gerenciamento das áreas, suas dimensões e características de uso compete às autoridades aeronáuticas e ao poder público (COMANDO DA AERONÁUTICA, 2005).

A seguir, será apresentada a forma como o ruído aeronáutico é tratado em alguns países. Serão apresentados os instrumentos utilizados nos aeroportos dos Estados Unidos, França, Japão, Austrália e Brasil. Cabe ressaltar que a escolha dos aeroportos foi feita em função da disponibilidade de informações, considerando os maiores aeroportos do mundo (apresentados na Tabela 10).

4.1.1 Aeroportos norte-americanos

Nos EUA, os problemas com o ruído aeronáutico em aeroportos civis iniciaram na década de 60, quando as comunidades afetadas pressionaram as autoridades aeroportuárias a estabelecer restrições com relação ao ruído. Em 1976, foi criada uma lei que determinou responsabilidades pelo impacto do ruído aeronáutico ao redor dos aeroportos e foram feitas modificações ao longo dos anos, incluindo o *Aircraft Safety and Noise Abatement Act*¹⁷, de 1979, e o *Airport Noise Capacity Act*¹⁸, de 1990. Essas leis federais formam a base para o controle do ruído aeronáutico e o programa de compatibilidade de uso do solo na *Federal Aviation Regulation, FAR Part 150*¹⁹.

¹⁷ Ato de Segurança de Voo e Procedimentos Anti-ruído.

¹⁸ Ato de Capacidade de Ruído do Aeroporto.

¹⁹ A FAR, – *Federal Aviation Regulations* – é um conjunto de leis que regulamenta as atividades aeronáuticas e espaciais. A parte 150 contida no capítulo 1, trata do controle do ruído aeronáutico em aeroportos norte-americanos, por isso, o programa é conhecido como *FAR Part 150*.

Segundo Knippling (1998, p. 155), o incômodo gerado pelo tráfego das aeronaves nos aeroportos norte-americanos gerou uma série de reivindicações e ações judiciais, por parte das associações de moradores, com a finalidade de proibir a operação aérea durante a noite, reduzindo o ruído durante o período de sono. Os acordos realizados na cidade de Nova York apresentaram um caráter temporário, permitindo a continuação das operações, até que melhores soluções fossem pesquisadas. Esses acordos resultaram, basicamente, em um desvio do tráfego das aeronaves das áreas mais populosas. Em determinadas pistas era proibida a decolagem durante a noite, mesmo que isso significasse decolar em outra pista, com a direção do vento exigindo uma manobra mais difícil do piloto.

Segundo ELLER (2000), nos Estados Unidos, a FAA utiliza critérios um pouco mais restritivos para a classificação das aeronaves e com uma nomenclatura diferente. As aeronaves são classificadas em *Estágio 1*, *Estágio 2* e *Estágio 3*, correspondendo, respectivamente, às aeronaves *NNC*, *Capítulo 2* e *Capítulo 3* da ICAO.

Para fiscalizar o cumprimento dos procedimentos anti-ruído, ou *noise abatement*, foram colocados microfones especiais nas cabeceiras das pistas, a fim de se medir em níveis máximos emitidos por companhia aérea. Um número muito grande de infrações poderia acarretar na perda da autorização para operar em Nova York. Para escapar das penalidades, algumas companhias americanas apelaram para manobras acrobáticas, que quebravam procedimentos básicos de segurança, com a finalidade de escapar da captação sonora do microfone. A aceleração máxima era feita na cabeceira da pista, antes de soltar os freios. Logo ao deixar a pista, era feita uma curva de grande inclinação para a direita, quase tocando a asa no chão, a fim de evitar o microfone na cabeceira da pista. Ao chegar próximo ao microfone, a potência era reduzida, para diminuir os níveis de pressão sonora captados. Na maioria das vezes, o avião deixava de subir e até perdia altura. Ao livrar a área próxima ao microfone, era restabelecida a potência de decolagem a pleno, a poucos metros acima da comunidade, o que acabava provocando um barulho ensurdecedor para os moradores; só que lá não havia microfones (KNIPPLING, 1998, p. 155-157).

Atualmente, um dos procedimentos mais utilizados nos EUA, para o controle da poluição sonora do tráfego de aeronaves, consiste em diminuir o horário de funcionamento de um aeroporto, ou proibir aeronaves ruidosas de operar. Existem, também, dois outros

procedimentos que estão sendo adotados nos EUA: o *noise budget* e o *navigation easement* (IAC, 1998, v. 11, p. 27-28).

O *noise budget* ou orçamento de ruído consiste em fornecer cotas de ruído para as empresas que operam num determinado aeroporto, e o *navigation easement* ou compra do direito de produzir ruído, consiste em pagamento, por parte da autoridade portuária aos moradores do entorno do aeroporto, de uma determinada quantia em troca da não mobilização judicial da comunidade contra o funcionamento do aeroporto (IAC, 1998, v. 11, p. 28).

Desde 1958, o Congresso norte-americano delega à *FAA* a responsabilidade de determinar as aeronaves que podem operar nos aeroportos dos Estados Unidos. No entanto, o interesse da *FAA* foi maior na segurança de vôo do que no ruído, e apenas em 1968, a *FAA* requereu o desenvolvimento de normas para medição do ruído, para prover o controle do ruído aeronáutico na sua fonte.

O programa *FAR Part 150* estabelece um método para gestão de ruído de aeroportos e estudos de planejamento de uso do solo. As características gerais do programa são: adesão voluntária, baseado em um horizonte de 5 anos de planejamento e é regulador. O programa é composto de dois elementos: *Noise Exposure Maps – NEMs* –, *Noise Compatibility Program - NCP*.

O *Noise Exposure Maps* é um estudo com curvas isofônicas para casos existentes e para uma previsão de 5 anos de operações, utilizando a sobreposição das curvas em mapas de uso do solo. No documento de regulamentação (USA, 2004), encontra-se relacionado o conteúdo desses mapas, que devem conter e identificar:

- a) a localização das pistas com as rotas de vôo,
- b) os contornos de ruído em L_{DN} 65, 70 e 75, resultantes das operações de vôo,
- c) os limites físicos dos aeroportos,
- d) os usos de solo não compatíveis com os contornos, incluindo aqueles dentro dos limites de 65 L_{DN} ,

- e) a localização dos prédios públicos mais sensíveis, como, por exemplo, escolas e hospitais, bem como a localização dos locais de monitoramento de ruído, com a estimativa do número de pessoas que residem dentro dos limites de ruído,
- f) a identificação do contorno de ruído exigido sobre o mapa de uso do solo, em escala e qualidade adequadas para identificar ruas e outros elementos geográficos.

O *Noise Compatibility Programs, NCP*, estabelece quais usos do solo são compatíveis com o ruído existente ao redor dos aeroportos e revê alternativas para minimizar seu impacto. As opções sugeridas pela FAA, normalmente, incluem: aquisição de terra pelo aeroporto, teste sonoro e barreiras acústicas, rotas preferenciais usadas no sistema da FAA, procedimentos anti-ruído da FAA e restrições de uso do aeroporto. Para a aprovação de um *NCP* é necessária a aceitação pela FAA e um período de revisão de 180 dias, para comentários públicos.

4.1.1.1 Aeroporto Internacional de O'Hare

O Aeroporto Internacional de O'Hare é o segundo maior aeroporto no mundo, em número de passageiros, e o maior, em número de movimentos de aeronaves (ACI, 2003). Está localizado na cidade de Chicago e, assim como o *Midway Airport*, possui um programa de monitoramento e mitigação do ruído aeronáutico – *Noise Mitigation Program* – que atende às comunidades vizinhas.

O Aeroporto O'Hare possui 31 estações de monitoramento fixas e outras 13 portáteis, para avaliação do ruído em locais variáveis. A Figura 29 mostra a localização dos monitores em relação ao contorno correspondente à 65 L_{DN} , onde se pode notar que 14 desses locais se encontram fora do contorno.

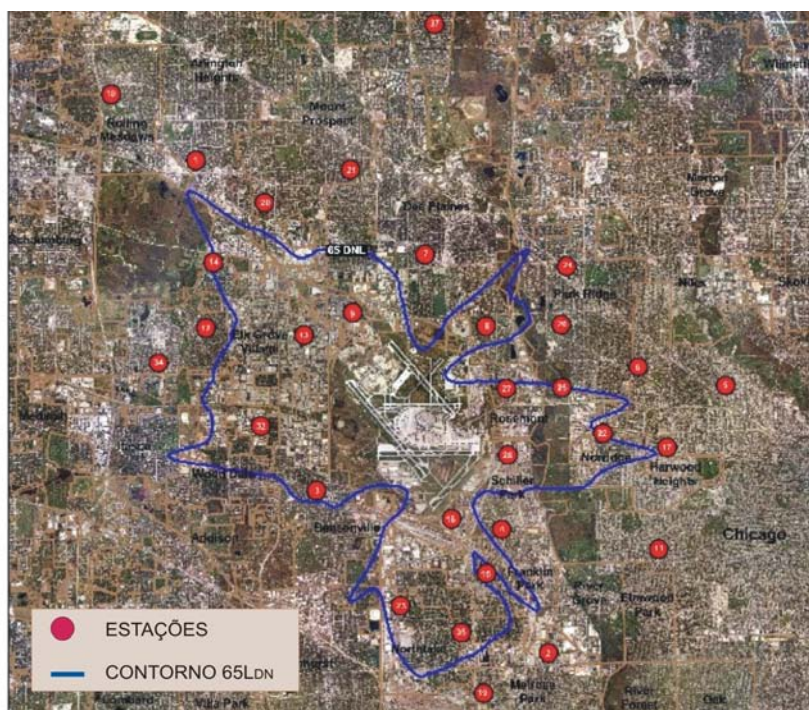


Figura 29: localização das estações de monitoramento de ruído no Aeroporto Internacional de O'Hare. (Fonte: adaptado de O'HARE INTERNATIONAL AIRPORT, 2001)

Na década de 80 foi iniciado um programa de tratamento acústico, o *O'Hare School Sound Insulation Program*, com medições em algumas escolas e, logo após, foram identificadas 27 escolas impactadas por valores a partir de 70 L_{DN} . As escolas que fazem parte do programa, num total de 86 no ano de 2001, são monitoradas com medições internas e externas durante o período regular de atividades escolares. Atualmente, 20 escolas estão em fase de projeto ou execução do tratamento acústico, e a localização de cada escola pertencente ao programa se encontra na Figura 30. Segundo dados do próprio Aeroporto (O'HARE INTERNATIONAL AIRPORT, 2004), o programa é o mais abrangente e está entre os mais antigos dos EUA, sendo sustentado financeiramente por uma parte da tarifa de cada passagem aérea, 4,50 dólares, e por recursos da *FAA*.

O isolamento acústico típico inclui: modificações nas janelas, isolamento adicional na cobertura, instalação de novos equipamentos de ar condicionado e ventilação, e a adição de ante-câmaras nas portas externas (CHICAGO, 2002).

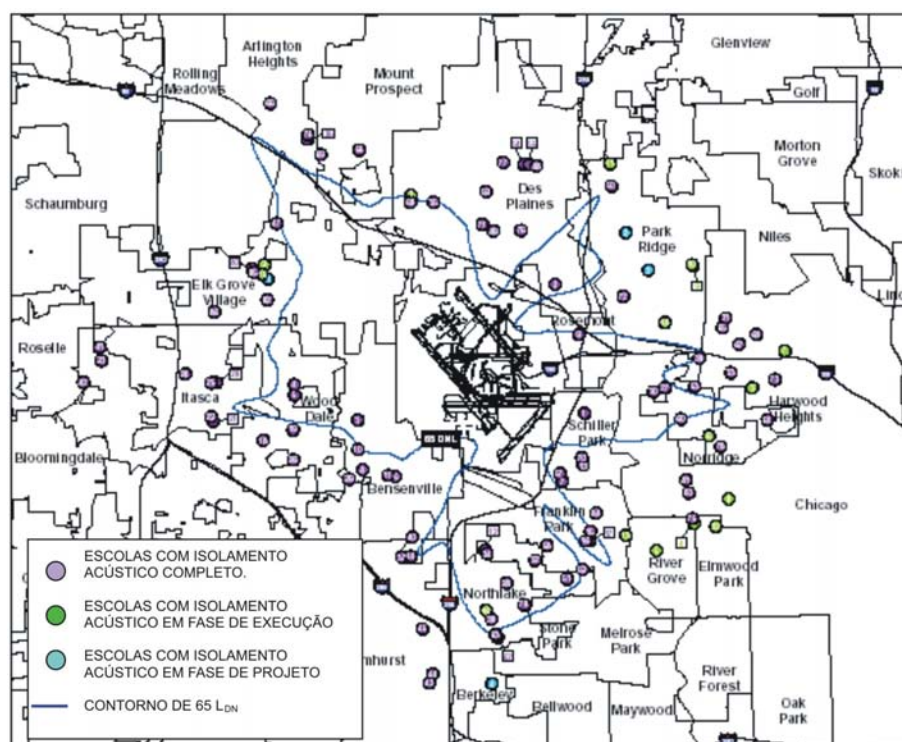


Figura 30: localização das escolas pertencentes ao Programa de Isolamento Acústico do Aeroporto O'Hare. (Fonte: adaptado de O'HARE INTERNATIONAL AIRPORT, 2004)

4.1.2 Aeroportos franceses

Na França, foi criada uma lei datada de 12 de julho de 1999, que institui uma comissão formada por oito membros, sendo cinco deles especialistas em acústica, incômodo sonoro, saúde, aeronáutica e em navegação aérea. Esta comissão tem o nome de *ACNUSA*²⁰, com as funções de recomendar todas as medições de ruído no entorno dos aeroportos e de definir os indicadores adequados de medição para avaliar o incômodo sonoro. A *ACNUSA* também avalia o impacto ambiental das operações aeroportuárias, em particular os procedimentos anti-ruídos de decolagem e aterrissagem. Segundo Vallet (1999), o primeiro efeito da implantação da comissão foi uma diminuição das infrações relativas ao ruído. Ainda segundo o autor, o segundo aspecto concreto da comissão foi a definição de um sistema de medição do ruído, com a sugestão de trajetórias de chegada e partida dos aviões nos aeroportos.

²⁰ Sigla de *Autorité Indépendante de Contrôle des Nuisances Aéroportuaires*, traduzindo para o português: Autoridade Independente de Controle do Ruído Aeroportuário.

No Aeroporto Lyon Saint-Exupéry, o monitoramento permanente de ruído é feito desde 2000, com seis estações fixas e uma estação móvel. Os dados são gerados, via software, em L_{den} . Para determinar o grau de incômodo da comunidade vizinha ao aeroporto, são organizados os dados relativos às reclamações, que mostrou uma significativa diminuição entre os anos de 2000 e 2003. Vallet *et al.* (2005) afirmam que a diminuição de reclamações se deve ao constante diálogo entre as autoridades aeroportuárias e a comunidade vizinha.

Para a elaboração das taxas de ruído que vigoram nos aeroportos franceses, as aeronaves são classificadas em cinco grupos, em função das suas características de ruído. Os dois primeiros grupos correspondem às aeronaves *NNC*, os grupos 3 e 4 às aeronaves do *Cap 2* e o grupo 5 às do *Cap 3* (BOEING COMPANY, 2004a). Os aeroportos de Orly e Charles De Gaulle possuem uma fiscalização mais rígida, com uma incidência de tarifa anti-ruído maior que a dos outros aeroportos (ELLER, 2000).

O aeroporto Charles de Gaulle é o sexto maior aeroporto do mundo em número de operações de aeronaves, com aproximadamente 523 mil operações ao ano.

Para cada estação de medição no Charles de Gaulle e em Orly, BAREM²¹ fornece:

- a) os níveis mensais em L_{den} e em L_{Aeq} ,
- b) os níveis diários em L_{Aeq} .

As restrições para controle do ruído aeronáutico incluem também limites de operações noturnas. A especificação do tipo de aeronave é feita não apenas conforme a classificação da ICAO, mas, também, a partir dos valores de certificação em EPNdB. Por exemplo: as aeronaves certificadas com valores acima de 99 EPNdB não são permitidas de decolar entre 12h e 4h 59; e as aeronaves com valores de certificação acima de 104,5 EPNdB não podem executar movimentos de aterrissagem entre 00:30h e 05h 29 (BOEING COMPANY, 2004a).

Parte da arrecadação da tarifa anti-ruído é utilizada em um programa de isolamento sonoro das edificações situadas ao redor do Aeroporto Charles de Gaulle. Entre os anos de 1995 e 2003 existiam 4597 residências e 55 prédios públicos no programa de isolamento, enquanto que, em 2004, o programa abrangeu 56000 residências, dentro do limite de 55 L_{den} (BOEING

²¹ *Bruit Aérien par Région et par Mois* – ruído aéreo por região no mês.

COMPANY, 2004). A Figura 31 mostra as curvas de ruído do Aeroporto Charles de Gaulle, sendo que a curva na cor laranja representa a área exposta a 55 L_{den} .

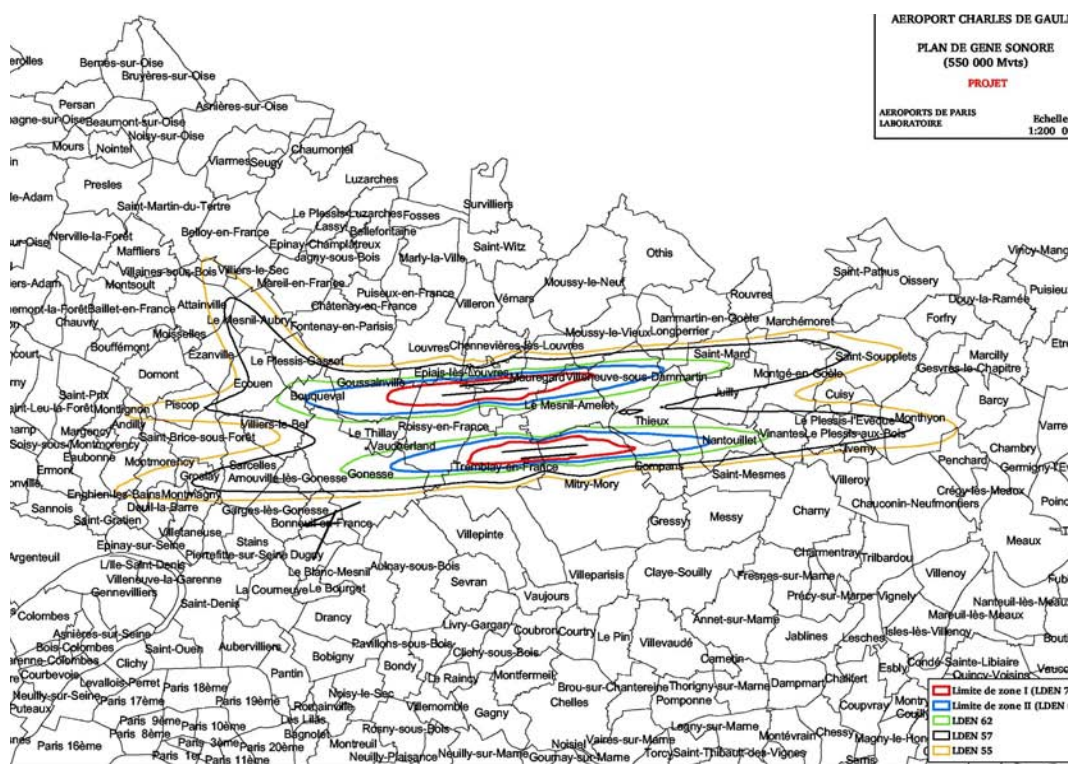


Figura 31: curvas de ruído em 2004 do Aeroporto Charles De Gaulle na França. (Fonte: BOENIG COMPANY, 2004b)

Segundo Vallet (1999), os resultados das medições de ruído são utilizados pelos próprios aeroportos, no entanto, a autoridade responsável estabelece um programa de divulgação dos resultados dessas medições acústicas, quando as normas não são atendidas, no caso de não se respeitarem os níveis de ruído ou as trajetórias estabelecidas. Um relatório anual apresenta uma síntese dos resultados das 16 estações de medição fixas existentes ao redor de Orly e de Roissy. Outros aeroportos europeus também adotaram esse procedimento.

Atualmente, as curvas possuem valores diferentes para cada aeroporto e foi detectada a necessidade de aumentar as estações de monitoramento dos aeroportos parisienses em, no mínimo, mais 15 estações em dois anos.

4.1.3 Aeroportos japoneses

A implantação do Aeroporto de Narita, no Japão, teve como finalidade atender ao excesso de demanda do Aeroporto de Haneda, ambos na cidade de Tóquio. Segundo Alves (2003), a comunidade vizinha ao aeroporto teve um papel fundamental na implementação de melhorias ambientais, através de ações que buscavam ressarcimento de prejuízos e a pressão de determinados grupos que chegaram ao extremo de destruir parte de suas instalações. A autorização de funcionamento de Narita demorou cinco anos depois da obra concluída e, a partir de 1978, as autoridades aeroportuárias japonesas traçaram políticas que transformaram significativamente o aeroporto.

As principais alterações foram: monitoramento acústico e da qualidade do ar, relocação dos residentes de áreas de alto nível de impacto sonoro, mitigação do ruído aeronáutico, prevenção a interferências de TV, utilização do sistema de geração de energia fotovoltaica, reaproveitamento da água da chuva nas torres de resfriamento da central de ar condicionado e contribuição para revitalização agrícola local.

A Figura 32 mostra os limites das três zonas de maior impacto do ruído aeronáutico do Aeroporto de Narita, com limites de 75, 90 e 95 WEPNL. Os níveis de ruído determinam o uso do solo e foram utilizados como critério para compensações e/ou indenizações à população atingida (NAA, 2004a).

Na Tabela 11, encontram-se os dados relativos às medidas tomadas em função do nível de ruído de cada zona, as quais podem determinar áreas não edificadas, ou áreas verdes, relocação das atividades com indenização ou tratamento acústico das edificações (NAA, 2004a).

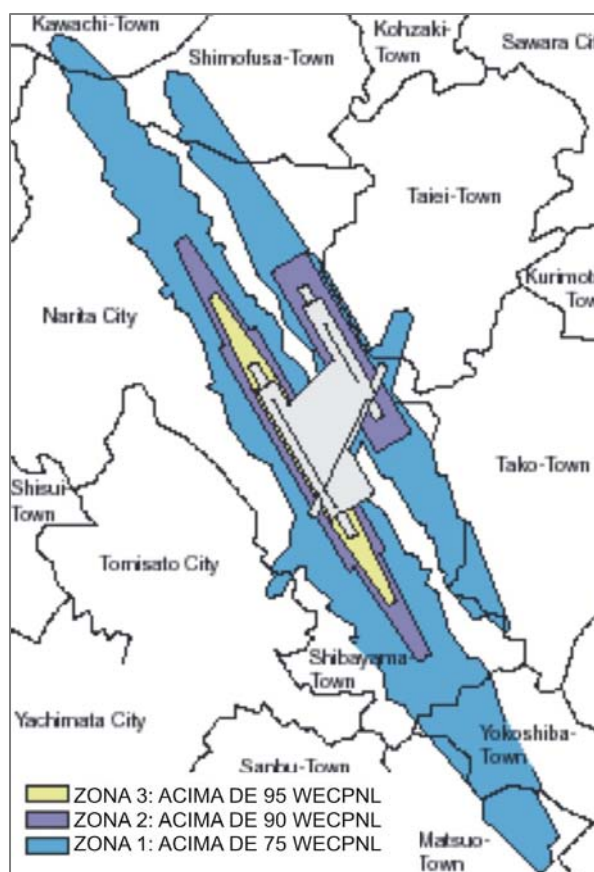


Figura 32: zonas de ruído do Aeroporto de Narita no Japão. (Fonte: adaptado de NAA, 2004a, p. 55)

Tabela 11: medidas compensatórias para as zonas impactadas pelo ruído aeronáutico do Aeroporto de Narita no Japão.

Zona	Área (ha)	nº de prédios	Limite (WECPNL)	Medida
1	293	147	75	Indenização para relocações. Utilização como área verde.
2	1.135	356	90	Indenização para relocações.
3	7.322	4.918	95	Tratamento acústico para os prédios.

(Fonte: NAA, 2004a, p. 56)

Segundo a NAA, *Narita Airport Authority* (NAA, 2004b, p. 5), as estratégias empregadas para mitigar o ruído aeronáutico foram:

a) Controle do ruído na fonte:

- aperfeiçoamento das aeronaves: uso de aeronaves mais novas e alterações nas aeronaves mais antigas para diminuir a emissão de ruídos;
- restrição de movimentos noturnos entre as 23h e 6h;

- melhoria de procedimentos operacionais de pouso e decolagem;
- monitoramento do ruído: atualmente existem 33 estações fixas para o monitoramento anual e 58 estações para monitoramento de períodos mais curtos;

b) Reformulações no planejamento das áreas:

- implantação de áreas verdes junto ao aeroporto com a utilização de bosques para amortecimento sonoro em taludes, com a função de barreiras acústicas. A NAA (2004b) afirma que essa medida oferece uma redução sonora de aproximadamente 10 dB_A. A Figura 33 mostra um exemplo de barreira acústica, utilizada no Aeroporto de Narita, onde é determinada a altura de 10 m para a elevação do solo e os dois tipos de vegetação utilizados, coníferas e com folhas largas;
- construção de hangares anti-ruído, para testes das aeronaves, com tratamento acústico das paredes e da cobertura, além de um sistema de sucção vertical que atenua a emissão de gases durante os testes.

c) Desenvolvimento de programas comunitários:

- planejamento e restrição de uso do solo;
- compensações e indenizações para a população atingida: tratamento acústico de residências, hospitais, escolas, postos de saúde, etc., e indenizações para relocações dentro das zonas 1 e 2.

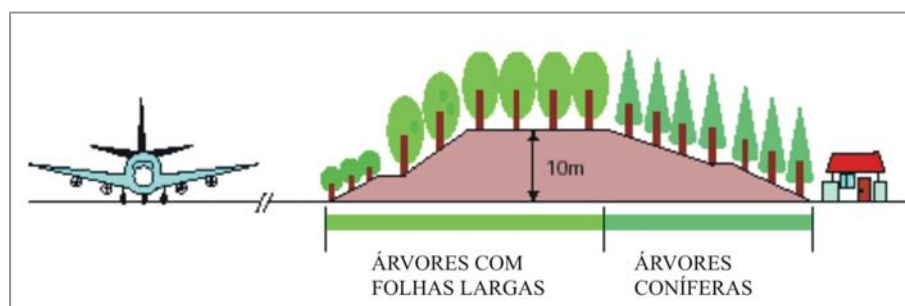


Figura 33: barreira acústica padrão do Aeroporto de Narita no Japão.
(Fonte: adaptado de NAA, 2004b, p. 12)

A NAA – *Narita Airport Authority* – (NAA, 2004a, p. 55), afirma que, até março de 2004, foram desenvolvidos 117 projetos de isolamento acústicos para escolas com substituição de 73 unidades de equipamentos de ar condicionado, assim como o tratamento acústico em 4.355 residências, também com a substituição de equipamentos de ar condicionado, num total de 5.752 unidades. Nesse mesmo período, foram feitas 813 relocações de residências e aquisição de 704,5 ha como área patrimonial do Aeroporto.

4.1.4 Aeroportos australianos

Na Austrália, as informações sobre ruído aeronáutico são definidas pelos limites do *ANEF* – *Australian Noise Exposure Forecast*. Esses limites apresentam a quantidade total de energia sonora recebida em locais próximos aos aeroportos em uma média diária. A norma australiana AS2021²² utiliza os valores *ANEF* para determinar os usos de solo compatíveis. Por exemplo, as áreas com um nível de exposição ao ruído aeronáutico menor que 20 ANEF são aceitáveis para uso residencial (AUSTRÁLIA, 2000).

Depois de vinte anos, o sistema *ANEF* tem sido utilizado de quatro maneiras: para definir o planejamento urbano ao redor dos aeroportos; para determinar em quais edifícios será exigido isolamento acústico; para pareceres técnicos de opções de operações aeroportuárias; e como meio de informar ao público dados de exposição ao ruído, ao redor de aeroportos.

O *ANEF* é uma energia sonora similar ao L_{DN} ao L_{eq} , com uma aproximação que pode relacionar o valor em L_{eq} , subtraindo-se 35 dB (AIRSERVICES AUSTRALIA, 1999).

O uso do solo, definido pelos valores de níveis de ruído, em *ANEF*, nos aeroportos australianos, pode ser verificado na Tabela 12.

Tabela 12: restrições de uso do solo em função dos limites *ANEF* nos aeroportos australianos.

Tipo de edificação	Limites das zonas, em <i>ANEF</i>		
	Permitido	Com restrições	Não permitido
Residências, parques com <i>trailers</i> , <i>flats</i> , escolas, universidades, hospitais e outros estabelecimentos de saúde	Até 20	Entre 20 e 25	Acima de 25
Hotéis e motéis	Até 25	Entre 25 e 30	Acima de 30
Prédios públicos	Até 20	Entre 20 e 30	Acima de 30
Prédios comerciais	Até 25	Entre 25 e 35	Acima de 35
Indústrias	Permitido em todas as zonas		

Existem três formas diferentes de se confeccionarem os limites dos mapas, para diferentes finalidades, utilizando-se o sistema *ANEF*:

²² *Aircraft Noise Intrusion – building siting and construction*.

- a) planejamento oficial para futura exposição ao redor de um aeroporto. Constitui os limites nos quais as autoridades fundamentam o controle do uso do solo;
- b) limites que mostram um histórico da exposição do ruído. É usado em relatórios ambientais e para formação de banco de dados;
- c) limites simulados utilizados, por exemplo, em processos para examinar opções de rotas de vôo ao redor dos aeroportos.

Na Austrália, os mapas de ruído são gerados com o uso do *software TNIP*, desenvolvido pelo *Department of Transport and Regional*, que possibilita a análise com diferentes índices de ruído aeronáutico. Além dos índices mais usuais de outros países, as informações também são geradas em *N70*, ou seja, o número de eventos acima de 70 dB_A. O *N70* é tomado como parâmetro de incômodo, devido ao ruído do sobrevôo das aeronaves, porque parte do princípio de que 70 dB_A é o limite inferior de percepção do ruído aeronáutico tolerado (AUSTRALIA, 2005).

As Figuras do anexo A mostram resultados de estudos feitos com o *software TNIP*. Nelas são mostradas as curvas de ruído em número de eventos, para os eventos acima de 70 dB_A e em *ANEF*, para o aeroporto de Sydney. Os dados podem ser informados tanto em termos de número de eventos diários, que excedam um determinado limite de emissão sonora, como, também, através das curvas de ruído de um único sobrevôo. Dessa forma, a análise pode especificar qual a causa real do impacto do ruído aeronáutico em uma determinada área, e a medida a ser tomada pode ser mais dirigida e eficiente.

4.2 O ruído nos aeroportos brasileiros

Atualmente, o Brasil adota, basicamente, duas formas de proteção contra o ruído nas áreas vizinhas aos aeroportos:

- (1) redução do ruído na fonte, que consiste na renovação gradual da frota; e
- (2) a redução do ruído no meio.

A *redução do ruído na fonte* parte da classificação da ICAO, que divide as aeronaves nas três categorias básicas: *NNC*, *Cap 2* e *Cap 3*. As Portarias 13/GMS (BRASIL, 1994) e 717/GC-5 (BRASIL, 1999) determinam datas limite para a operação das aeronaves consideradas ruidosas, havendo uma tendência de renovação da frota e conseqüente diminuição de emissão de ruído. A Tabela 13 exibe um resumo das restrições impostas pelas referidas Portarias, seguindo a classificação da ICAO. As aeronaves Não Certificadas, *NNC*, foram proibidas de operar nos aeroportos brasileiros, no ano 2000, enquanto que as do *Cap 2*, Boeing 737-200 e Boeing 747-100, por exemplo, devem deixar de operar no final de 2010.

Tabela 13: restrições impostas pelas Portarias 13/GM5 e 717/GC-5.

Classificação	Restrição	Data limite
NNC Fabricadas nas décadas de 50 e 60	Proibição de matrícula	31/12/1996
	Proibição de operação nos aeroportos Santos Dumont, Congonhas, VIC FOR e demais aeroportos das 23h às 6h	31/12/1998
	Proibição de operação	31/12/2000
Cap 2 Fabricadas até outubro de 1977	Proibição de matrícula	31/12/2002
	Desativação progressiva da frota em 10% ao ano	31/12/2004
	Proibição de operação	31/12/2010

(Fonte: BRASIL, 1994; BRASIL, 1999)

A *redução do ruído no meio* leva em conta a distância entre a fonte e o receptor. A escolha do local de implantação de um aeroporto é determinante do grau de exposição de comunidades ao ruído aeronáutico, podendo-se evitar ou agravar o problema, com a definição da distância entre a fonte e o receptor. Do ponto de vista da atenuação do ruído, o mais adequado é manter a maior distância possível das áreas povoadas. Contudo, o afastamento exagerado pode dificultar o uso do aeroporto, situação que ocorre atualmente no Aeroporto Internacional Tancredo Neves, em Minas Gerais. Por outro lado, a implantação muito próxima às áreas densamente povoadas pode gerar situações complexas, envolvendo restrições operacionais, como o que ocorre em Congonhas, na cidade de São Paulo (PEREIRA FILHO, 1998).

Os procedimentos operacionais alternativos também são utilizados no Brasil, como forma de atenuar a exposição ao ruído de comunidades vizinhas aos aeroportos. Esses procedimentos

incluem alterações nos momentos de decolagem e pouso, conforme ilustra a Figura 34, além de suspensão de operação em horário noturno (PEREIRA FILHO, 1998).



Figura 34: procedimentos operacionais alternativos. (Fonte: adaptado de PEREIRA FILHO, 1998)

O procedimento operacional mais utilizado no Brasil, segundo Pereira Filho (1998), é denominado *trajetórias com subidas flexíveis*, que consiste em desviar a aeronave, realizando o sobrevôo nas áreas com menor densidade demográfica.

No Brasil, os estudos com a finalidade de identificar e propor soluções aos conflitos gerados pela implantação e operação dos aeroportos iniciaram na década de setenta e, atualmente, são de responsabilidade do DAC – Departamento de Aviação Civil – do Ministério da Aeronáutica. As restrições com relação à poluição sonora gerada pela operação das aeronaves são estabelecidas pelo Plano de Zoneamento de Ruído, que é um documento normativo do Comando da Aeronáutica, estabelecendo restrições de uso do solo. Em 1987, foram instituídos os *Planos de Zona de Proteção dos Aeródromos – PZPA* –, que podem ser básicos – *PZPAB* – ou específicos – *PZPAE* – e visam estabelecer parâmetros de segurança das operações de voo e da comunidade vizinha, através de gabaritos de altura das construções (IAC, 1998. v. 5, p. 4).

A Portaria 1141/GM5 (BRASIL, 1987), capítulo XII, estabelece o Plano Básico de Zoneamento de Ruído, definindo critérios para a determinação de duas curvas de nível de ruído, definidas em função do número de movimentos anuais do aeroporto. As curvas de

ruído são consideradas limites das zonas I, II e III, nas quais é determinado o tipo de atividade permitida. Nas zonas I e II, as restrições de uso do solo são grandes, não sendo permitidos usos residenciais, educacional, de saúde e cultural. Os projetos arquitetônicos, para edificações dentro das áreas de ruído, devem ser submetidos ao Comando da Aeronáutica. Além do projeto arquitetônico propriamente dito, deve ser apresentado o projeto de isolamento acústico, informando o isolamento acústico, em dB, para 500 Hz, com detalhes construtivos de vedação das esquadrias e demonstração de atendimento à NBR 8572 (BRASIL, 1987).

A NBR 8572 (ABNT, 1984) estabelece os valores de redução de níveis de ruído para fachadas e coberturas de edificações localizadas na zona II. Para os maiores aeroportos brasileiros, como os de Confins, Congonhas, Galeão, Guarulhos e Salgado Filho, os valores são de 35 a 40 dB_A.

A Portaria específica que as *curvas de nível de ruído* são traçadas, a partir dos pontos nos quais o nível de incômodo sonoro é igual a um valor predeterminado e especificado pelo Departamento de Aviação Civil – DAC –, em função da utilização prevista para o aeródromo.

4.2.1 Aeroporto Internacional de Congonhas

Um exemplo de crescimento de áreas residenciais próximas aos aeroportos é o de Congonhas, em São Paulo. Quando foi inaugurado, em 1936, sua área de entorno era totalmente desabitada. Em 1945, devido aos avanços tecnológicos oriundos da II Guerra Mundial e ao rápido desenvolvimento da aviação comercial, os aeroportos passaram a ser encarados como indutores de desenvolvimento econômico. Em 1957, Congonhas era o terceiro em movimentação de carga no mundo, abaixo apenas de Londres e Paris, com uma frequência de pousos e decolagens em intervalos de três minutos. O acelerado desenvolvimento passou a exigir uma infra-estrutura cada vez maior de telecomunicações, sistema viário, fornecimento de energia, água e esgoto sanitário. Como resultado, iniciou-se um processo de ocupação dos terrenos que cercam suas pistas, principalmente com unidades habitacionais. Em pouco tempo, Congonhas se transformou em um problema para a comunidade, caracterizado pelo ruído excessivo, saturação do sistema viário de acesso e ocorrência de acidentes (IAC, 1998, v. 5, p. 6).

Em função do ruído excessivo nas comunidades vizinhas, o Aeroporto de Congonhas funciona sob uma restrição de horário, que impede as operações entre 23h e 6h, e, entre 22h e 23h e 6h e 7h, só podem operar aeronaves do Cap 3.

4.2.2 Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos

O Aeroporto de Guarulhos é o maior complexo aeroportuário do país e foi implantado com a finalidade de atender ao excesso de demanda dos vôos domésticos do Aeroporto de Congonhas. No entanto, em 1985, apenas dois anos após o início de suas operação, o Aeroporto de Guarulhos alterou o panorama aeroportuário brasileiro, superando o Aeroporto do Galeão, no Rio de Janeiro, em movimento e receita, tornando-se a principal referência em transporte aéreo da América do Sul (FIGUEIREDO FERRAZ, 2004).

Atualmente, é o mais importante aeroporto do País, possuindo o maior número de passageiros transportados, ficando apenas atrás dos aeroportos de Congonhas, em movimento de aeronaves e de Viracopos, em movimentação de carga aérea. Segundo dados de 2004 (INFRAERO, 2004), Congonhas é considerado o segundo maior aeroporto do país, em movimento de aeronaves, e também o maior, em movimento de passageiros.

Guarulhos possui duas pistas paralelas, que não atendem de modo satisfatório à sua capacidade atual. Segundo Figueiredo Ferraz (2004), estudos feitos na década de 1980 indicavam que duas pistas paralelas e independentes atenderiam à demanda projetada para o ano de 1998. No entanto, em virtude das limitações impostas pela configuração do terreno e pelas dificuldades de ampliação e ainda em função da necessidade de desapropriações em áreas povoadas, foram construídas duas pistas paralelas e dependentes.

Para a ampliação da capacidade do Aeroporto Internacional de Guarulhos, incluindo a construção de uma terceira pista, foi realizado um Relatório de Impacto Ambiental constatando um diagnóstico ambiental que define as áreas de influência, caracterizadas como de influência indireta, direta e diretamente afetada (FIGUEIREDO FERRAZ, 2004). Os limites da Área de Influência Direta, AID, foram dados pelas projeções das curvas de ruído que definem a zona II, das duas pistas existentes, da situação atual, e da curva levando-se em consideração as três pistas para a delimitação espacial. O estudo foi feito pela COPPE, da

UFRJ, considerando a capacidade máxima do Aeroporto e a adoção de aeronaves menos ruidosas para subsidiar a avaliação de impactos futuros.

A Figura 35 mostra a curva de ruído II e os bairros do município de Guarulhos, que integram a AID, diretamente afetados pelo ruído do tráfego das aeronaves.

Dentro da ADI foram feitas medições dos níveis de ruído, em L_{eq} , no período diurno, em 11 pontos, sendo nove em escolas, um em praça pública e um em hospital. Os níveis medidos apresentaram valores entre 57 e 72 dB, acima dos 50 dB estipulados pela NBR 10151 (ABNT, 2000). Ao fazer uma simulação do ambiente sonoro, excluindo o ruído das aeronaves, os níveis permaneceram altos, devido ao ruído do tráfego de veículos. Por outro lado, os níveis máximos originados do sobrevôo das aeronaves, na maioria dos pontos avaliados, foi considerado com potencial de causar incômodos à população, particularmente no período noturno (FIGUEIREDO FERRAZ, 2004).

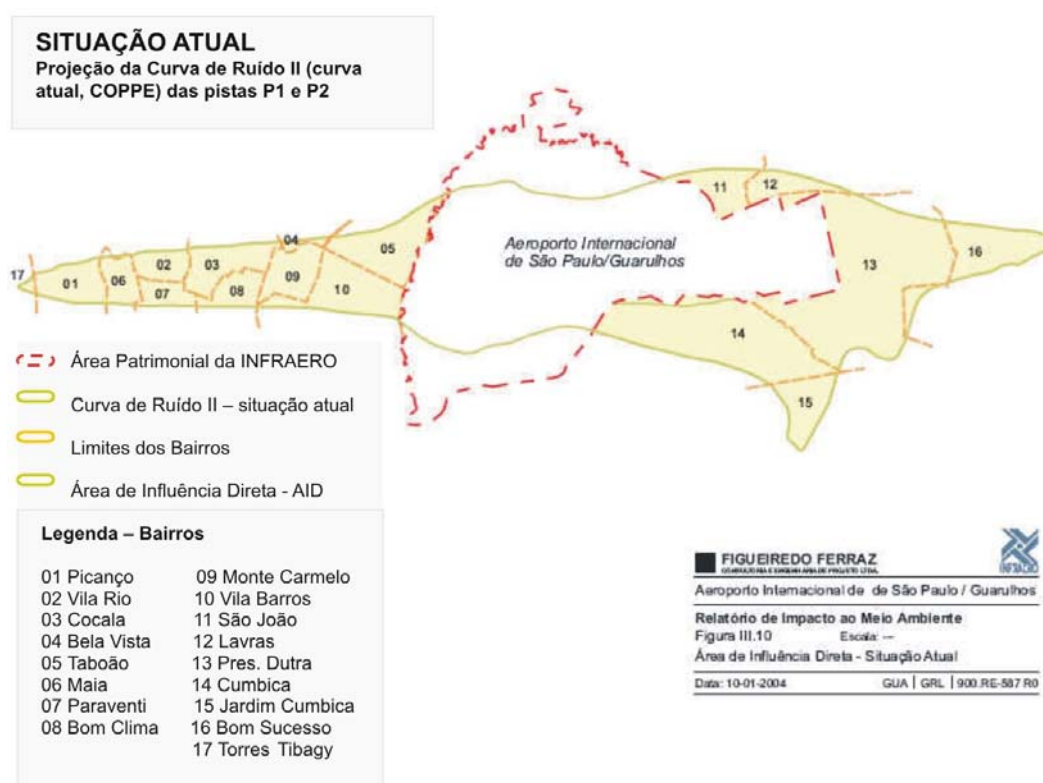


Figura 35: curva de ruído do Aeroporto Internacional São Paulo/Guarulhos. (Fonte: adaptado de FIGUEIREDO FERRAZ, 2004)

O Relatório aponta para a necessidade de monitoramento contínuo de ruído nas áreas vizinhas ao aeroporto. Figueiredo Ferraz (2004) afirma que estudos recentes realizados pela COPPE²³ admitem uma diminuição das áreas suscetíveis ao incômodo relativo ao ruído aeronáutico, em função da evolução tecnológica prevista para os próximos anos. No entanto, existe uma tendência de estabilização no desenvolvimento tecnológico das aeronaves, não havendo perspectivas de se obterem reduções de ruído significativas (IAC, 1998, v. 11, p. 11-12).

4.2.3 O Aeroporto Internacional Salgado Filho

No Rio Grande do Sul, a proteção de áreas próximas aos aeroportos está regulamentada pela Constituição do Estado, no capítulo IV, art. 176, remetendo aos municípios a responsabilidade de preservação das zonas de proteção dos aeródromos (RIO GRANDE DO SUL, 1989, p. 87). O Rio Grande do Sul é o único estado brasileiro que possui esse dispositivo constitucional, remetendo ao Plano de Zona de Proteção dos Aeródromos Básico – PZPAB. Em Porto Alegre, o órgão responsável pelas ações de controle e prevenção da poluição sonora é a Secretaria Municipal do Meio Ambiente.

4.2.3.1 Breve Histórico do Aeroporto Internacional Salgado Filho

O Aeroporto Internacional Salgado Filho ocupa, atualmente, uma área patrimonial que tem a sua origem na antiga Sesmaria de Jerônimo de Ornellas. Com a morte de Jerônimo de Ornellas, a área foi ocupada indiscriminadamente, até que a Brigada Militar passou a utilizá-la, parcialmente, para desenvolvimento de unidades pára-militares, no combate às periódicas revoluções. A pista utilizada na época era de 600 m de comprimento, localizada no campo da várzea do Rio Gravataí, onde foram construídos dois galpões destinados a oficinas e hangares. (INFRAERO, 2004)

Em setembro de 1923, terminou a construção do primeiro Aeroporto de Porto Alegre, que pertencia ao Serviço de Aviação da Brigada Militar. A Unidade Aérea da Brigada Militar

²³ Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

encerrou suas atividades em 1924, e o local passou a ser conhecido por Aeródromo de São João, nome do Bairro de Porto Alegre vizinho à área. Desde então, segundo dados da Infraero (2004), o aeroporto vem sofrendo uma série de modificações, das quais podem-se ressaltar as seguintes:

a) entre 1937 e 1938, foi dado início ao processo de desapropriações de terrenos adjacentes à área ocupada pelo Aeródromo de São João, para sua ampliação e construção do Aeroporto de Porto Alegre, recebendo oficialmente essa designação em julho de 1940;

b) em 1942, foi determinada a escolha de uma nova direção para a pista, que seria pavimentada e que pudesse atingir um comprimento de 3 km, bem como um local para a nova Estação de Passageiros. Com o advento da 2ª Guerra Mundial, o Ministério da Aeronáutica determinou uma redução do ritmo das obras do Aeroporto, deslocando o material e pessoal para a construção da Base Aérea de Gravataí, atual Base Aérea de Canoas.

c) as obras do Aeroporto foram atribuídas à Secretaria de Obras Públicas e, mais tarde, ao Departamento Aeroviário do Estado, que deu início à construção do antigo terminal de passageiros e pavimentação do primeiro trecho de 900 x 42 m da pista atual.

d) em outubro de 1951, o Aeródromo de São João, ou simplesmente Aeroporto de Porto Alegre, foi designado de Aeroporto Internacional Salgado Filho. O novo trecho de pista e os 12 módulos da estação de passageiros foram inaugurados em abril de 1953. Posteriormente, foram construídos mais de 700 m de pista de concreto, completando os atuais 2.280 m de comprimento, bem como a execução das pistas de rolagem e ampliação do pátio de estacionamento, para suportar aeronaves de grande porte;

e) em dezembro de 1972, a administração do aeroporto é assumida pela Infraero.

4.2.3.2 Situação atual

O Aeroporto Internacional Salgado Filho é um dos 10 maiores aeroportos do país e pertence à rede de 67 aeroportos administrados pela Infraero, recebendo passageiros do País e do Exterior. Atualmente, são mais de 10 mil pessoas que circulam diariamente por esse aeroporto.

O Salgado Filho possui uma pista de pouso e decolagem, no sentido leste/oeste, com dimensões de 2.280m de comprimento por 45 m de largura. Essa dimensão é a mesma desde a década de 50, comportando operação de aeronaves com até 300 toneladas de peso. Tem um movimento médio diário de 174 aeronaves de vôos regulares, chegando e partindo de Porto Alegre.

Atualmente, a restrição para vôos internacionais comerciais e o aumento do volume transportado pelos aviões cargueiros, são explicados pelo comprimento restrito da pista, que não oferece condições para a decolagem de aeronaves com o peso máximo, incluindo a carga e o combustível (CORREIO DO POVO, 2004).

As obras da construção do novo terminal de passageiros do Aeroporto Internacional Salgado Filho iniciaram em janeiro de 1997 e foram concluídas em setembro de 2001. Está prevista uma segunda etapa de reformas, em que a Infraero prevê a ampliação da pista para 3.000m x 45 m, além da ampliação no Sistema de Aproximação de Precisão para Pouso por Instrumento (INFRAERO, 2004). A ampliação da pista, atualmente, é restringida pelas ocupações irregulares das vilas vizinhas, Dique e Nazaré, com aproximadamente 3 mil famílias, que têm a previsão de serem relocadas no primeiro semestre de 2007 (BRASIL, 2005). A Figura 36 mostra a localização das ocupações irregulares na direção leste da cabeceira da pista.

Segundo dados da Infraero (2005), o terminal de passageiros recebeu equipamentos de última geração e foi construído para atender a uma demanda de até 4 milhões de passageiros/ano. O antigo terminal, com as adaptações que foram feitas ao longo do tempo, tinha capacidade para 1,5 milhão de passageiros/ano. Em 2003, o movimento do Aeroporto Internacional Salgado Filho foi de 2,8 milhões de passageiros e, em 2004, houve um aumento significativo para 3,2 milhões de passageiros. Alguns dos dados de infra-estrutura são mostrados a seguir, na Tabela 14.



Figura 36: localização das ocupações irregulares próximas ao Aeroporto Salgado Filho. (Fonte: adaptado de PORTO ALEGRE, 2001)

Tabela 14: resumo dos dados do Aeroporto Internacional Salgado Filho.

Passageiros (passageiros/ano)	Movimento em 2002	2.873.230
	Movimento em 2003	2.880.680
	Movimento em 2004	3.215.545
	Capacidade operacional prevista	4 milhões
Movimentos de Aeronaves	Pousos e Decolagens em 2002	60.941
	Pousos e Decolagens em 2003	53.332
	Pousos e Decolagens em 2004	57.740
Carga Aérea (kg)	Carga Aérea em 2002	38.392.962
	Carga Aérea em 2003	35.402.160
	Carga Aérea em 2004	37.024.689

(Fonte: INFRAERO, 2004)

O Aeroporto Salgado Filho possui um Plano Específico de Zoneamento de Ruído – PEZR – aprovado pela portaria 629/GM5, que institui os Planos Específicos de outros 89 aeroportos brasileiros. O anexo LXXIV, da referida Portaria, apresenta o Plano por meio de um desenho, onde se pode ter como base para localização a pista do Aeroporto. O anexo B mostra o PEZR do Salgado Filho e, no anexo C, encontra-se um estudo mais ilustrativo, não publicado, feito pelo IAC (2004) com as curvas de nível de ruído projetadas sobre o mapa aerofotogramétrico da área de estudo.

Atualmente, as aeronaves que operam no Salgado Filho são, em sua maioria, do tipo Boeing 737, e outros tipos classificadas como *Cap 3*, em atendimento às Portarias 13/GM5 e 717/GC-5 (BRASIL, 1994; 1999).

A Tabela 15 mostra alguns dados que caracterizam o impacto acústico de algumas aeronaves comerciais. Segundo os dados apresentados por Powell (2003), as maiores taxas de *by-pass*, que caracterizam baixa emissão de ruído, são encontradas nas aeronaves do tipo Boeing 777/200, 777/300, 737/300, 737/800 e Airbus 320 e 330, enquanto que as menores taxas são encontradas nas aeronaves do tipo Folker 100 e Boeing 737/200, sendo que essa última é a única do Cap 2 a operar, ainda, no Aeroporto Salgado Filho.

A Tabela 15 também apresenta dados relativos à área impactada pelo ruído de cada tipo de aeronave, em L_{EPN} e SEL, em que se podem relacionar os valores em L_{EPN} a uma energia sonora de 10 segundos de duração e o SEL, à duração de 1 segundo.

Existem diferenças na comparação das áreas impactadas, no entanto, uma semelhança marcante é que o Boeing 737/200 é o que apresenta a maior área, tanto em SEL como em L_{EPN} . As aeronaves que possuem menor área total de ruído são os Boeing 777/200, Folker 100 e Boeing 737/300, para valores em L_{EPN} e o Boeing 737/300, Airbus 320 e Folker 100 para os valores em SEL. As aeronaves que operam com maior frequência no aeroporto, Boeing 737/300 e 800, possuem uma das menores áreas em L_{EPN} e SEL. Deve-se salientar que os aviões Embraer 145 possuem as menores áreas impactadas, mesmo com uma taxa pequena de *by-pass*, porém são aviões menores para, aproximadamente, 50 passageiros.

Tabela 15: área com níveis de ruído em L_{EPN} e SEL, para as operações de decolagem, dos principais tipos de aeronaves que operam no Aeroporto Salgado Filho.

TA	MO (%)	TB	Área em L_{EPN} (km ²)						Área em SEL (km ²)					
			85 dB _A	90 dB _A	95 dB _A	100 dB _A	105 dB _A	Total (km ²)	80 dB _A	85 dB _A	90 dB _A	95 dB _A	100 dB _A	Total (km ²)
Boeing 737/300	56	5,0	6,8	2,9	1,0	0,5	0,3	11,5	14,2	5,5	2,2	0,8	0,3	23,0
Boeing 737/800		5,1	17,8	8,7	3,9	1,6	0,8	32,8	32,7	12,6	6,2	2,3	1,0	54,8
Boeing 737/200	8	1,0	43,5	18,3	8,0	4,0	1,5	75,3	68,7	30,5	12,9	6,3	3,0	121,4
Boeing 777/200	2	8,4	15,6	6,9	2,8	1,3	0,7	27,3	23,5	10,2	3,8	1,7	0,8	40,0
Airbus 300	4	4,8	25,7	12,8	5,8	2,4	1,1	47,8	41,0	18,3	8,2	2,9	1,1	71,5
Airbus 320	9	6,0	14,2	7,6	3,9	1,6	0,8	28,1	18,5	8,4	4,1	1,5	0,6	33,1
MD 11	3	5,0	21,2	10,0	5,4	2,5	1,3	40,4	36,2	14,2	6,5	2,8	1,3	61,0
Embraer 145	6	4,7	2,9	1,4	0,6	0,3	0,2	5,4	5,8	2,2	0,9	0,3	0,2	9,4
Folker 100	12	3,0	9,0	4,4	2,0	0,9	0,4	16,7	16,9	7,1	3,6	1,4	0,6	29,6

(Fonte: adaptado de POWEL, 2003; INFRAERO, 2004)

Sendo que: *TA* é o tipo e modelo da aeronave; *MO* é a média de operações em porcentagem, calculada com base na média de operações, de cada tipo de aeronave, nos meses de maio, julho, novembro e dezembro de 2004, segundo Boletim de Horários Previstos da Infraero (INFRAERO, 2005); *TB* é a taxa de *by-pass*.

5 MÉTODO ADOTADO

Yin (2005) afirma que as evidências provenientes de duas ou mais fontes são fundamentais para caracterizar o estudo de caso. Segundo Lay e Reis (1994), todos os métodos possuem vantagens e limitações, e a aplicação de vários procedimentos para coleta de diferentes tipos de dados, de um mesmo fenômeno, pode equilibrar os desvios de cada método adotado.

A própria definição de incômodo, abordada no capítulo 2, pressupõe uma abordagem múltipla no que diz respeito à coleta de informações da população exposta ao ruído aeronáutico. Portanto, para avaliar o incômodo e a percepção do ruído aeronáutico nas escolas, foram utilizados procedimentos quantitativos e qualitativos.

Os métodos qualitativos incluem a realização de entrevistas, com as diretoras e professores, e observações de comportamento, além da ocupação dos ambientes nas Escolas.

Os métodos quantitativos foram definidos a partir de levantamentos de campo, com medições acústicas, externas e internas, e aplicação de questionários a alunos e professores, tendo a finalidade de coletar dados sobre a percepção do ruído por parte da população das escolas e quantificar os níveis de pressão sonora existentes nos locais.

A seguir, serão explicitados os procedimentos definidos para a pesquisa, os objetos de estudos escolhidos, bem como os métodos de execução das medições acústicas, aplicação dos questionários e realização das entrevistas e observações.

5.1 Objetos de estudo

A cidade de Porto Alegre possui grandes diferenças em seu espaço físico. Os estudos realizados para a elaboração do Plano de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre levaram em consideração as diferenciações entre os espaços da cidade, que se divide em nove macrozonas, conforme é mostrado na Figura 37.



Figura 37: macrozonas do PDDUA de Porto Alegre (Fonte: Porto Alegre, 1999).

Segundo Pavlic *et al.* (2005), a definição de cada macrozona seguiu diferentes critérios como, por exemplo: sistema viário, aspectos sócio-econômicos, paisagísticos e ambientais ou seu potencial de crescimento. Por exemplo: a área denominada *Cidade Radiocêntrica*, está relacionada ao *Centro Histórico*, que marca a primeira zona de ocupação e sua expansão, que se deu pelos antigos caminhos direcionados ao interior do continente através de uma trama

radial de vias principais. No PDDUA (PORTO ALEGRE, 1999), a macrozona que define o local de implantação do Aeroporto Salgado Filho se denomina *Corredor de Desenvolvimento*, caracterizado por seu potencial de pólo de interesse econômico metropolitano. Essa área se localiza no limite norte de Porto Alegre, fazendo divisa com os municípios de Canoas e Cachoeirinha e possui duas das avenidas mais movimentadas da cidade: as avenidas Sertório e Assis Brasil. Essa zona possui condições de acesso pelas BRs 116 e 290, pelo Trensurb, para a CEASA, além do Aeroporto Salgado Filho.

As Escolas desse estudo pertencem à rede de ensino público do Estado do Rio Grande do Sul e se localizam nos bairros vizinhos ao Aeroporto Internacional Salgado Filho (ver anexo C), dentro do Corredor de Desenvolvimento metropolitano.

No total, são 87 estabelecimentos de ensino localizados nos bairros que limitam o aeroporto,²⁴ sendo 41 particulares com a função de creche ou escola infantil, 17 particulares voltados para o ensino de 1º e 2º graus e 21 estabelecimentos estaduais e 8 municipais.

Dentro das zonas de ruído, existem 10 estabelecimentos de ensino, sendo dois, dentro da Zona I: a Escola Estadual Carlos Barbosa Gonçalves e a Escola Estadual Lions Porto Alegre Farrapos. Ambas se situam dentro da Zona I do PEZR, na direção oeste, em relação à cabeceira da pista do aeroporto.

Na Zona II do PEZR, estão localizados outros sete estabelecimentos de ensino, todos na direção leste da cabeceira do aeroporto. Desses sete estabelecimentos, quatro tem a função de creche ou escola infantil e os outros três são escolas ou colégios, um particular e dois pertencentes à rede pública municipal e estadual. Um desses estabelecimentos da rede pública, o Colégio Estadual Presidente Arthur da Costa e Silva, foi escolhido para esse estudo, como um parâmetro comparativo na análise dos dados das escolas da Zona I. A Figura 38 mostra a localização das três escolas, em relação à pista do Aeroporto Salgado Filho.

²⁴ Foram considerados os seguintes bairros: Humaitá, Parque Humaitá, Dona Teodora, Navegantes, São Geraldo, São João, Santa Maria Goretti, São Sebastião, Sarandi, Parque São Sebastião, Parque Minuano, Jardim São Pedro, Jardim Lindóia.



Figura 38: localização das escolas em relação à pista do aeroporto
(Fonte: adaptado de PORTO ALEGRE, 2001).

5.1.1 Escola Estadual Dr. Carlos Barbosa Gonçalves

A Escola Estadual Carlos Barbosa Gonçalves se situa no Bairro Navegantes, a, aproximadamente, 1600m da cabeceira oeste da pista do Aeroporto Salgado Filho, próximo à Avenida A. J. Renner, entre a Estação Farrapos do Trensurb e a Rua Dona Teodora, conforme ilustrado na Figura 39.

A área onde a Escola Carlos Barbosa Gonçalves está situada se caracteriza por abrigar atividades predominantemente industriais e de prestação de serviços, com a existência de residências de até três pavimentos.

Apesar da proximidade com duas vias de tráfego intenso de veículos, as Avenidas A. J. Renner e Dona Teodora, a localização da escola na Travessa Dr. Heinzelmann afasta a interferência do ruído de tráfego dos veículos nessas avenidas.



Figura 39: localização da Escola Carlos Barbosa Gonçalves no Bairro Navegantes (Fonte: adaptado de PORTO ALEGRE, 2001).

A Figura 40 mostra uma vista da entrada da escola, com o pátio em primeiro plano e os prédios que abrigam o setor administrativo e a biblioteca, e o prédio de dois pavimentos, onde estão localizadas as salas de aula.



Figura 40: vista da Escola Carlos Barbosa Gonçalves.

A proximidade das aeronaves é muito grande e se percebe o ruído emitido de forma muito intensa no pátio. A proximidade das aeronaves foi relatada por alguns moradores que já tiveram, inclusive, casos de destelhamento, após a passagem de aviões.

A Figura 41 mostra a aproximação de uma aeronave, passando acima do prédio das salas de aula.



Figura 41: aproximação de uma aeronave na Escola Carlos Barbosa Gonçalves.

A escola foi fundada em 1957 quando as atividades se desenvolviam em pequenos galpões de madeira, conhecidos como *Brizoletas*. O projeto do prédio atual é de 1984, desenvolvido dentro do projeto Escola Padrão de Alvenaria – EPA – da Secretaria de Obras do Estado. A construção é de alvenaria de tijolos aparentes, com cobertura de telha de fibrocimento e forro de madeira. O forro constitui um dos elementos construtivos mais frágil da acústica do prédio, pois, nas áreas de circulação, ele é constituído de ripas intercaladas e, nas salas de aulas, o forro é convencional, no sistema macho/fêmea. Além de ser permeável ao ar e, portanto também ao ruído, a espessura do forro não apresenta uma proteção eficiente ao ruído. Segundo uma das arquitetas da Secretaria de Obras do Estado²⁵, a finalidade dos espaços entre as ripas é de promover a visualização de eventuais danos na cobertura, facilitando a manutenção.

²⁵ Informação fornecida pela Arquiteta Vera Lúcia Bueno Fischer.



Figura 42: forro de madeira das áreas de circulação da Escola Carlos Barbosa Gonçalves.

5.1.2 Escola Estadual *Lions Club* Porto Alegre Farrapos

A Escola Estadual *Lions Club* Porto Alegre Farrapos se localiza a, aproximadamente, 1100m da cabeceira oeste da pista, na Rua Dona Teodora, no Bairro Navegantes. A Figura 43 mostra a localização da Escola *Lions Club* no Bairro Navegantes.

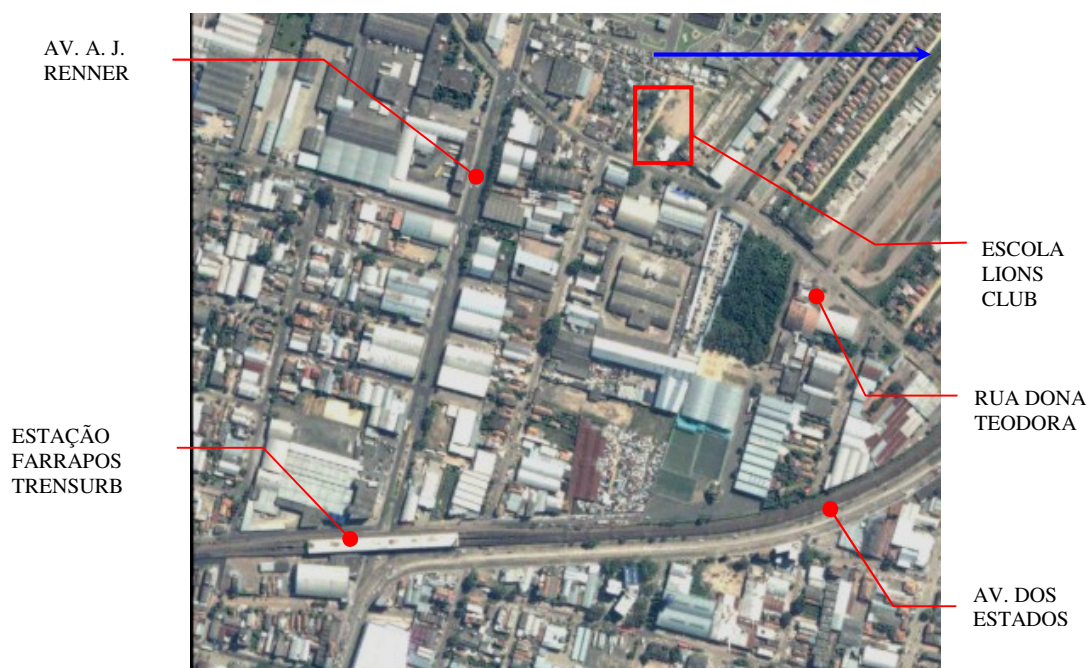


Figura 43: localização da Escola *Lions Club* Porto Alegre Farrapos no Bairro Navegantes. (Fonte: adaptado de PORTO ALEGRE, 2001)

A escola foi fundada em 1968, e as atividades se desenvolviam em pequenos galpões de madeira de compensado. Alguns anos mais tarde, os galpões foram substituídos por outros, de melhor qualidade, conhecidos como *Brizoletas*. O projeto do prédio atual é de 1989, desenvolvido dentro do Projeto Nova Escola – PNE – da Secretaria de Obras do Estado. A construção é de alvenaria de tijolos aparentes, com cobertura de telha de fibrocimento e forro de laje de concreto. A Figura 44 mostra a entrada da Escola, pela Rua Dona Teodora e as Figuras 45 e 46 mostram, respectivamente, o prédio de alvenaria de tijolos e o prédio antigo em madeira.



Figura 44: vista da entrada da Escola *Lions Club* Porto Alegre Farrapos.



Figura 45: vista do prédio de alvenaria da Escola *Lions Club*.



Figura 46: prédio de madeira da Escola *Lions Club* Porto Alegre Farrapos.

As Figuras 47 e 48 mostram a sinalização da pista do Aeroporto Salgado Filho, do lado oposto, na Rua Dona Teodora, o que constitui um forte indicativo da proximidade das aeronaves, que pode ser verificada na Figura 49.



Figura 47: sinalização da pista do aeroporto vista da quadra da Escola *Lions Club* Porto Alegre Farrapos.

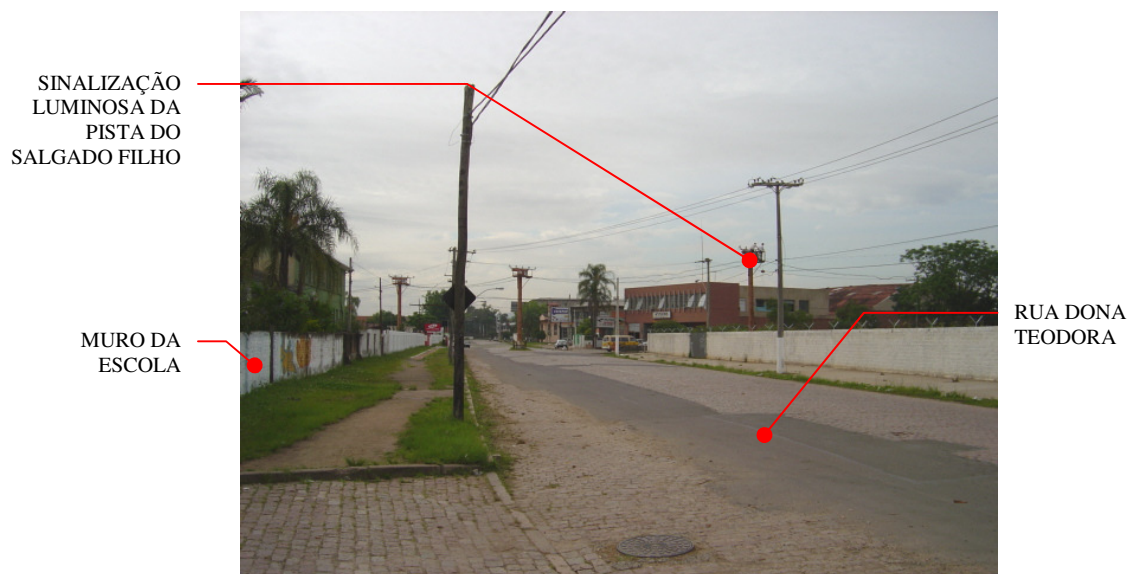


Figura 48: sinalização da pista do aeroporto vista da Rua Dona Teodora.



Figura 49: passagem de uma aeronave acima da Escola *Lions Club* Porto Alegre Farrapos.

5.1.3 Colégio Estadual Presidente Arthur da Costa e Silva

O Colégio Estadual Presidente Arthur da Costa e Silva se situa no bairro São Sebastião, na Rua Baden Powell, a, aproximadamente, 3000m da cabeceira leste da pista do Aeroporto Salgado Filho.



Figura 50: localização do Colégio Presidente Arthur da Costa e Silva no Bairro São Sebastião. (Fonte: adaptado de PORTO ALEGRE, 2001)

O Colégio foi fundado em 1968, a partir da iniciativa da comunidade do bairro, e, em 1980, foi construído o prédio atual. O prédio é constituído de alvenaria de tijolos aparentes, com cobertura de telha de fibrocimento e forro de laje de concreto. As esquadrias são de metal, do tipo de correr, com bandeira superior móvel. A Figura 51 mostra uma imagem da entrada do Colégio.



Figura 51: vista da entrada do Colégio Presidente Arthur da Costa e Silva.



Figura 52: bloco das salas de aula do Colégio Presidente Arthur da Costa e Silva.

5.2 Entrevistas

As entrevistas realizadas foram do tipo estruturadas, com um roteiro pré-estabelecido, para se obter uma idéia geral do objeto de estudo (apêndices A e B). Segundo Marconi e Lakatos (1999), a estruturação da entrevista também é chamada de formulário que, a partir da padronização das perguntas, permite comparar as respostas e identificar diferenças e semelhanças entre os respondentes. As entrevistas foram feitas com as diretoras, vice-diretoras e algumas professoras. As entrevistas também serviram como base para a estruturação dos questionários.

5.3 Observações

A observação é uma técnica de coleta de dados que ajuda a identificar e avaliar o desempenho comportamental no ambiente construído (LAY; REIS, 1994; MARCONI; LAKATOS, 1999). O objetivo da utilização dessa técnica foi identificar como os ambientes nas escolas são ocupados, fazendo um cruzamento com as respostas dos questionários. O tipo de observação utilizado nessa pesquisa é classificado, segundo Marconi e Lakatos (1999), como um trabalho de campo de observação sistemática e não participante.

A observação sistemática, também conhecida como estruturada, pode ser organizada, segundo Lay e Reis (1994), a partir de algumas definições, que foram consideradas para esse estudo, conforme os itens a seguir:

- a) seleção dos indivíduos: alunos e professores;
- b) definição de atividades: passivas ou ativas;
- c) contexto: situações específicas;
- d) lugar: potencial de uso do lugar e a utilização observada.

5.4 Questionários

Segundo Lay e Reis (1994), os questionários são ferramentas que ajudam a identificar, num determinado grupo de pessoas, pontos em comum, a partir da comparação entre as respostas para um grupo de perguntas estabelecido.

O questionário para essa pesquisa foi formulado com o intuito de identificar o grau de incômodo, de alunos e professores, em relação ao ruído aeronáutico, e as perguntas foram redigidas tendo como base o resultado das entrevistas com as diretoras e algumas professoras (apêndices C e D). Para tanto, o questionário foi confeccionado dentro dos seguintes condicionantes:

- a) formato: curto para os alunos, com apenas 1 página, contendo 4 perguntas fechadas e 2 perguntas abertas. Para os professores, o questionário foi de 2 páginas, contendo 7 perguntas fechadas e 4 perguntas abertas. As perguntas abertas foram formuladas com a finalidade de identificar os locais considerados mais silenciosos e mais suscetíveis ao incômodo sonoro, para posterior realização das medições acústicas;
- b) escalas de valores: para as perguntas fechadas foi utilizada uma escala bipolar, com *sim* e *não*, e uma questão de três pontos, na qual se incluiu um ponto neutro, possibilitando ao respondente manifestar sua indiferença ou descaso pelo assunto;
- c) aplicação dos questionários: foi feita com a presença do pesquisador, para garantir o preenchimento correto e o retorno imediato do material;
- d) registro dos resultados: permitiu a confecção de tabelas e gráficos para tratamento estatístico.

Os questionários foram aplicados nos alunos e professores do ensino fundamental das três escolas. Para testar o entendimento das questões, por parte das crianças, aplicou-se, inicialmente, o questionário a crianças de 6ª série, e depois, sucessivamente, às séries mais baixas, que revelou que as questões foram entendidas por crianças a partir da 2ª série. Foram efetuadas algumas alterações nas palavras que não foram bem entendidas, como, por exemplo, *local* foi trocado por *lugar*, nas questões 5 e 6, e *local onde mora* foi substituído por

endereço. Optou-se restringir o grupo para pesquisa com os questionários em função de que a Escola Estadual Carlos Barbosa Gonçalves possui apenas o ensino fundamental. Dessa forma, estabelecem-se limites para a comparação dos dados.

O tamanho da amostra, para os questionários aplicados aos alunos, foi calculado considerando a população finita, com base na fórmula apresentada por Mattar (1998):

$$n = \frac{\sigma^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{e^2(N-1) + \sigma^2 \cdot p \cdot q} \quad (\text{equação 33})$$

Sendo que: n é o tamanho da amostra; σ^2 é o nível de confiança escolhido, expresso em número de desvios padrão; p é a porcentagem com o qual o fenômeno se verifica; q é a porcentagem complementar; N é o tamanho da população; e^2 é o erro máximo permitido.

Os valores adotados para o cálculo do tamanho da amostra estão expostos na Tabela 16. O nível de confiança adotado foi de 95%, com dois desvios, e um erro tolerado de 5%. O valor admitido para p foi estipulado a partir do resultado inicial da aplicação dos questionários, nas Escolas Carlos Barbosa Gonçalves e Lions Club, sendo diferente em cada uma das duas escolas, para a variável do grau de incômodo manifestado. Assim, os valores adotados para p foram as porcentagens de respostas que apontaram como *muito* o incômodo causado pelos aviões nas atividades em sala de aula. Para o Colégio Presidente Costa e Silva, foi adotado o valor padrão, segundo Mattar (1998), em cálculos de tamanhos de amostras, de 0,5, ou 50%. Dessa forma, considerando como população os alunos matriculados no ensino fundamental de cada escola, as amostras foram dimensionadas a partir dos seguintes dados:

Tabela 16: dados utilizados para a determinação da amostra.

Dado para o cálculo	CS	CB	LC	Total
População N	372	304	301	977
Amostra inicial	zero	105	117	222
Respondentes p (%)	50	64	68	
Tamanho da amostra calculado n	192,99	166,85	161,7	521,54
Tamanho da amostra adotado	211	174	172	557

A análise estatística foi realizada para verificar a associação das respostas entre as escolas. Para tanto, os resultados de cada um dos 557 questionários, para cada uma das questões, foram colocados em planilha eletrônica e atribuídos valores para cada resposta, conforme o apêndice E.

Para análise estatística foi utilizado o teste do Qui-quadrado, χ^2 , que, segundo Siegel (1977), possui boa eficiência para avaliar a associação entre variáveis qualitativas, com indicação de aplicação em dados oriundos de pesquisas com grupos com quantidades diferentes de indivíduos, assim como proporção diferente nas frequências das respostas.

O teste do Qui-quadrado é realizado a partir da confecção de tabelas de distribuição de frequências, trabalhando-se sempre com duas hipóteses a serem testadas:

- *H₀*: hipótese de nulidade;

- *H₁*: hipótese alternativa que pode ser aceita se *H₀* for rejeitada.

Siegel (1977) determina que, depois de definidas as hipóteses, deve-se especificar o nível de significância α , que é a probabilidade de se rejeitar falsamente *H₀*. O autor considera que o valor de 0,05 para α reflete uma probabilidade pequena. No entanto, a escolha do nível de significância será um forte determinante na interpretação do teste das hipóteses e, para que a pesquisa possa ser interpretada dentro dos possíveis níveis de rejeição, torna-se interessante fixar um valor de α e informar o nível de probabilidade associado aos resultados. Para esse estudo foi adotado o nível de significância de 0,05.

A equação que determina o Qui-quadrado é a seguinte:

$$\chi^2 = \sum \frac{(O - E)^2}{E} \quad (\text{equação 34})$$

Sendo que: *O* é cada um dos valores observados; *E* cada um dos valores esperados.

A frequência esperada, de um determinado valor, é dada em função das relações entre os totais das linhas e colunas da tabela construída. A frequência esperada é obtida pela seguinte equação:

$$E = \frac{(Tc - Ti)}{N} \quad (\text{equação 35})$$

Sendo que: Tc é o total da coluna; Ti é o total da linha; N é o total geral da tabela.

Depois de obter o valor do χ^2 , é feita uma comparação com o χ^2 crítico, em função dos graus de liberdade, gl , e do nível de significância, α , segundo a fórmula:

$$gl = (nl - 1) \times (nc - 1) \quad (\text{equação 36})$$

Sendo que: nl é o número de linhas da tabela; nc é o número de colunas da tabela.

Se o χ^2 for maior ou igual ao χ^2 crítico, a hipótese H_0 deverá ser rejeitada.

Foram testadas associações dos graus de incômodo manifestado com idade e sexo dos respondentes, ambiente na escola indicado como o mais silencioso e o mais suscetível ao incômodo, além da comparação entre o incômodo sonoro na escola e na residência dos respondentes.

5.5 Medições Acústicas

A medições foram realizadas em ambientes externos e internos nas escolas em estudo.

O equipamento utilizado foi um medidor de nível de pressão sonora, tipo 1, marca *QUEST*, modelo 1900, com microfone original da marca *B&K*, onidirecional de ½ polegada, utilizado com protetor de vento, conforme ilustra a Figura 53. O equipamento foi fixado sobre tripé, a 1,20m do solo, e as funções selecionadas para gerar as informações sonoras foram as

seguintes: L_{Aeq} com integração de 1 segundo, L_{max} , os níveis estatísticos L_{10} e L_{90} e o índice L_{DN} . A faixa de medição selecionada foi entre 60 e 120dB.



Figura 53: medidor de nível de pressão sonora utilizado nas medições.

Todos os eventos de ruído foram registrados, como os causados por veículos, buzinas, alarmes, sirenes e passagens de avião, com as informações de horário e tipo de aeronave, com análise posterior no gráfico global de ruído. Foi realizado um estudo detalhado de cada evento, a partir do perfil gráfico de cada medição, que caracterizou as áreas de estudo como de exposição predominante ao ruído aeronáutico (apêndice F). Tal procedimento buscou atender à condição de que as medições de ruído aeronáutico externas são consideradas confiáveis, apenas quando a medida máxima de nível de ruído da aeronave exceder o nível de ruído de fundo, em, no mínimo, 20dB (ISO, 1978).

As medições foram realizadas nos períodos que caracterizam as atividades escolares, ou seja, manhã, tarde e noite, com o tempo de, aproximadamente, quatro horas. O tempo de medição, em cada dia, apresentou uma pequena variação em função da disponibilidade do local.

5.5.1 Medições externas

Para realizar as medições foi utilizada, como referência básica, a norma ISO 3891 (1978). Foi considerada a segunda recomendação relativa ao nível de sofisticação das medições, com uso de frequência ponderada *A*, indicada para os casos de exposição devido a uma sucessão de operações, com constante de tempo *slow*.

Buscou-se posicionar o equipamento em locais com menos obstruções, além de, também, atender ao requisito de absorção sonora do piso equivalente ao do concreto, conforme recomenda a ISO 3891 (1978). Logo, os locais mais adequados para as medições externas foram as quadras esportivas, que se localizam nos limites dos terrenos, voltadas para as esquinas (ver apêndice G).

A quadra esportiva da Escola Lions Club Porto Alegre Farrapos, que possuía uma superfície de concreto, no início das medições, recebeu uma camada de asfalto. Com base em estudos realizados por Payne (1982), que admite que os coeficientes de reflexão sonora do concreto e do asfalto possuem valores muito próximos, 0,97 e 0,94 respectivamente, a alteração do material não foi levada em consideração.

Foram realizadas medições de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar para verificar se as condições atendiam ao recomendado pela ISO 3891 (1978), utilizando um monitor marca *QUEST TEMP 36* (Figura 54). As condições atmosféricas apresentaram as seguintes médias: temperatura do ar entre 20,8 e 30,2°C; umidade relativa entre 43,8 e 67,3%; velocidade máxima do ar de 2,3m/s. Essas condições atendem ao recomendado pela ISO 3891 (1978).



Figura 54: monitor QUEST TEMP 36

5.5.2 Medições internas

As medições internas foram realizadas seguindo as recomendações da NBR 12314 (ABNT, 1997), que estabelece procedimentos para medir, calcular, corrigir e analisar dados, e ainda para estabelecer padrões acústicos para ambientes internos, expostos ao ruído originado das atividades aeronáuticas. A norma determina que os níveis de ruído recomendados para escolas em ambientes de sala de aula e biblioteca devam ser de 38 dB_A para o conforto acústico e de 48 dB_A, como um nível aceitável. No caso do ruído descontínuo, deve-se acrescentar 5 dB_A ao valor de L_{eq} obtido na medição.

Com relação às condições do ambiente, a NBR 12314 (ABNT, 1997) determina algumas características que devem ser observadas:

- distâncias mínimas de 1m de paredes e 1,5m de portas e janelas, para a locação do equipamento;
- altura do microfone entre 1,2 e 1,5m acima do piso;
- realização das medições nas condições menos favoráveis às atividades realizadas, com a utilização habitual das janelas e portas do ambiente.

Para seleção dos ambientes das medições internas, foram utilizadas como critério as respostas abertas dos questionários que indicaram os ambientes considerados mais silenciosos e os mais suscetíveis ao incômodo sonoro (ver apêndices H, I e J).

Inicialmente, foram realizadas duas medições piloto nas escolas da zona I para verificar a possibilidade de pequenas alterações na disposição dos alunos, sem gerar alterações significativas nas atividades de sala de aula. Os apêndices L e M mostram os resultados dessas duas breves medições.

Os parâmetros determinados pela NBR 12314 (ABNT, 1997) indicam que, em cada ponto de medição, deve ser efetuada uma leitura a cada 10 segundos, com o tempo mínimo total de 360 segundos, com constante de tempo *fast*. Para esse estudo, foi utilizado o nível equivalente L_{Aeq}, com a integração de um segundo para o tempo total, aproximado, de quatro horas, que identifica o tempo de um turno de aula, com a constante de tempo *fast*. As medições internas

foram realizadas em apenas um ponto de cada ambiente, nas condições de uso normais das salas, ou seja, com a presença de alunos e professores.

5.6 Verificação do nível de incômodo a partir de índices calculados

Os valores de níveis de ruído obtidos nas medições devem ser considerados como resultados não generalizáveis. Por isso, serão estimados os níveis de incômodo com base nos índices apresentados no capítulo 3, que são utilizados nos Estados Unidos, na Comunidade Européia, na Austrália e no Japão. Os índices considerados para a verificação são: L_{DN} , CNEL, L_{den} , NEF e WECPNL, respectivamente, equações 15, 16, 17, 24 e 28.

As aeronaves que operam no Aeroporto Internacional Salgado Filho foram identificadas segundo dados dos boletins da Infraero (2004, 2005), e as informações sonoras dessas aeronaves foram extraídas de Powell (2003), que apresenta, entre outras informações, os níveis de ruído de certificação e calculados de alguns tipos de aeronaves. Foram feitas algumas adaptações relativas ao valor do nível de ruído adotado de determinadas aeronaves, em função da variedade de modelos de aeronaves, pois não foi possível obter uma informação detalhada de todos os tipos que operam no Aeroporto Salgado Filho. As aeronaves foram agrupadas conforme os dados da Tabela 17.

Tabela 17: modelos de aeronaves considerados para o cálculo dos índices.

Modelo de aeronave considerado	Modelos agrupados
Boeing 737-200	
Boeing 737-800	Boeing 737-300, Boeing 737-500, Boeing 737-800
Boeing 777	Boeing 777-200, Boeing 777-300
Airbus 300	Airbus 310, Airbus 319, Airbus 320, Airbus 330, Airbus 340
Folker 100	Folker 100
Embraer 145	Embraer 145, Embraer 120
MD11	MD11

Os modelos selecionados para estimar o nível de incômodo levam em consideração os níveis de ruído em SEL, para a determinação do L_{DN} , L_{den} e CNEL, e em L_{EPN} , para estimar o

WECPNL e o NEF. Os valores de SEL, publicados por Powel (2003), foram obtidos por meio do software INM, enquanto que os valores de L_{EPN} foram obtidos na certificação das aeronaves.

O cálculo para estimativa do WECPNL leva em consideração um fator, S , relacionado a limites e temperatura atmosférica ao longo do ano. Para a realização dessa estimativa foram utilizados os dados meteorológicos da cidade de Porto Alegre, do período de 1951 a 1970, referidos por Uber (1992, p. 84). Para a realização do cálculo dos modelos baseados L_{Aeq} e no L_{EPN} consideraram-se, então, os dados da Tabela 18 e a classificação dos meses para a determinação do fator S , conforme a Tabela 19.

Tabela 18: dados considerados para o cálculo dos índices baseados no L_{EPN} e L_{Aeq}

Tipo de aeronave	L_{EPN} (dB _A)		L_{AX} (dB _A)		ATERRISSAGEM (nº de movimentos semanais)			DECOLAGEM (nº de movimentos semanais)		
	AT	DEC	AT	DEC	7h	19h	22h	7h	19h	22h
					às 19h	às 22h	às 7h	às 19h	às 22h	às 7h
Boeing 737-200	96,0	89,7	92,6	93,2	14	01	02	21	7	0
Boeing 737-800	96,8	85,9	93,4	90,6	103	0	22	123	7	7
Boeing 777	97,8	88,8	94,6	89,1	69	21	14	55	19	7
Airbus 300	102,4	94,0	95,8	92,7	42	17	14	60	7	14
Folker 100	93,0	81,8	89,2	84,1	23	0	6	28	0	7
Embraer 100	92,5	79,4	88,0	80,1	1	0	0	7	0	0
MD11	104,4	92,8	96,6	94,5	0	3	0	0	14	0

(Fonte: POWEL, 2003; INFRAERO, 2005)

Sendo que: *AT* são os movimentos de aterrissagem e *DEC* são os movimentos de decolagem.

Tabela 19: classificação dos meses para a determinação do fator S no cálculo do WECPNL.

Condição para o valor de S	Meses considerados
Meses com mais de 100 horas com temperaturas iguais ou superiores a 25,6°C	Janeiro, fevereiro, março e dezembro
Meses com mais do que 100 horas com temperaturas iguais ou superiores a 20°C e menos de 100 horas com temperaturas iguais ou superiores a 25,6°C	Abril, maio e novembro
Meses com menos do que 100 horas com temperaturas iguais ou superiores a 20°C	Junho, julho, agosto, setembro e outubro

5.7 Análise das características construtivas

As características construtivas dos prédios que abrigam as instituições de ensino podem determinar a qualidade do ambiente para a realização das atividades escolares. Segundo a abordagem feita na seção 2.4, um planejamento inadequado desses ambientes pode comprometer a comunicação e a concentração necessárias ao desempenho cognitivo dos estudantes.

Pretende-se relacionar as características construtivas das três escolas com os parâmetros acústicos que definem a qualidade do ambiente escolar. Foram selecionados os parâmetros que pudessem fornecer informações para uma análise com base nas medições acústicas e as informações obtidas nos projetos arquitetônicos. Portanto, as análises foram fundamentadas nos cálculos de perda de transmissão dos fechamentos externos e do tempo de reverberação, levando-se em consideração os ambientes da biblioteca e as salas de aula com maior número de superfícies externas.

Os resultados obtidos, nos cálculos de perda de transmissão dos fechamentos, indicarão se a relação entre o ruído externo e os ambientes internos é adequada ao desenvolvimento das atividades escolares.

O tempo de reverberação será calculado pela fórmula de Sabine, equação 14, nas bandas de frequência de 500, 1000 e 2000Hz. A partir dos valores de TR , serão indicadas as porcentagens de inteligibilidade, conforme a relação apresentada por Knudsen (1986), apresentada na Figura 9.

6 RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

Nesse capítulo, serão apresentados os resultados obtidos nas medições acústicas e aplicação dos questionários. Para a melhor organização dos gráficos e tabelas, os nomes dos estabelecimentos de ensino, objetos desse estudo, serão substituídos por siglas, conforme a Tabela 20.

Tabela 20: siglas adotadas para os estabelecimentos de ensino.

Nome do estabelecimento de ensino	Sigla adotada	Zona do PEZR
Colégio Estadual Presidente Arthur da Costa e Silva	CS	II
Escola Estadual de Ensino Fundamental Lions Club Porto Alegre Farrapos	LC	I
Escola Estadual de Ensino Fundamental Dr. Carlos Barbosa Gonçalves	CB	I

6.1 Entrevistas

6.1.1 Escola Estadual Carlos Barbosa Gonçalves

Para a diretora da Escola Carlos Barbosa, a passagem dos aviões gera alterações nas atividades escolares e na ocupação dos espaços. Nas sextas-feiras à tarde, são programadas apenas atividades recreativas, não são dadas aulas expositivas nem aplicadas provas, pois nesse período ocorre o maior fluxo de aeronaves. Para a diretora, o 2º andar é o local onde o ruído gera maior incômodo. Anteriormente, as turmas dos alunos maiores, das 7ª e 8ª séries, tinham aulas no 2º pavimento, porém foi detectada uma agitação maior por parte dos alunos. Então, os alunos mais novos passaram a ocupar o 2º pavimento por serem mais disciplinados. Os professores, em comparação aos alunos, são os que demonstram menor tolerância ao ruído, havendo manifestações claras de dificuldade de concentração nos dias de maior fluxo de aeronaves. Na opinião da diretora, o ruído atrapalha o desempenho escolar no momento que induz freqüentemente à interrupção na comunicação entre professor e aluno.

Os professores entrevistados ressaltaram que a interrupção no raciocínio, durante uma narrativa para as crianças menores, prejudica o raciocínio lógico dos alunos.

A professora responsável pela biblioteca relatou que, atualmente, a situação acústica é muito boa, pois na época em que o prédio era de madeira, além do ruído, havia tremores com casos de queda de janelas em cima dos alunos.

Com relação à diferença de desempenho escolar entre os alunos da Carlos Barbosa e alunos de outras escolas, as opiniões foram divergentes. A professora da 3ª série disse que a diferença de desempenho se deve a fatores socioeconômicos, pois ela leciona na Escola Estadual Danilo Antonio Zaffari, também no bairro Navegantes, e ela afirma que na Carlos Barbosa os alunos têm uma condição bem melhor, apesar de estarem mais expostos ao ruído. As outras respostas foram no sentido de afirmarem que o desempenho é pior na Carlos Barbosa e alguns professores disseram que não existe diferença de desempenho.

Já houve tentativa por parte dos professores, no sentido de alertar a Secretaria de Educação do Estado sobre o excesso de ruído, porém nenhuma medida foi tomada. Eles relataram que houve uma breve medição no local, há alguns anos, em que se chegou à conclusão de que a situação não era relevante.

6.1.2 Escola Estadual Lions Club Porto Alegre Farrapos

A diretora da Lions Club afirmou que não existem alterações no uso dos espaços em função do tráfego das aeronaves. O local que gera maior incômodo em relação ao ruído é o pavilhão de madeira, que chega a vibrar com a passagem de determinadas aeronaves. Os professores são os que demonstram maior intolerância com o ruído, pois, na opinião da diretora, as crianças convivem há mais tempo com o problema em função de morarem muito próximas ao aeroporto.

A escola já alertou a Secretaria de Obras do Estado sobre o excesso de ruído, mas nada foi feito.

O professor de Educação Física, que dá aula todas as manhãs, acredita que perdeu parte da audição em função da maior exposição ao ruído das aeronaves. Ele relata que as atividades

são muito prejudicadas e já sabe distinguir as empresas que possuem as aeronaves mais barulhentas, os horários e dias de maior ruído.

Os professores também foram questionados com relação à diferença de desempenho escolar entre os alunos da Lions Club e alunos de outras escolas. A professora da 2ª série do turno da tarde afirmou que a diferença é muito grande, tendo relatado que há muita dificuldade com os alunos da Lions Club, em comparação com os alunos de outras duas escolas em que leciona, e acredita que o trânsito das aeronaves é o grande causador do fraco desempenho das turmas. Já a psicóloga, que também trabalha com alunos de outras escolas, relatou que não nota diferença entre o rendimento dos alunos nas escolas mais e menos expostas ao ruído, mostrando alguma indiferença com o assunto.

6.1.3 Colégio Estadual Presidente Arthur da Costa e Silva

Para o diretor do Colégio Presidente Arthur da Costa e Silva não são notadas alterações no uso dos espaços devido ao sobrevôo das aeronaves. Também segundo o diretor não existe um local específico onde o incômodo relacionado ao sobrevôo das aeronaves seja mais evidente. As reclamações relacionadas ao ruído dos aviões são poucas, tanto por parte dos alunos, como por parte dos professores.

Os professores entrevistados reafirmaram as afirmações do diretor e, de modo geral, consideraram irrelevante o incômodo originado da exposição ao ruído aeronáutico durante as atividades no colégio.

6.2 Observações

6.2.1 Escola Estadual Carlos Barbosa Gonçalves

Observou-se, no interior da sala de aula, a interrupção da comunicação aluno-professor, no momento de passagem da aeronave e a conseqüente adaptação ao evento. No pátio, o ruído

chama a atenção, assim como a proximidade das aeronaves, que podem ser visualizadas, desviando a atenção das atividades recreativas.

De um modo geral, foi observado que os alunos, na Escola Carlos Barbosa, tem um comportamento relativamente disciplinado em sala de aula. Durante a aplicação dos questionários, os alunos se concentraram em responder às perguntas, ficando em silêncio durante esse tempo. Andando pelos corredores no período de aula, não se observa interferência do som da atividade nas salas de aula.

6.2.2 Escola Estadual Lions Club Porto Alegre Farrapos

A observação na Escola Lions Club foi feita no pátio da Escola e nas salas de aula durante a aplicação dos questionários.

Em sala de aula, com exceção da 2ª série, observou-se que o ambiente é muito ruidoso. Durante a passagem dos aviões, os alunos elevam o volume de voz e continuam falando o tempo todo, sendo que apenas a professora interrompe a comunicação.

Na ocupação do pátio, existe uma distinção em relação à faixa etária e turno dos alunos. Os alunos da manhã ocupam o pátio, predominantemente, nos períodos de Educação Física, enquanto que os do turno da tarde utilizam também na hora do recreio. Foi notada uma reação intensa ao ruído da passagem de dois aviões *caça* da Aeronáutica, quando algumas crianças interromperam a recreação, sendo que duas crianças tamparam os ouvidos com as mãos, e uma delas correu em direção ao prédio da escola.

6.2.3 Colégio Estadual Presidente Arthur da Costa e Silva

No Colégio Presidente Arthur da Costa e Silva a observação foi feita durante a aplicação dos questionários e medições.

Nas salas de aula se observou que não há interrupção na comunicação aluno-professor durante o sobrevôo das aeronaves. No entanto, a passagem das aeronaves é notada no pátio, quando os alunos desviam a atenção para olhar para os aviões.

Foi observado que, durante a coleta de dados, os alunos apresentaram um comportamento relativamente disciplinado em sala de aula. Durante a aplicação dos questionários, os alunos se concentraram em responder às perguntas, fazendo com que o ambiente ficasse menos ruidoso.

6.3 Questionários

A seguir serão apresentados os dados referentes às respostas dadas nos questionários das três escolas e a análise estatística com a finalidade de verificar as associações entre as variáveis em cada escola e entre as três escolas.

6.3.1 Respostas dos alunos

A primeira pergunta procurou avaliar o grau de incômodo do ruído dos aviões nas atividades em sala de aula. Nas escolas LC e CB, localizadas na zona I do PEZR, a maioria dos alunos classificou como *muito* o incômodo causado pelo ruído dos aviões nas atividades em sala de aula. Já no colégio CS, a maioria das respostas, nessa questão, 44,5% classifica como *pouco* o incômodo devido à passagem dos aviões.

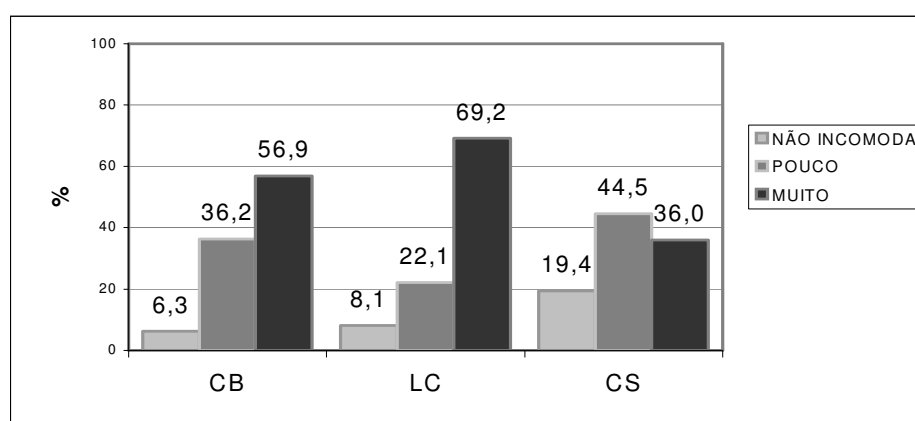


Figura 55: questionário dos alunos – respostas para a questão 1.

As duas questões seguintes procuraram avaliar os dois tipos de comportamento mais comuns em relação ao ruído excessivo: alteração do volume da voz por parte da professora e interrupção da comunicação entre o professor e o aluno. Nessa questão, nas três escolas, a maioria dos alunos afirmou que já precisou elevar o volume de voz para continuar a comunicação durante a passagem dos aviões, além de já terem deixado de ouvir a professora.

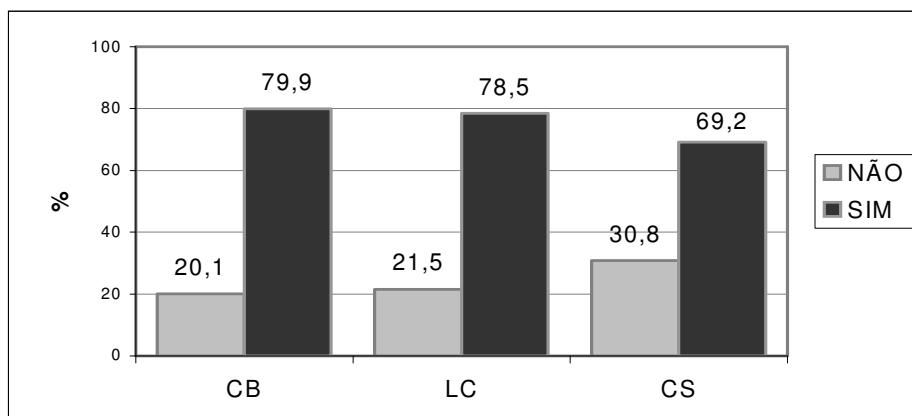


Figura 56: questionário dos alunos – respostas para a questão 2.

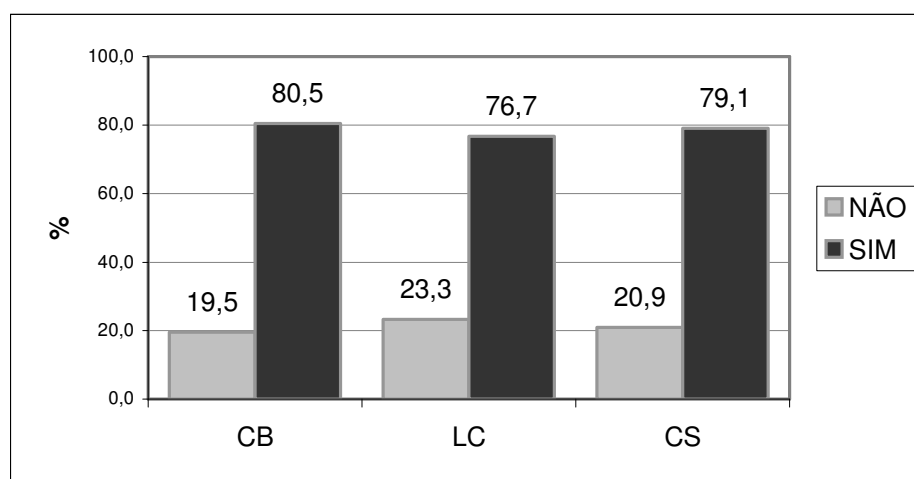


Figura 57: questionário dos alunos – respostas para a questão 3.

A questão número quatro, uma pergunta aberta, indagava qual o lugar mais silencioso da escola. Nas escolas CS e LC, a maioria dos alunos indicou a biblioteca. Na escola CB, além da biblioteca, a opção *nenhum* também foi feita para indicar o local mais silencioso. Vale lembrar que essa era uma pergunta aberta na qual os alunos poderiam colocar o nome de

qualquer lugar da escola. Dentro dessa possibilidade, a resposta *nenhum* surgiu dos próprios respondentes. O gráfico a seguir mostra a porcentagem de respostas dadas para cada ambiente da escola, sendo que o pátio, a sala de aula e o refeitório foram agrupados por apresentarem número de respostas semelhantes nas três escolas.

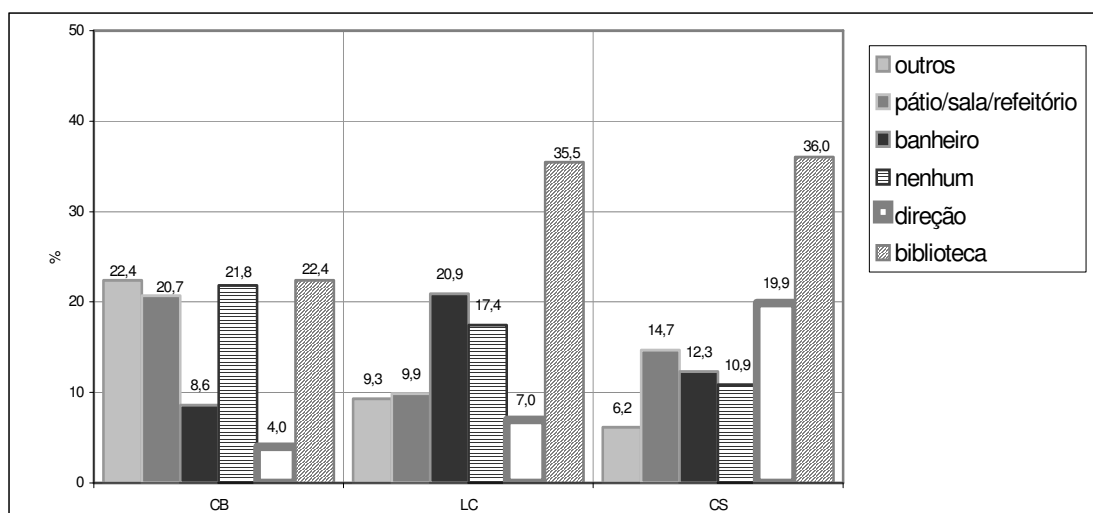


Figura 58: questionário dos alunos – respostas para a questão 4.

Os alunos das três escolas apresentaram menor variedade de respostas, em relação à questão anterior, quando foram questionados sobre qual seria o lugar onde o incômodo devido ao ruído era maior. A sala de aula foi o lugar indicado pela maioria nas três escolas.

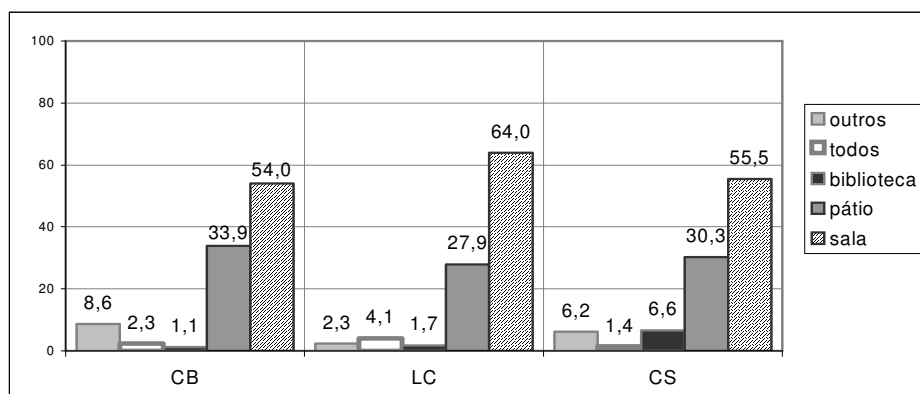


Figura 59: questionário dos alunos – respostas para a questão 5.

A última pergunta dirigida aos alunos teve a finalidade de confrontar o incômodo acústico de casa e da escola, uma vez que os alunos residem muito próximo às escolas, em locais considerados com relevante exposição ao ruído. Essa questão foi formulada como uma questão fechada, com duas alternativas: casa ou escola; no entanto, alguns alunos assinalaram os dois lugares, abrindo mais uma alternativa de escolha. Nas escolas CB e LC, localizadas na zona I, a escola foi considerada como o local mais ruidoso, comparado às residências, enquanto que na CS as porcentagens de respostas, para a casa e a escola, foram semelhantes.

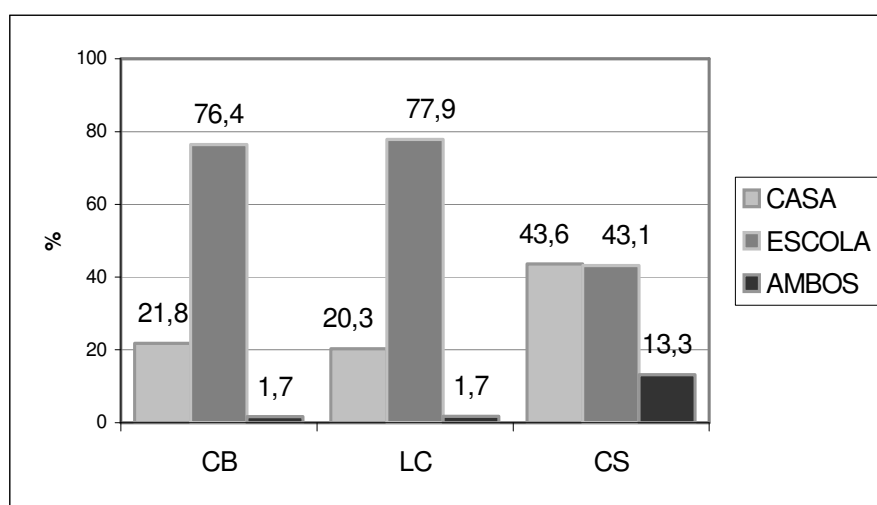


Figura 60: questionário dos alunos – respostas para a questão 6.

6.3.1.2 Respostas dos professores

As respostas dadas pelos professores foram menos diversificadas em relação às respostas dos alunos. Para as questões iniciais, 100% dos professores que lecionam nas escolas CB e LC, localizadas na zona I do PEZR, manifestaram muito incômodo na questão um e admitiram que já precisaram falar mais alto durante o sobrevôo das aeronaves e já deixaram de ouvir os alunos. Na escola localizada na zona II, CS, as opiniões dos professores foram divididas: 50% indicaram como *muito* o incômodo devido ao ruído dos aviões; 41,7% indicaram como pouco e, 8,3% afirmaram que não existe incômodo relacionado ao ruído dos aviões. Em relação ao comportamento relacionado à interferência na comunicação, 83,3% dos respondentes, no

colégio CS, afirmaram que já precisaram elevar o volume de voz e deixaram de ouvir os alunos durante a passagem dos aviões.

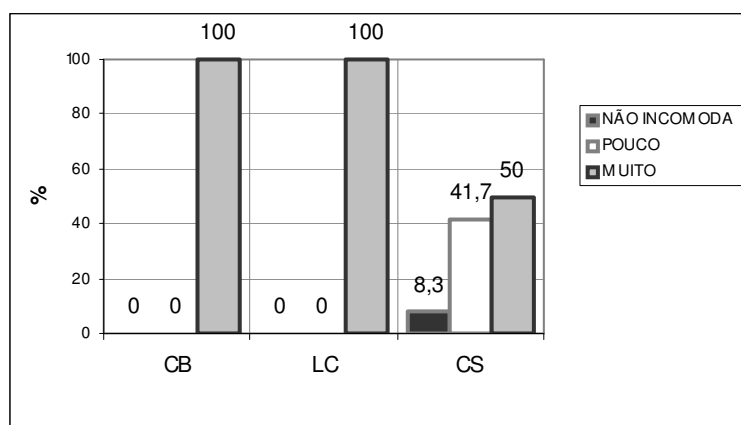


Figura 61: questionário dos professores – respostas para a questão 1.

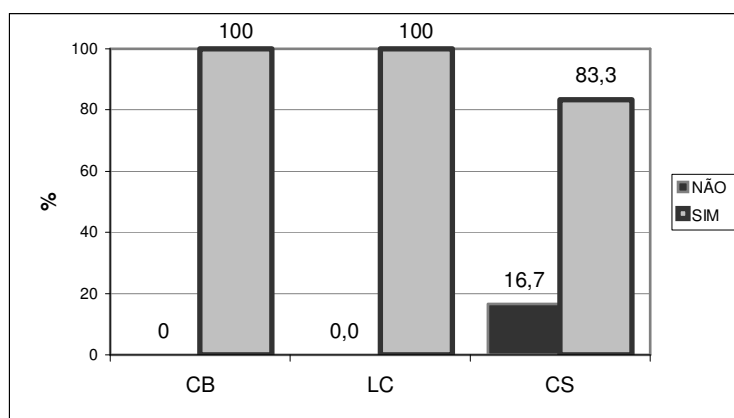


Figura 62: questionário dos professores – respostas para a questão 2.

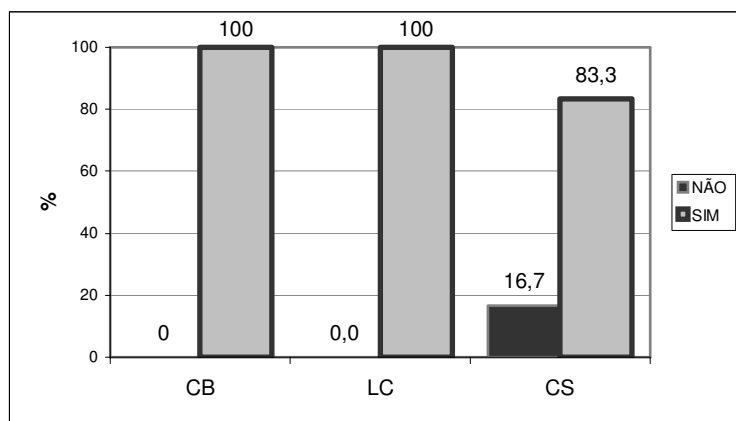


Figura 63: questionário dos professores – respostas para a questão 3.

As indicações dos professores respondentes sobre os ambientes mais silenciosos e onde o incômodo é maior, também apresentaram menor variedade de respostas. A maioria dos professores, que leciona nas escolas da zona I, CS e LC, afirma que não existe local silencioso nas escolas, enquanto que no colégio da zona II, CS, a biblioteca é apontada como o ambiente mais silencioso. Nas três escolas, a sala de aula é indicada como o lugar onde o ruído dos aviões causa maior incômodo, sendo que o segundo lugar de maior incômodo foi, tanto na CS quanto na LC, o pátio e, em LC, a segunda alternativa foi a de que, em todos os locais, o ruído do sobrevôo das aeronaves causa incômodo.

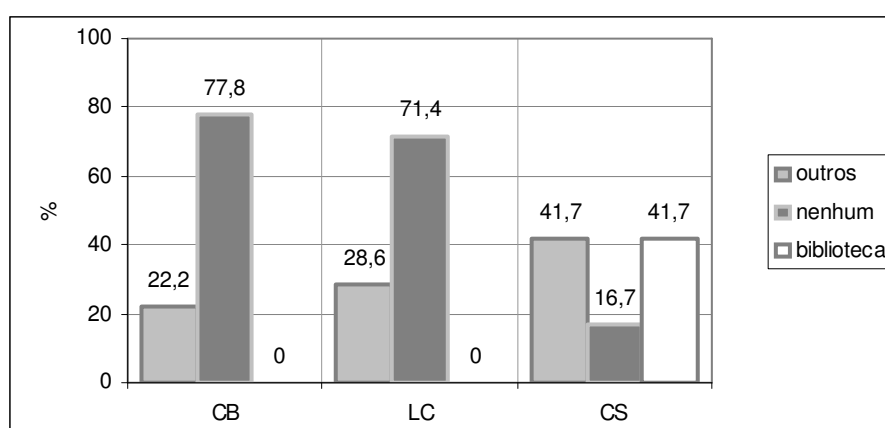


Figura 64: questionário dos professores – respostas para a questão 4.

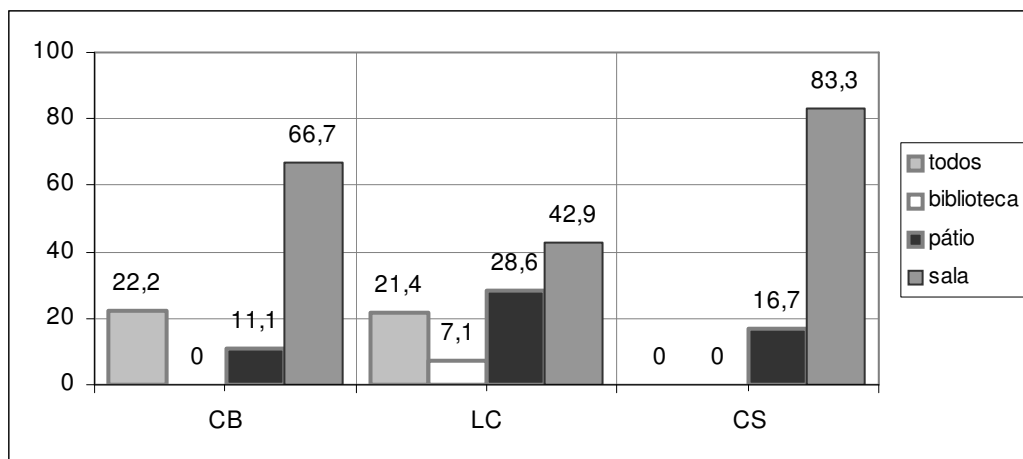


Figura 65: questionário dos professores – respostas para a questão 5.

Os professores, assim como os alunos, também responderam se, na escola ou na sua casa, o barulho é maior. Nas três escolas, a proporção, em cada alternativa, foi diferente. A maioria dos professores do colégio CS, 91,7%, afirma que na escola o barulho é maior, 8,3% identificam suas casas como ambientes mais ruidosos. Na escola LC, a maioria dos respondentes, 71,4%, indicou que os dois locais são barulhentos, pois, assim como os alunos, mesmo não havendo essa alternativa na questão fechada, 10 dos 14 professores assinalaram as duas alternativas. Na escola CB, nenhum professor indicou sua casa como o lugar mais barulhento, sendo que as respostas se dividiram nas duas outras alternativas: 88,9% para a escola e 11,1% para ambos os locais.

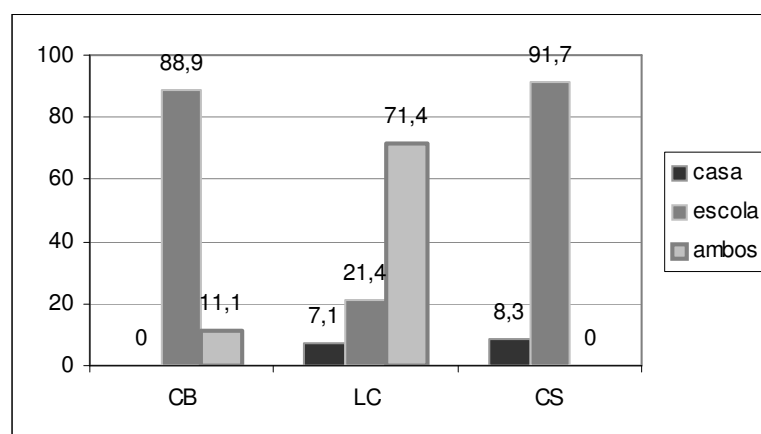


Figura 66: questionário dos professores – respostas para a questão 6.

Para a maioria dos professores que trabalham nas três escolas, o ruído influencia no desempenho escolar. No entanto, a proporção dessas respostas foi diferente. Nas escolas da zona I, CB e LC, 100% dos professores acreditam na relação entre ruído e desempenho escolar, enquanto que no colégio CS, da zona II, mesmo sendo a maioria, a porcentagem cai para 66,7%.

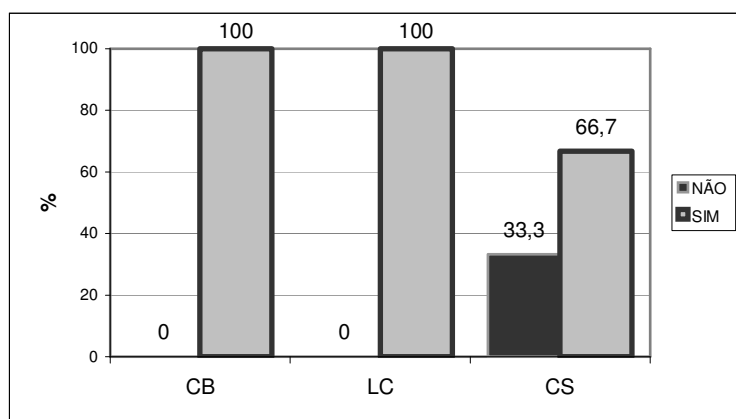


Figura 67: questionário dos professores – respostas para a questão 10.

A ocorrência de reclamação, por parte dos alunos, é apontada por 100% dos professores das escolas da zona I e por 66,7% dos professores do colégio CS, este localizado na zona II.

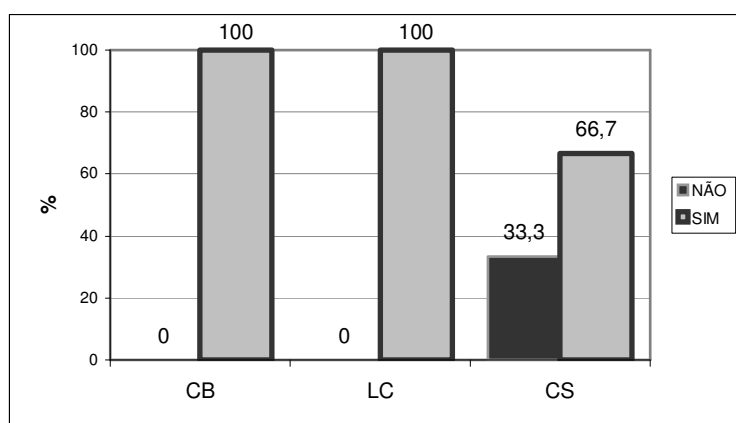


Figura 68: questionário dos professores – respostas para a questão 11.

6.3.2 Análise e interpretação dos dados

As Tabelas 21 e 22 apresentam os dados coletados nos questionários dos alunos e professores, respectivamente, onde se pode notar a diferença na distribuição e proporção das respostas, principalmente nos resultados dos questionários dos alunos.

Tabela 21: síntese dos dados coletados nos questionários dos alunos em números absolutos e porcentagem.

Questão	Resposta	Escola					
		CB		LC		CS	
		N	%	N	%	N	%
1 – Incômodo em aula	Muito	99	56,90	119	69,19	76	36,02
	Pouco	64	36,78	39	22,67	94	44,55
	Não incomoda	11	6,32	14	8,14	41	19,43
2 - Se foi preciso falar mais alto	Sim	139	79,89	134	77,91	146	69,19
	Não	34	20,11	38	22,09	65	30,81
3 - Se deixou de ouvir a professora	Sim	140	80,46	132	76,74	167	79,15
	Não	34	19,54	40	23,26	44	20,85
4 - Lugar mais silencioso	Biblioteca	39	22,41	61	35,47	76	36,02
	Nenhum	38	21,84	38	17,44	23	10,90
	Outros	97	55,75	73	47,09	112	53,08
5 - Lugar de maior incômodo	Sala de aula	94	54,02	110	63,95	117	55,45
	Pátio	59	33,91	48	27,91	64	30,33
	Outros	21	13,5	14	8,04	30	14,22
6 - Onde o barulho é maior	Escola	133	76,44	134	77,91	91	43,13
	Casa	38	21,84	35	20,35	92	43,60
	Ambos	3	1,72	3	1,74	28	13,67
Séries dos alunos respondentes		3ª a 8ª		2ª a 8ª		4ª a 8ª	
Total de alunos respondentes		174		172		211	
Porcentagem de respondentes em relação ao total de alunos matriculados no Ensino Fundamental		57,24		57,14		56,72	

Tabela 22: síntese dos dados coletados nos questionários dos professores em números absolutos e porcentagem.

Questão	Resposta	Escola					
		CB		LC		CS	
		N	%	N	%	N	%
Incômodo em aula	Muito	9	100	14	100	6	50,0
	Pouco	0	0	0	0	5	41,7
	Não incomoda	0	0	0	0	1	8,3
Se foi preciso falar mais alto	Sim	9	100	14	100	10	83,3
	Não	0	0	0	0	2	16,7
Se já deixou de ouvir os alunos	Sim	9	100	8	100	10	83,3
	Não	0	0	0	0	2	16,7
Lugar mais silencioso	Biblioteca	0	0	0	0	5	41,7
	Nenhum	7	77,8	10	71,4	2	16,7
	Outros	2	22,2	4	28,6	5	41,7
Lugar de maior incômodo	Sala de aula	6	66,7	6	42,9	10	83,3
	Pátio	1	11,1	4	28,6	2	16,7
	Todos	2	22,2	3	21,4	0	0
	Biblioteca	0	0	1	7,1	0	0
Onde o barulho é maior	Escola	8	88,9	3	21,4	11	91,7
	Casa	0	0	1	7,1	1	8,3
	Ambos	1	11,1	10	71,4	0	0
Se o ruído influencia no desempenho escolar	Sim	9	100	14	100	8	66,7
	Não	0	0	0	0	4	33,3
Se os alunos reclamam do barulho em sala de aula	Sim	9	100	14	100	8	66,7
	Não	0	0	0	0	4	33,3
Total de professores respondentes		9		14		12	
Porcentagem de respondentes em relação ao total de professores do Ensino Fundamental		39,13		53		37,5	

Os dados gerados, com base na aplicação dos questionários, foram analisados para verificar as associações entre o incômodo manifestado e as variáveis de: sexo, idade, comportamento nas atividades em sala de aula, ambiente considerado mais silencioso, ambiente onde o ruído causa maior interferência e a percepção do ruído na escola, em relação à residência dos alunos. A análise estatística foi feita apenas com os dados dos questionários dos alunos, pois o número de professores respondentes não satisfaz as exigências de amostragem mínima.

Para medir as associações das respostas dos alunos foi utilizado o teste Qui-quadrado, entre as respostas de cada escola.

6.3.2.1 Associações das variáveis entre as escolas

Inicialmente foram analisadas se as proporções observadas nos graus de manifestação de incômodo, nas Escolas Carlos Barbosa (CB) e Lions Club (LC), são casuais ou associadas. Para tanto, os dados foram analisados segundo a tabulação que relaciona o total de respondentes para cada uma das três alternativas da questão um, nas escolas CB e LC. Conforme a Tabela 23, o valor obtido para o χ^2 é maior que o χ^2 crítico; logo, a hipótese de que existe associação entre as respostas pode ser aceita. A Tabela 23 mostra os dados considerados e os valores de χ^2 e χ^2 crítico para dois graus de liberdade e $\alpha=5\%$.

Tabela 23: frequência de respostas à questão 1 do questionário dos alunos das escolas CB e LC.

RESPOSTA QUESTÃO 1	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	LC			
Muito	99	119	218	8,2515	5,9914
Pouco	64	39	103		
Não incomoda	11	14	25		
TOTAL	174	172	346		

As análises de associação entre as escolas da zona I, CB e LC, com o colégio CS, tomado como grupo de controle, foram feitas separadamente. A tabulação utilizada resultou num valor de Qui-quadrado maior que o valor tabelado, para dois graus de liberdade e $\alpha=5\%$, nas duas associações, conforme as Tabelas 24 e 25. Dessa forma, a associação entre os graus de incômodo manifestado nas escolas pode ser aceita, ou seja, rejeita-se que existam diferenças entre as manifestações de graus de incômodo entre os três estabelecimentos de ensino.

Tabela 24: frequência de respostas à questão 1 do questionário dos alunos das escolas CB e CS.

RESPOSTA QUESTÃO 1	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	CS			
Muito	99	76	175	22,6804	5,9914
Pouco	64	94	158		
Não incomoda	11	41	52		
TOTAL	174	211	385		

Tabela 25: frequência de respostas à questão 1 do questionário dos alunos das escolas LC e CS.

RESPOSTA QUESTÃO 1	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	LC	CS			
Muito	119	76	195	41,9446	5,9914
Pouco	39	94	133		
Não incomoda	14	41	55		
TOTAL	172	211	383		

6.3.2.2 Grau de incômodo declarado por sexo dos alunos

As Tabelas 26, 27 e 28 mostram as verificações de associação entre sexo e incômodo manifestado em relação ao ruído dos aviões, para um grau de liberdade e $\alpha=5\%$. A hipótese de que existe associação pode ser rejeitada entre as escolas CB e LC, e CB e CS. No entanto, conforme a Tabela 28, pode-se aceitar que existe associação nas frequências de respostas entre as escolas LC e CS.

Tabela 26: verificação da associação entre incômodo manifestado e sexo nas escolas CB e LC.

Sexo	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	LC			
Masculino	52	69	121	0,6518	3,8414
Feminino	47	50	97		
TOTAL	99	119	218		

Tabela 27: verificação da associação entre incômodo manifestado e sexo nas escolas CB e CS.

Sexo	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	CS			
Masculino	52	31	83	2,3748	3,8414
Feminino	47	45	92		
TOTAL	99	76	218		

Tabela 28: verificação da associação entre incômodo manifestado e sexo nas escolas LC e CS.

Sexo	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	LC	CS			
Masculino	69	31	100	5,4879	3,8414
Feminino	50	45	95		
TOTAL	119	76	195		

6.3.2.3 Incômodo e elevação no volume de voz

As verificações entre incômodo declarado e elevação no volume de voz, durante as atividades em sala de aula, indicam que não se pode aceitar que exista associação. As Tabelas 29, 30 e 31 mostram os valores de Qui-quadrado, para um grau de liberdade e $\alpha=5\%$.

Tabela 29: verificação da associação entre incômodo manifestado e elevação no volume de voz nas escolas CB e LC.

	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	LC			
Sim	139	134	273	0,2033	5,9915
Não	35	38	73		
TOTAL	174	172	346		

Tabela 30: verificação da associação entre incômodo manifestado e elevação no volume de voz nas escolas CS e LC.

	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CS	LC			
Sim	146	134	280	3,6581	5,9915
Não	65	38	103		
TOTAL	211	172	383		

Tabela 31: verificação da associação entre incômodo manifestado e elevação no volume de voz nas escolas CB e CS.

	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	CS			
Sim	139	146	285	5,6684	5,9915
Não	35	65	100		
TOTAL	174	211	385		

6.3.2.4 Incômodo e deixar de ouvir a professora

As Tabelas 32, 33 e 34 mostram as verificações de associação entre maior incômodo manifestado em relação à situação de já ter deixado de ouvir a professora, durante a passagem dos aviões, para um grau de liberdade e $\alpha=5\%$. Nas três verificações pode ser rejeitada a hipótese de que exista associação nas respostas entre os estabelecimentos de ensino.

Tabela 32: verificação da associação entre incômodo manifestado e deixar de ouvir a professora nas escolas CB e LC.

	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	LC			
Sim	140	132	272	0,7102	5,9915
Não	34	40	74		
TOTAL	174	172	346		

Tabela 33: verificação da associação entre incômodo manifestado e elevação no volume de voz nas escolas CB e CS.

	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	CS			
Sim	140	167	307	0,1017	5,9915
Não	34	44	78		
TOTAL	174	211	385		

Tabela 34: verificação da associação entre incômodo manifestado e elevação no volume de voz nas escolas LC e CS.

	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	LC	CS			
Sim	132	167	299	0,3195	5,9915
Não	40	44	84		
TOTAL	172	211	383		

6.3.2.5 Incômodo por faixa etária dos alunos

A relação de independência entre as variáveis de grau de incômodo e faixa etária foi testada considerando dois grupos: as escolas da zona I e a escola da zona II. A hipótese nula, H_0 , foi a de que as variáveis são independentes, e o H_1 , representa a hipótese alternativa de que as

variáveis são dependentes. A Tabela 35 apresenta os resultados, agrupados por faixa etária dos respondentes e suas opções da questão 1. O valor obtido para o χ^2 é maior que o χ^2 crítico; logo, a hipótese nula pode ser rejeitada, havendo, dessa forma, evidências de que existe associação entre faixa etária e grau de incômodo nas três verificações. Ou seja, a probabilidade de rejeitar falsamente a hipótese de que as variáveis são independentes é de 5%. Os dados considerados e os valores de χ^2 e χ^2 crítico, para quatro graus de liberdade e $\alpha=5\%$, são mostrados nas Tabelas 35, 36 e 37.

Tabela 35: verificação da associação entre incômodo manifestado e faixa etária nas escolas CB e LC.

Idade	ESCOLAS		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	LC			
Até 9 anos	09	27	36	11,0891	9,4877
Entre 10 e 11 anos	27	34	61		
Entre 12 e 13 anos	32	31	63		
Entre 14 e 15 anos	25	23	48		
16 anos ou mais	06	04	10		
TOTAL	99	119	218		

Tabela 36: verificação da associação entre incômodo manifestado e faixa etária nas escolas CS e CB.

Idade	ESCOLAS		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CS	CB			
Até 9 anos	01	09	10	11,1798	9,4877
Entre 10 e 11 anos	14	27	41		
Entre 12 e 13 anos	42	32	74		
Entre 14 e 15 anos	16	25	41		
16 anos ou mais	03	06	9		
TOTAL	76	99	175		

Tabela 37: verificação da associação entre incômodo manifestado e faixa etária nas escolas CS e LC.

Idade	ESCOLAS		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CS	LC			
Até 9 anos	01	27	28	26,3299	9,4877
Entre 10 e 11 anos	14	34	48		
Entre 12 e 13 anos	42	31	73		
Entre 14 e 15 anos	16	23	39		
16 anos ou mais	03	04	07		
TOTAL	76	119	195		

6.3.2.6 Incômodo para os ambientes onde o incômodo é maior

Para as questões abertas, inicialmente, foi testado se existe associação entre as respostas das três escolas e os ambientes indicados pelos alunos que manifestaram maior incômodo.

As Tabelas 38, 39 e 40 apresentam os resultados do teste de associação das respostas à questão 4, para quatro graus de liberdade e $\alpha=5\%$. Pode-se admitir a associação entre CB e LC, e CS e LC, no entanto não existem evidências de associação entre CS e CB para as frequências nas respostas da questão 4.

Tabela 38: verificação da associação entre os ambientes onde o incômodo é maior nas escolas CB e LC.

Ambiente	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	LC			
Sala de aula	94	100	204	9,7611	9,4877
Pátio	59	48	107		
Biblioteca	02	03	05		
Todos	04	07	11		
Outros	15	04	19		
TOTAL	174	172	346		

Tabela 39: verificação da associação entre os ambientes onde o incômodo é maior nas escolas CS e LC.

Ambiente	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CS	LC			
Sala de aula	117	100	227	12,1385	9,4877
Pátio	64	48	112		
Biblioteca	14	03	17		
Todos	03	07	10		
Outros	13	04	17		
TOTAL	211	172	383		

Tabela 40: verificação da associação entre os ambientes onde o incômodo é maior nas escolas CS e CB.

Ambiente	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CS	CB			
Sala de aula	117	94	211	8,5189	9,4877
Pátio	64	59	123		
Biblioteca	14	02	16		
Todos	03	04	07		
Outros	13	15	28		
TOTAL	211	174	385		

Para os resultados da questão 4, foram separados os questionários com a opção de *muito incômodo* e verificada a associação entre essas duas variáveis: maior incômodo manifestado e local onde o ruído dos aviões causa maior incômodo. Nas três verificações, não foram encontradas evidências de associação, ou seja, os alunos que manifestaram maior incômodo não indicam o ambiente de maior incômodo com a mesma frequência nas três escolas.

Tabela 41: verificação da associação entre incômodo manifestado e os ambientes onde o incômodo é maior nas escolas LC e CB.

Ambiente	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	LC			
Sala de aula	61	81	142	5,0275	9,4877
Pátio	25	28	53		
Biblioteca	01	02	03		
Todos	03	05	08		
Outros	09	03	12		
TOTAL	99	119	218		

Tabela 42: verificação da associação entre incômodo manifestado e os ambientes onde o incômodo é maior nas escolas CS e LC.

Ambiente	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CS	LC			
Sala de aula	53	81	134	0,8398	9,4877
Pátio	15	28	43		
Biblioteca	02	02	04		
Todos	03	05	08		
Outros	03	03	06		
TOTAL	99	119	218		

Tabela 43: verificação da associação entre incômodo manifestado e os ambientes onde o incômodo é maior nas escolas CB e CS.

Ambiente	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	CS			
Sala de aula	61	53	114	3,4311	9,4877
Pátio	25	15	40		
Biblioteca	01	02	03		
Todos	03	03	06		
Outros	09	03	12		
TOTAL	99	76	175		

6.3.2.7 Incômodo para os ambientes mais silenciosos

Assim como para a questão 4, para a questão 5, que perguntava qual o local mais silencioso na escola, foram testadas as associações entre as respostas das três escolas e os ambientes mais silenciosos indicados pelos alunos.

As Tabelas 44, 45 e 46 apresentam os resultados do teste de associação das respostas à questão 4, para cinco graus de liberdade e $\alpha=5\%$. Pode-se admitir a associação entre as três escolas, ou seja, a probabilidade de que as variáveis sejam dependentes, é de 95%.

Tabela 44: verificação da associação entre os ambientes mais silenciosos nas escolas CB e LC.

Ambiente	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	LC			
Biblioteca	39	61	100	32,1630	11,0705
Direção	07	12	19		
Nenhum	38	30	68		
Banheiro	15	36	51		
Pátio/sala/refeitório	36	17	53		
Outros	39	16	55		
TOTAL	174	172	346		

Tabela 45: verificação da associação entre os ambientes mais silenciosos nas escolas CB e CS.

Ambiente	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	CS			
Biblioteca	39	76	115	53,8588	11,0705
Direção	07	42	49		
Nenhum	38	23	61		
Banheiro	15	26	41		
Pátio/sala/refeitório	36	31	67		
Outros	39	13	52		
TOTAL	174	211	385		

Tabela 46: verificação da associação entre os ambientes mais silenciosos nas escolas CS e LC.

Ambiente	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CS	LC			
Biblioteca	76	61	137	21,4917	11,0705
Direção	42	12	54		
Nenhum	23	30	53		
Banheiro	26	36	62		
Pátio/sala/refeitório	31	17	48		
Outros	13	16	29		
TOTAL	211	172	383		

Para os resultados da questão 5, foram separados os questionários com a opção de *muito incômodo* e verificada a associação entre essas duas variáveis: maior incômodo manifestado e local considerado mais silencioso. Nas três verificações foram encontradas evidências de associação, ou seja, os alunos que manifestaram maior incômodo indicam o ambiente mais silencioso com a mesma frequência nas três escolas. As Tabelas 47, 48 e 49 mostram os valores considerados, para cinco graus de liberdade e $\alpha=5\%$.

Tabela 47: verificação da associação entre incômodo manifestado e os ambientes mais silenciosos nas escolas CB e LC.

Ambiente	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	LC			
Biblioteca	21	47	68	22,1785	11,0705
Direção	05	06	11		
Nenhum	21	23	44		
Banheiro	07	20	27		
Pátio/sala/refeitório	20	12	32		
Outros	25	11	36		
TOTAL	99	119	218		

Tabela 48: verificação da associação entre incômodo manifestado e os ambientes mais silenciosos nas escolas CS e LC.

Ambiente	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CS	LC			
Biblioteca	29	47	76	17,1145	11,0705
Direção	16	06	22		
Nenhum	09	23	32		
Banheiro	07	20	27		
Pátio/sala/refeitório	12	12	24		
Outros	03	11	14		
TOTAL	76	119	195		

Tabela 49: verificação da associação entre incômodo manifestado e os ambientes mais silenciosos nas escolas CB e CS.

Ambiente	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CB	CS			
Biblioteca	21	29	50	28,5988	11,0705
Direção	05	16	21		
Nenhum	21	09	30		
Banheiro	07	07	14		
Pátio/sala/refeitório	20	12	32		
Outros	25	03	28		
TOTAL	99	76	175		

6.3.2.8 Incômodo e comparação entre o ruído em casa e na escola

A verificação de associação entre os alunos que manifestaram maior incômodo e como eles percebem o ruído dos aviões na escola em comparação ao ruído dos aviões nas suas casas. Foi verificada associação das escolas da zona I, CB e LC, com o colégio CS, separadamente, porém deve-se rejeitar que exista associação entre as escolas da zona I, CB e LC, conforme os resultados apresentados nas Tabelas 50, 51 e 52.

Tabela 50: verificação da associação entre incômodo manifestado e o ruído em casa e na escola nas escolas LC e CB.

Resposta questão 6	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	LC	CB			
Casa	16	21	37	2,9061	5,9914
Escola	101	75	176		
Ambos	02	03	05		
TOTAL	119	99	218		

Tabela 51: verificação da associação entre incômodo manifestado e o ruído em casa e na escola nas escolas CS e CB.

Resposta questão 6	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CS	CB			
Casa	26	21	47	24,0579	5,9914
Escola	33	75	108		
Ambos	17	03	20		
TOTAL	76	99	175		

Tabela 52: verificação da associação entre incômodo manifestado e o ruído em casa e na escola nas escolas CS e LC.

Resposta questão 6	ESCOLA		TOTAL	χ^2	χ^2 crítico
	CS	LC			
Casa	26	16	42	41,2545	5,9914
Escola	33	101	134		
Ambos	17	12	19		
TOTAL	76	119	195		

6.3.3 Considerações sobre os resultados dos questionários

Os dados resultantes da aplicação do questionário, para os professores, não sofreram análise estatística por não satisfazerem as exigências metodológicas necessárias. No entanto, cabe destacar as diferenças nas respostas das três escolas para algumas das questões.

Nas escolas da zona I, CB e LC, todos os professores indicaram que o ruído causado pelo sobrevôo das aeronaves causa alto grau de incômodo nas atividades em sala de aula. No colégio CS, localizado na zona II, as respostas dos professores se distribuíram nas três alternativas da questão.

Também cabe salientar que, enquanto nas escolas da zona I, CB e LC, todos os professores respondentes acreditam que exista relação entre ruído e desempenho escolar, no colégio CS, na zona II, não houve unanimidade nas respostas. Ou seja, parte dos professores do colégio da zona II não relaciona as características sonoras do ambiente de sala de aula com a qualidade do aprendizado dos alunos.

Com relação aos dados dos questionários dos alunos, foram testadas associações dos graus de incômodo manifestado com idade e sexo dos alunos respondentes, ambiente na escola indicado como o mais silencioso e o mais suscetível ao incômodo, além da relação entre o incômodo sonoro na escola e na residência dos respondentes.

Alguns cruzamentos de dados revelaram características dos alunos que indicam um alto grau de incômodo nas atividades em sala de aula. Podem-se, então, destacar as seguintes relações:

- Na escola CB, localizada na zona I, dos 99 alunos que indicaram alto grau de incômodo:
 - 92 já precisaram elevar o volume de voz;
 - 86 já deixaram de escutar a professora;
 - 75 apontam que a escola é mais ruidosa que suas casas.

- Na escola LC, localizada na zona I, dos 119 alunos que indicaram alto grau de incômodo:
 - 110 já precisaram falar mais alto durante a passagem dos aviões;
 - 99 já deixaram de ouvir a professora;
 - 101 declararam que na escola o ruído é maior em comparação com suas residências.
- No colégio CS, localizado na zona II, dos 76 alunos que indicaram alto grau de incômodo:
 - 42 estão na faixa etária entre 12 e 13 anos;
 - 66 já precisaram elevar o volume de voz ;
 - 68 já deixaram de ouvir a professora falar.

Os testes de associação das variáveis entre as escolas, na análise estatística, mostraram que existe forte relação entre os resultados da questão 1, em que os alunos manifestaram o grau de incômodo, em uma escala de três pontos. Pode-se afirmar que, se o questionário fosse aplicado para todos os alunos do ensino fundamental, nas três escolas, as frequências seriam semelhantes.

A associação entre incômodo e faixa etária revelou que os alunos entre 10 e 13 anos, nas três escolas, são os mais afetados pelo ruído dos aviões.

Os comportamentos que afetam, de forma mais direta, a comunicação em sala de aula, como elevar o volume de voz e deixar de ouvir a professora, não possuem associação entre as escolas. Dessa forma, pode-se admitir que a maioria dos alunos elevem o volume de voz e deixem de ouvir a professora, porém, em cada uma das escolas, as respostas de todos os alunos do Ensino Fundamental serão diferentes.

A identificação dos locais mais silenciosos: biblioteca, direção e nenhum, pode ser aceita para as três escolas, rejeitando que exista diferenças entre as respostas.

6.4 Medições Acústicas

Durante a coleta dos dados acústicos, internos e externos, foram realizados registros de todos os eventos que pudessem contribuir para alterações no ambiente sonoro, como, por exemplo, entrada e saída de pessoas nos ambientes, passagem de veículos, buzinas, alarmes, sirenes, passagens de avião e utilização de ventiladores ou equipamentos de limpeza. Os registros também forneceram informações do horário de ocorrência para possibilitar a comparação entre os eventos no gráfico de cada medição de ruído.

Os dados relativos às medições acústicas estão divididos em medições internas e externas, agrupados por estabelecimento de ensino.

6.4.1 Medições externas

As medições externas foram realizadas com o equipamento posicionado nas quadras esportivas dos estabelecimentos de ensino, e a localização do equipamento pode ser verificada no apêndice G.

6.4.1.1 Medições externas na escola CB

As Figuras 69, 70 e 71 mostram, respectivamente, o perfil gráfico de três medições realizadas nos turnos da manhã, tarde e noite, na escola CB.

No turno da manhã, o ruído de fundo, caracterizado pelo L_{90} , manteve-se baixo com o valor de 51,6 dB_A . A Figura 69 mostra o registro dessa medição, sendo que, entre as 8h 23 min e às 9h 45 min, ocorreu atividade ruidosa no pátio, porém os eventos de ruído aeronáutico se destacaram, com valores acima de 75 dB_A . O nível máximo atingido foi de 99,1 dB_A , durante a passagem de um MD-11.

O gráfico da medição do turno da tarde é mostrado na Figura 70, registrando-se 24 eventos, 12 de aeronaves de grande porte. Durante a medição, a atividade no pátio da escola foi fraca, apenas com a circulação dos alunos e professores conversando. Foi registrada a passagem de 24 aeronaves, sendo que a mais ruidosa foi um Boeing 737-200.

A Figura 71 mostra o registro do ruído no período noturno, registrando-se 36 eventos, sendo 19 de grande porte. A atividade no pátio, entre às 17h e às 17h e 14min, foi muito grande, ocasionada pela agitação da saída das crianças.

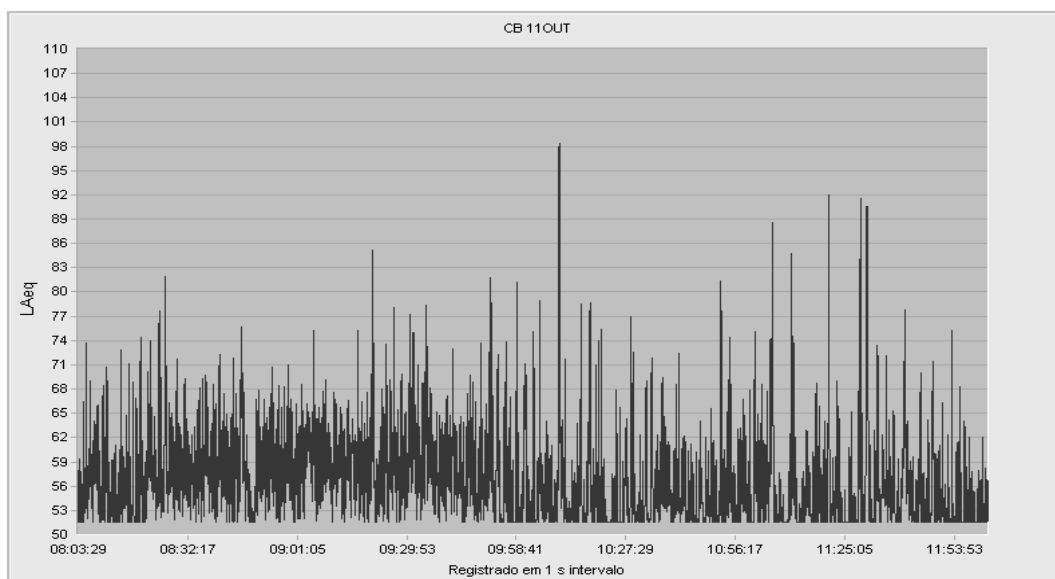


Figura 69: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola CB no turno da manhã.

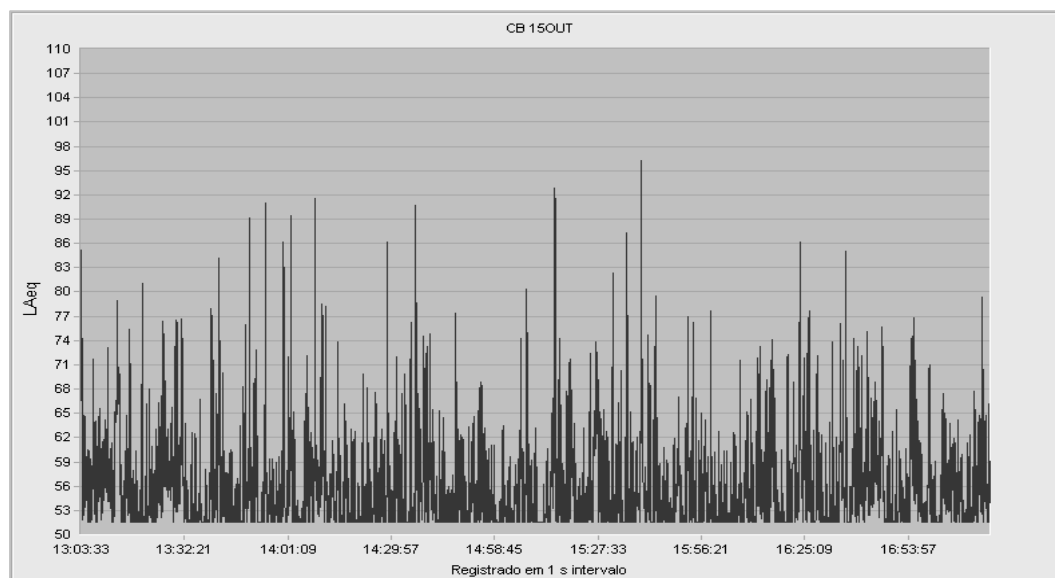


Figura 70: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola CB no turno da tarde.

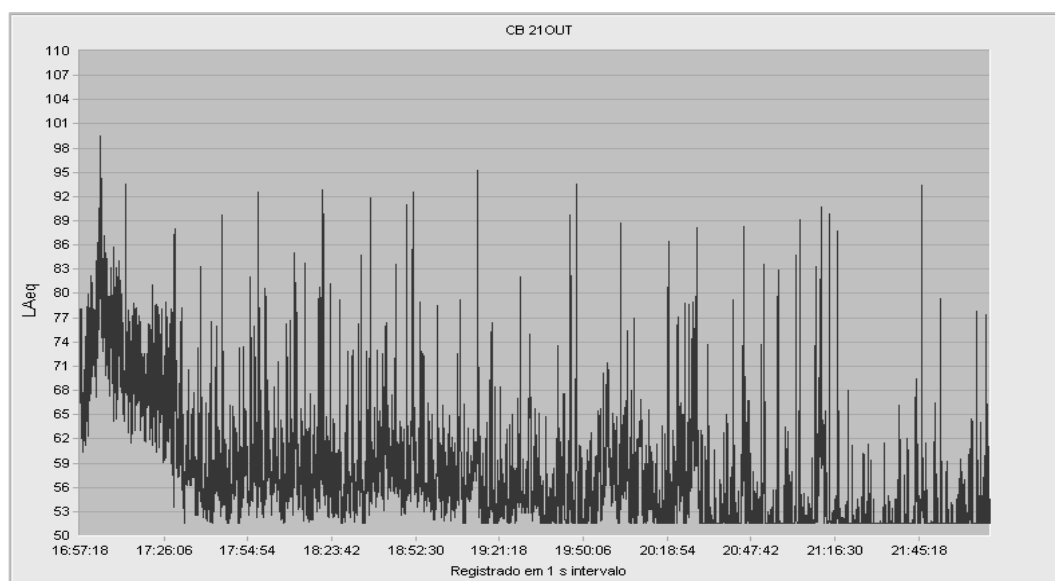


Figura 71: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola CB no turno da noite.

Analisando-se os três gráficos, pode-se perceber o destaque do ruído produzido pela passagem das aeronaves, pois são, na grande maioria das vezes, superiores a $75dB_A$ e diferem completamente do ruído de fundo típico da área.

6.4.1.2 Medições externas na escola LC

Na escola LC, o ruído de fundo medido também foi baixo, com valor máximo de $53,3 dB_A$, e o ruído da passagem das aeronaves se destaca em relação às outras fontes sonoras da área. As Figuras 72, 73 e 74 mostram o perfil gráfico de três medições, na escola LC, onde os eventos de ruído aeronáutico, originados das aeronaves de grande porte, ultrapassaram o valor de $70 dB_A$. Durante a medição noturna, foi registrada a passagem de cinco jatos da Força Aérea, que alteraram, de forma significativa, o ambiente sonoro, com níveis superiores a $90 dB_A$, conforme mostra a Figura 72.

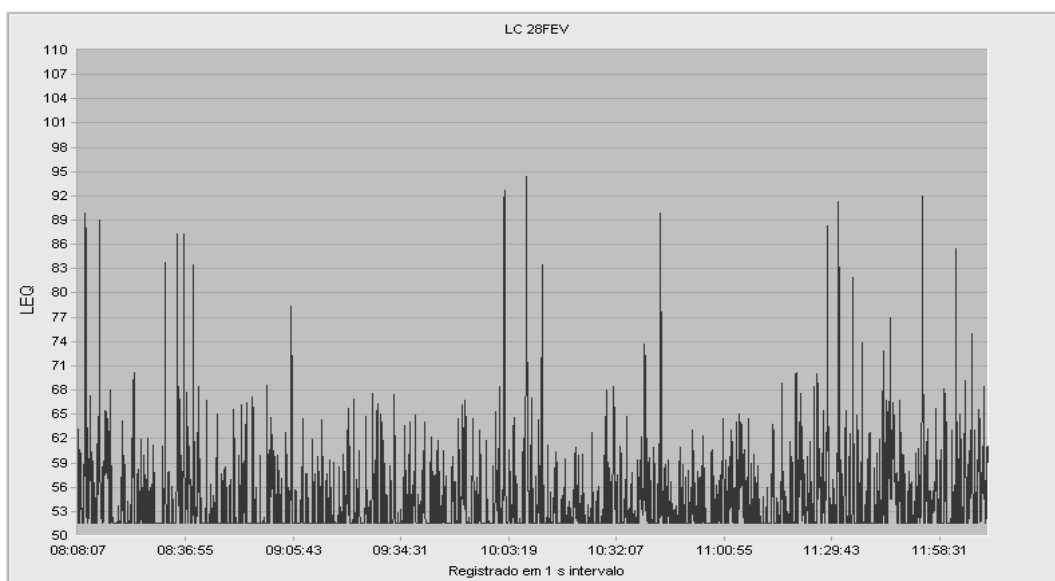


Figura 72: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola LC no turno da manhã.

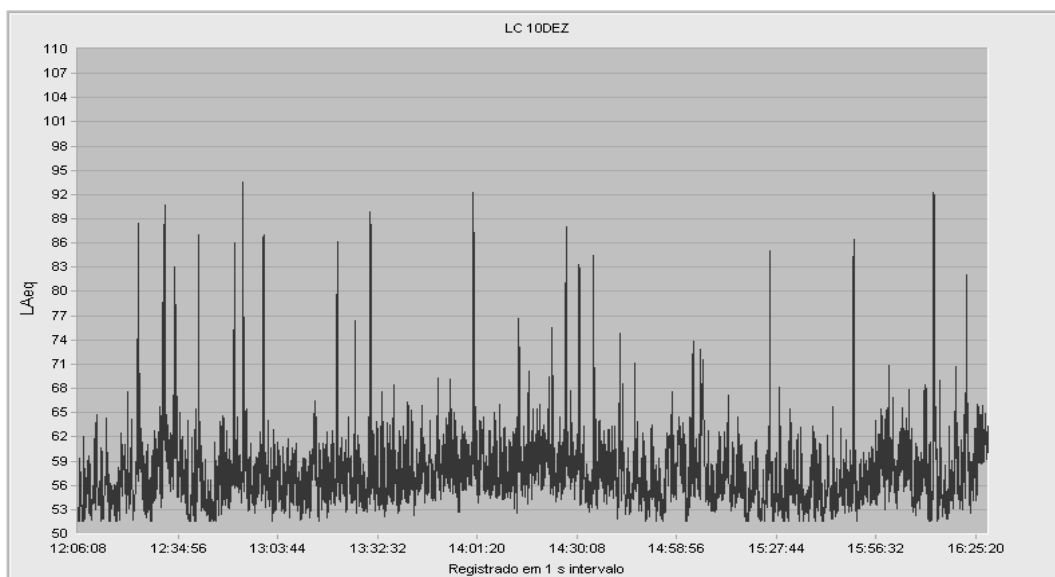


Figura 73: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola LC no turno da tarde.

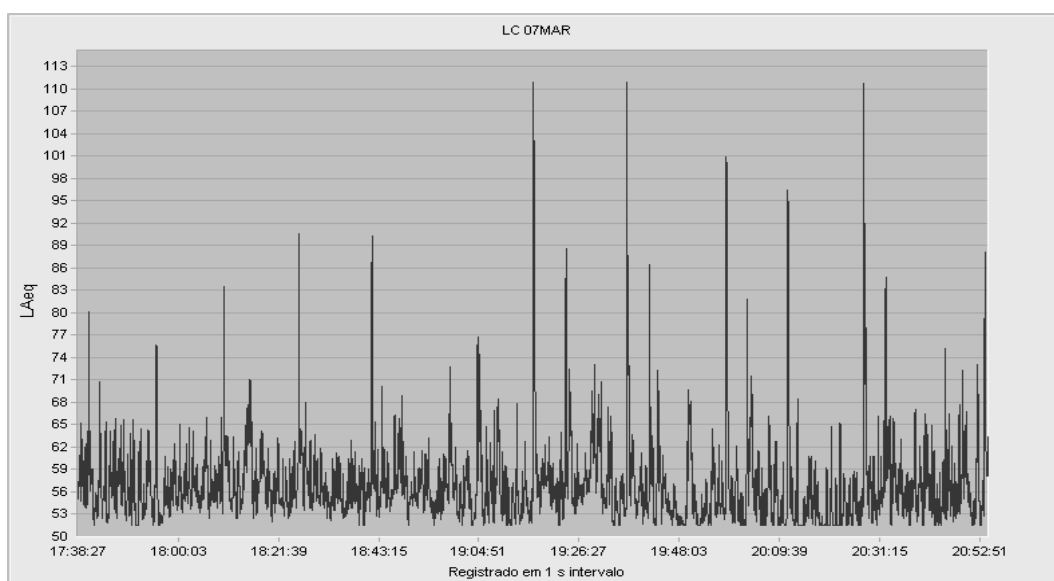


Figura 74: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola LC no turno da noite.

6.4.1.3 Medições externas no colégio CS

Durante a medição no colégio CS, no turno da manhã, ocorreram 16 eventos de ruído aeronáutico, sendo que, 8, foram devido à passagem de aeronaves de grande porte. Os eventos de ruído registrados são de difícil diferenciação mediante a leitura do gráfico, conforme a Figura 75, pois devido a ocorrência de atividade na área externa do colégio, o sobrevôo das aeronaves não foi o responsável pelos níveis de ruído mais altos. O evento de ruído aeronáutico mais ruidoso foi a passagem de um Boeing 737-300, às 8h e 55 min, enquanto que, durante a aula de educação física ocorreu o maior nível de ruído do período.

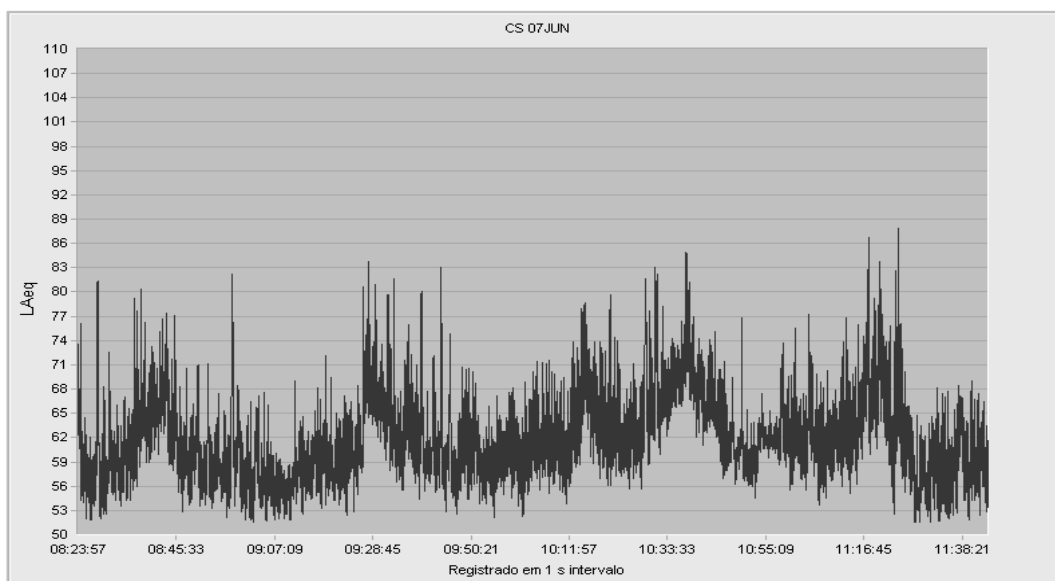


Figura 75: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola CS no turno da manhã.

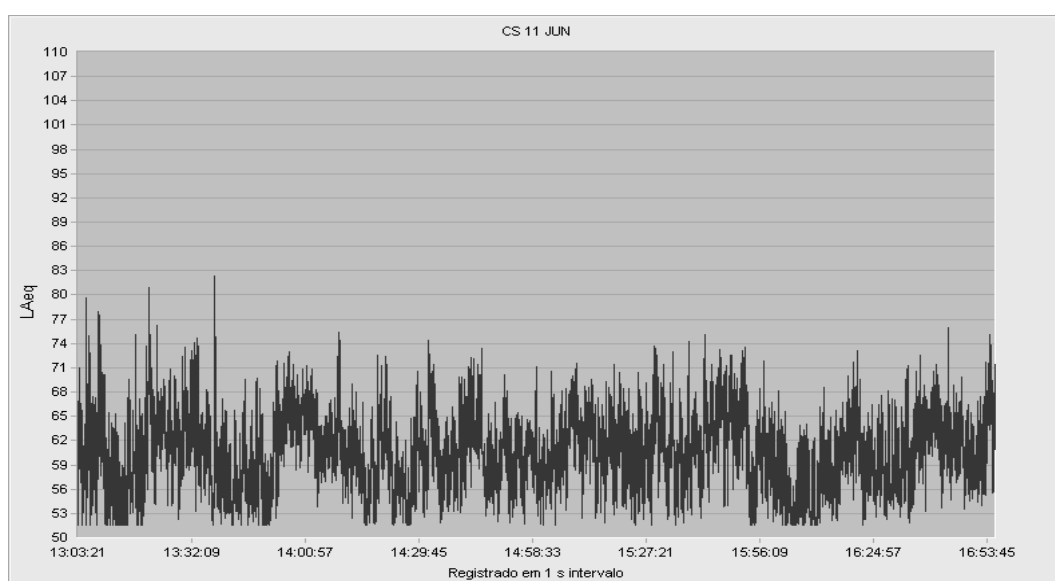


Figura 76: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola CS no turno da tarde.

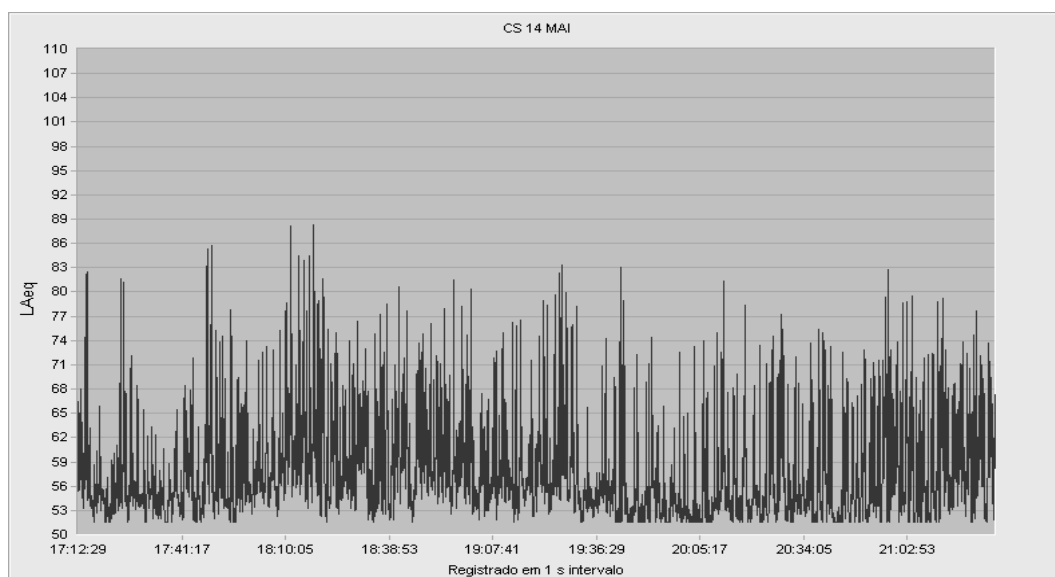


Figura 77: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na escola CS no turno da noite.

6.4.1.4 Considerações sobre as medições externas

A Tabela 53 mostra os valores das medições nas duas escolas. O ruído de fundo, no período diurno, caracterizado pelo L_{90} , apresenta-se com os valores abaixo do limite recomendado pela NBR 10151 (ABNT, 2000). Para zonas residenciais esse limite deve ser de, no máximo, 55 dB_A . Para o período noturno, a norma recomenda valores de até 45 dB_A que, segundo os valores medidos, são excedidos nas duas escolas. Os valores medidos em L_{Aeq} ficam abaixo do limite estipulado pelo *PEZR* para a Área I, de $75L_{DN}$, com exceção da medição noturna na escola LC.

De um modo geral, os níveis de ruído podem ser classificados como inadequados. Segundo a legislação municipal (PORTO ALEGRE, 1983), todo o som medido que ultrapasse em 5 dB_A o ruído de fundo será considerado incômodo e, dessa forma, desqualifica acusticamente a área para a atividade escolar.

Conforme mostra a Tabela 53, o nível de ruído medido não está relacionado, diretamente, com número total de eventos de ruído aeronáutico. O maior valor de L_{\max} registrado na escola CB, 100,4 dB_A , coincide com o maior número total de eventos. No entanto, na escola LC, o maior valor de L_{\max} , 111,6 dB_A , refere-se ao período de medição com 24 eventos, sendo apenas sete de grande porte. Cabe ressaltar que, dos 17 eventos de pequeno porte dessa mesma medição, cinco foram relativos à passagem de jatos da Força Aérea, que apresentaram os maiores valores medidos de todas as medições.

Tabela 53: resultados das medições externas.

Escola	Data	Turno	Tempo de medição (hh:mm)	L_{Aeq} L_{DN} (dB_A)	L_{\max} (dB_A)	L_{90} (dB_A)	Nº de eventos		
							GP ²⁶	PP ²⁷	Total
CB	11/out	M	03:59	66,7	99,1	51,6	5	3	8
	15/out	T	04:13	67,1	96,8	51,6	12	12	24
	21/out	N	05:12	71,4	100,4	51,6	19	17	36
LC	28/fev	M	04:03	66,1	94,8	51,6	15	02	17
	10/dez	T	04:22	66,1	94,6	53,3	17	08	25
	07/mar	N	03:16	80,3	111,6	52,2	7	17	24
CS	07/jun	M	03:20	66,2	92,9	55,4	2	4	6
	11/jun	T	03:52	63,3	84,5	54,1	3	9	12
	14/mai	N	04:14	64,1	89,9	52,1	2	16	18

Para representar o incômodo na população exposta, os níveis de ruído aeronáutico são convertidos em índices que possuem algumas diferenças entre si, principalmente nos pesos dados aos horários de operação.

Os valores estimados, apresentados nas Tabelas 54 e 55, representam diferentes níveis de incômodo.

A Tabela 54 apresenta valores para os modelos baseados no L_{Aeq} , nos quais a ponderação no cálculo do L_{DN} diferencia o período diurno do noturno e, no caso do CNEL e do L_{den} , tem-se a inclusão do período vespertino.

²⁶ GP – Aeronaves de grande porte.

²⁷ PP – Aeronaves de pequeno porte.

Tabela 54: estimativa de níveis de incômodo em L_{Aeq} , L_{DN} , CNEL e L_{den} .

	Índices							
	L_{Aeq}		L_{DN}		CNEL		L_{den}	
Movimento da aeronave	AT	DEC	AT	DEC	AT	DEC	AT	DEC
Nível sonoro estimado (dB_A)	71,82	69,01	74,05	71,51	80,13	74,45	80,13	76,21

Sendo que: *AT* são os movimentos de aterrissagem; *DEC* são os movimentos de decolagem.

A Tabela 55 apresenta a estimativa dos índices que são baseados no L_{EPN} . Os valores em WECPNL, índice adotado no Japão, podem ser comparados aos parâmetros adotados no Aeroporto de Narita, conforme mostra a Tabela 11, onde edificações, nas áreas expostas a valores entre 75 e 90 WECPNL devem ter tratamento acústico adequado.

O NEF é uma energia sonora similar ao L_{DN} e o L_{eq} , com uma aproximação que pode relacionar o valor em L_{eq} , subtraindo-se 35 dB (AUSTRÁLIA, 2000).

Tabela 55: estimativa de níveis de ruído em WECPNL e NEF.

Índice	WECPNL						NEF			
	AT			DEC			AT		DEC	
	JFMD	AMN	JJASO	JFMD	AMN	JJASO	D	N	D	N
Nível sonoro estimado (dB_A)	82,9	77,9	72,9	85,5	80,5	75,5	18,4	39,3	24,6	28,6

Sendo que: *AT* são os movimentos de aterrissagem; *DEC* são os movimentos de decolagem; *JFMD* são os meses de janeiro, fevereiro, março e dezembro; *AMN* são os meses de abril, maio e novembro; *JJAS* são os meses de junho, julho, agosto, setembro e outubro; *D* é o período diurno entre 7h e 22h; *N* é o período noturno entre 22h e 7h.

6.4.2 Medições internas

A NBR 12314 (ABNT, 1997) determina que os níveis de ruído recomendados para escolas, em ambientes de sala de aula e biblioteca, devem ser de 38 dB_A para o conforto acústico e estabelece um limite de 48 dB_A para um nível aceitável. No caso do ruído descontínuo, deve-se acrescentar 5 dB_A ao valor de L_{eq} obtido na medição.

As respostas abertas dos questionários indicaram, nas três escolas, a sala de aula como o local de maior incômodo, devido ao sobrevôo das aeronaves, e a biblioteca como o local mais silencioso. Logo, as medições foram realizadas nas bibliotecas e nas salas de aula. Em cada escola, foram escolhidas as salas de aula com maior número de paredes expostas para o exterior. A localização de cada ambiente da medição encontra-se no apêndice J.

As medições foram realizadas em um ponto de cada ambiente, nas condições de uso normais das salas, ou seja, durante o período de aula, com a presença de alunos e professores. Em todas as medições, as janelas ficaram abertas e as portas fechadas, na maior parte do tempo.²⁸ O equipamento foi localizado a 1,2m do piso, observando-se as distâncias mínimas de 1m de paredes, 1,5m de portas e janelas, e afastamento de 1,2 a 1,5m dos alunos. A localização do equipamento, dentro de cada ambiente, pode ser verificada no apêndice I.

6.4.2.1 Medições internas na escola CB

A medição na escola CB ocorreu na sala de aula da 4^a série, turma 42. A sala situa-se no segundo pavimento do bloco de salas de aula e possui três paredes, voltadas para o exterior, todas com janelas. A parede da fachada leste possui três janelas, que corresponde a 47% de sua superfície; a parede da fachada sul possui uma janela, que ocupa 18% de sua superfície; e, a oeste, encontra-se outra janela, que ocupa 21% da parede.

Durante a medição havia 23 alunos e uma professora. A medição começou com a turma em sala de aula com as atividades iniciadas, sendo que, em dois períodos, das 9h25min às 9h31min e das 10h16min às 10h35min, os alunos saíram da sala, e o ambiente ficou desocupado.

²⁸ As portas foram abertas para entrada e saída de alunos e, durante o período do recreio, ficaram fechadas.

Foram registrados 12 eventos de ruído aeronáutico, sendo oito de grande porte. Conforme o gráfico da medição, inserido na Figura 78, os eventos de ruído aeronáutico, marcados com um retângulo, não possuem um destaque marcante, comparado ao gráfico das medições externas. O nível máximo medido foi de 94,8dB_A, às 11h, ocasionado pela fala da professora, chamando a atenção dos alunos. O apêndice N mostra, com maior detalhe, a comparação do perfil gráfico da fala da professora e da passagem de um Boeing 737-700, às 11h06min, medidos dentro da mesma sala.

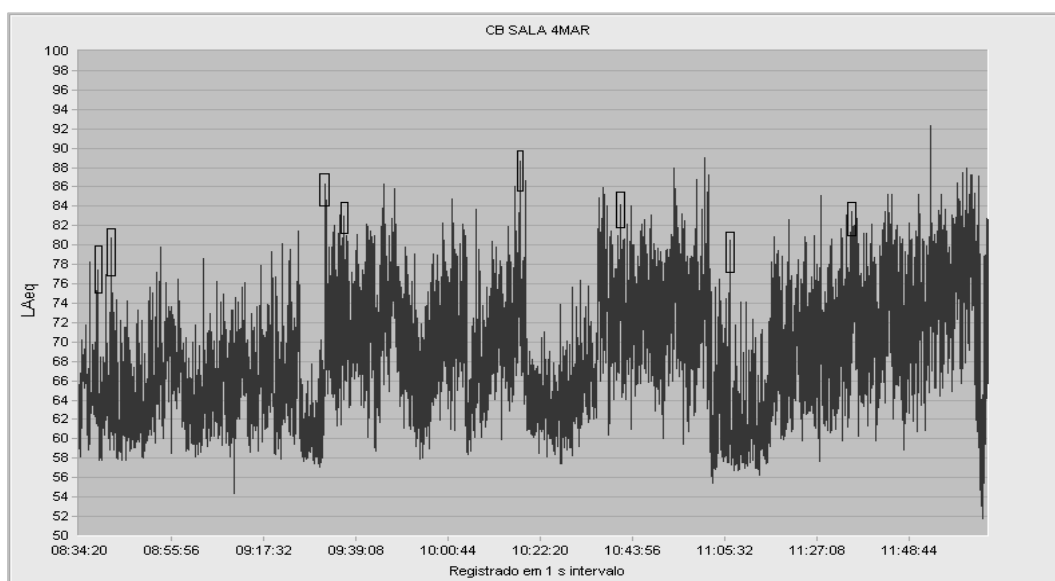


Figura 78: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na sala de aula da escola CB.

A biblioteca da escola CB fica no bloco administrativo, no pavimento térreo, e possui uma parede voltada para o exterior. A sala possui três janelas que correspondem a 47% da área da parede leste.

A medição foi realizada com a sala sem atividade dos alunos, porém, como as janelas são voltadas diretamente para o pátio, o movimento de pessoas, conversando do lado de fora, influenciaram no ambiente sonoro interno.

Foram registrados 13 sobrevôos de aeronaves, sendo nove de grande porte. O evento, não aeronáutico, de maior destaque foi o recreio, das 10h15min às 10h40min. Assim como no gráfico da medição da sala de aula, no gráfico referente à medição na biblioteca da escola CB,

Figura 79, não possibilita a identificação dos eventos de ruído aeronáutico, apenas a partir de sua visualização. Porém, durante essa medição, o evento de maior nível máximo foi a passagem de um Boeing 737-200, às 11h34min, com um valor de 85,9 dB_A.

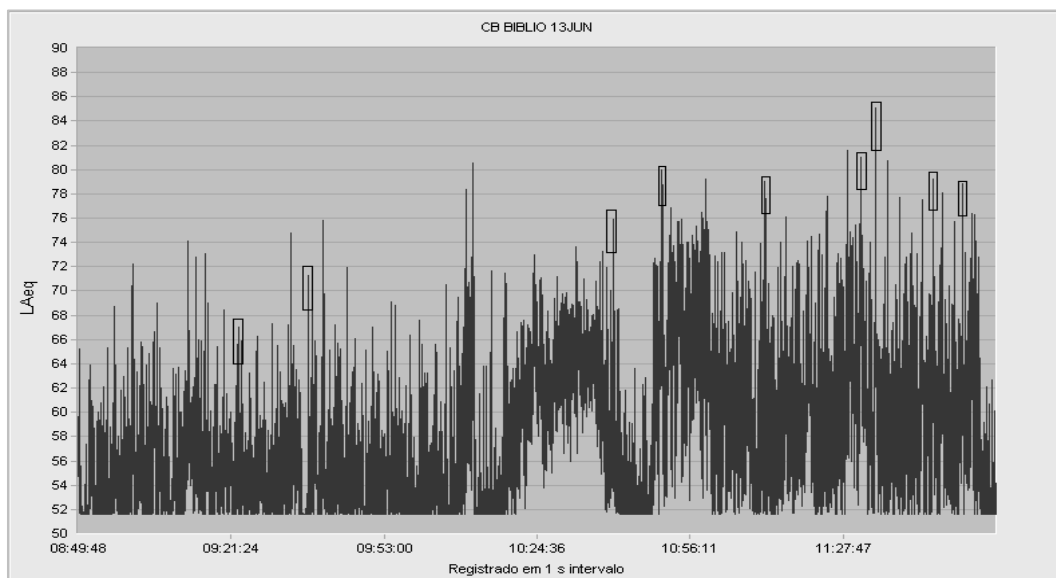


Figura 79: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na biblioteca da escola CB.

6.4.2.2 Medições internas na escola LC

Na escola LC, a medição em sala de aula foi feita numa turma de 4^a série, turma 42, que ocupa uma sala no segundo pavimento, com três paredes expostas para o exterior. A parede da fachada sul, voltada para o pátio, possui 47% de sua área destinada a janelas, a parede da fachada leste não possui aberturas, e a terceira, com 25% de sua superfície ocupada por duas janelas, é voltada para o poço de luz.

A medição na sala de aula iniciou sem a presença dos alunos, antes de começar a aula, às 13h36min. Durante a medição, estavam presentes 19 alunos e uma professora, que se ausentaram no período das 15h52min às 16h49min.

Foram registrados 19 eventos de ruído aeronáutico, com 14 aeronaves de grande porte, todos em movimento de decolagem. O maior nível máximo medido foi de 93 dB_A, ocasionado pelo sobrevôo de um Boeing 737-200, conforme mostra a Figura 80.

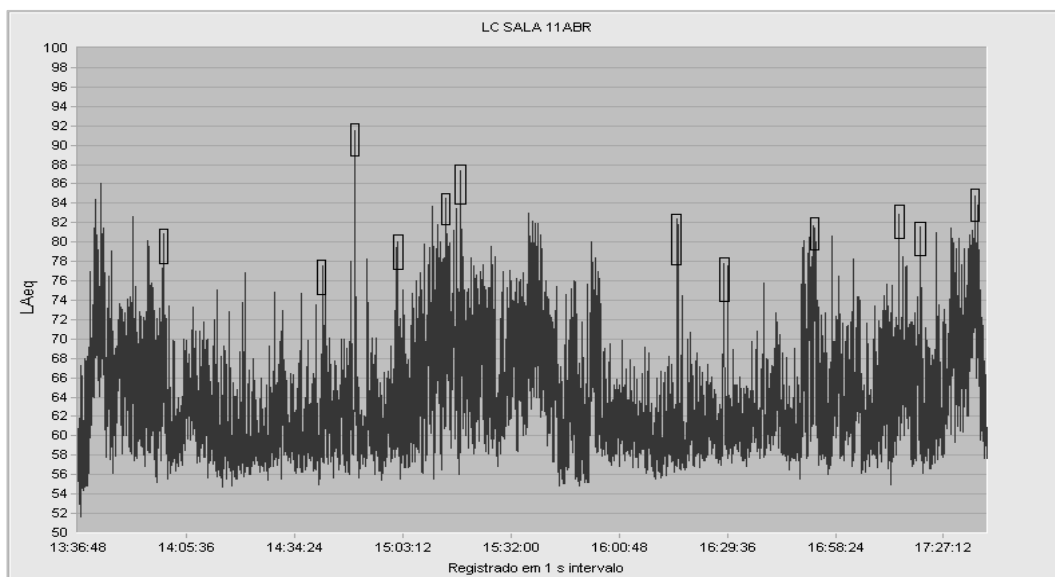


Figura 80: Gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na sala de aula da escola LC.

A biblioteca da escola LC ocupa uma das salas do pavilhão de madeira e possui uma das paredes voltadas para a quadra de esportes. A biblioteca ficou sem ocupação a maior parte do tempo, ocorrendo atividade com uma turma de alunos das 10h21min às 10h51min.

Durante a medição na biblioteca da escola LC, passaram 10 aeronaves de grande porte e três, de pequeno porte. Os eventos de ruído aeronáutico, das aeronaves de grande porte, estão assinalados com retângulos no gráfico da Figura 81. O maior nível máximo medido foi às 10h33min e foi causado pelo movimento de entrada na sala com a elevação no volume de voz por parte do grupo de alunos.

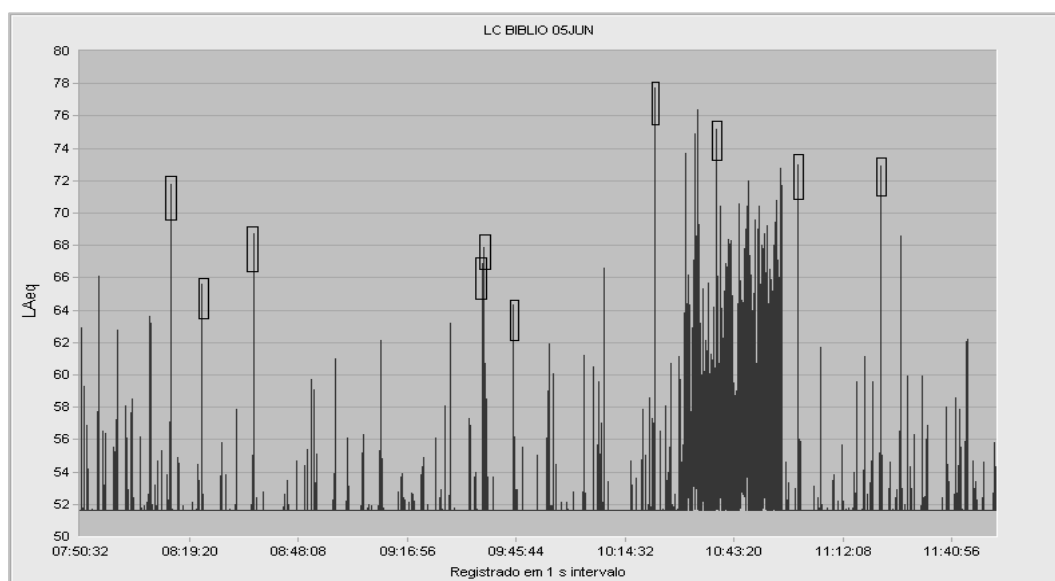


Figura 81: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na biblioteca da escola LC.

6.4.2.3 Medições internas no colégio CS

No colégio CS, a medição foi feita na sala de aula da turma 41, de 4ª série, com a presença de 19 alunos e uma professora. A sala localiza-se no bloco das salas de aula, no pavimento térreo, com duas das paredes voltadas para o exterior. A parede da fachada norte possui 53% de sua área destinada às janelas e é paralela ao muro limite do terreno. Na parede oposta, voltada para a circulação externa, está localizada a porta da sala e janelas altas que ocupam 15% da superfície do fechamento.

A medição iniciou com a sala vazia, e a entrada da turma ocorreu, apenas, às 15h7min. Entre as 15h50min e às 16h23min, a turma saiu da sala para o recreio. O nível máximo medido foi de 105dB_A, às 16h32min, enquanto os alunos cantavam. Ocorreram 13 eventos de ruído aeronáutico, 11 de grande porte, com as aeronaves em movimento de aterrissagem, conforme mostra a Figura 82.

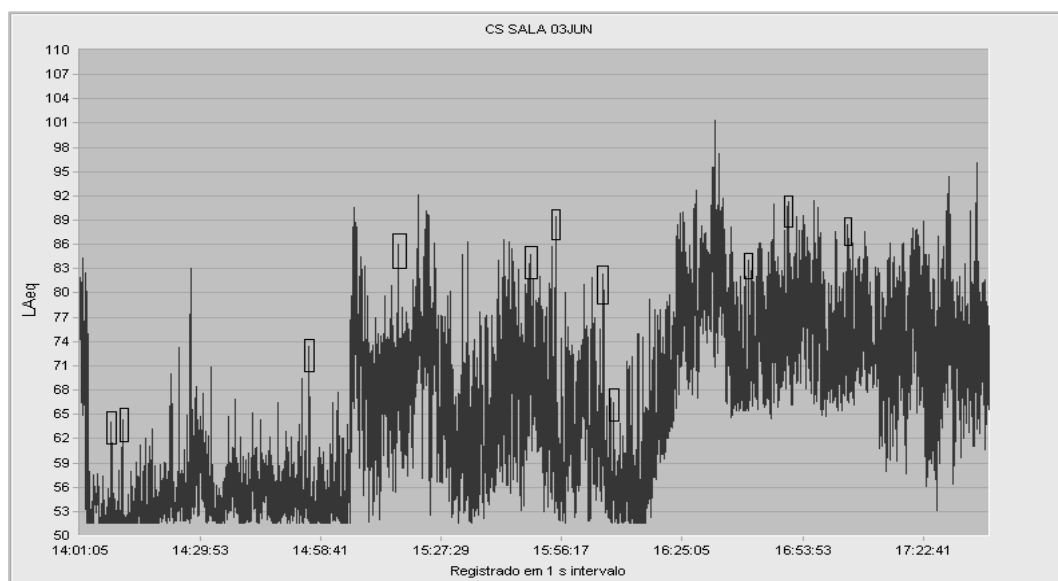


Figura 82: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na sala de aula da escola CS.

A biblioteca do colégio CS localiza-se no segundo pavimento do bloco administrativo, com três paredes expostas para o exterior. Duas das paredes possuem janelas com área envidraçada equivalente a, aproximadamente, 53% da superfície da parede.

Durante a medição, a biblioteca foi ocupada por um pequeno grupo de alunos, no período das 14h06min às 15h22min. Foram registrados oito eventos de grande porte que podem ser verificados no gráfico inserido na Figura 83, destacados por retângulos.

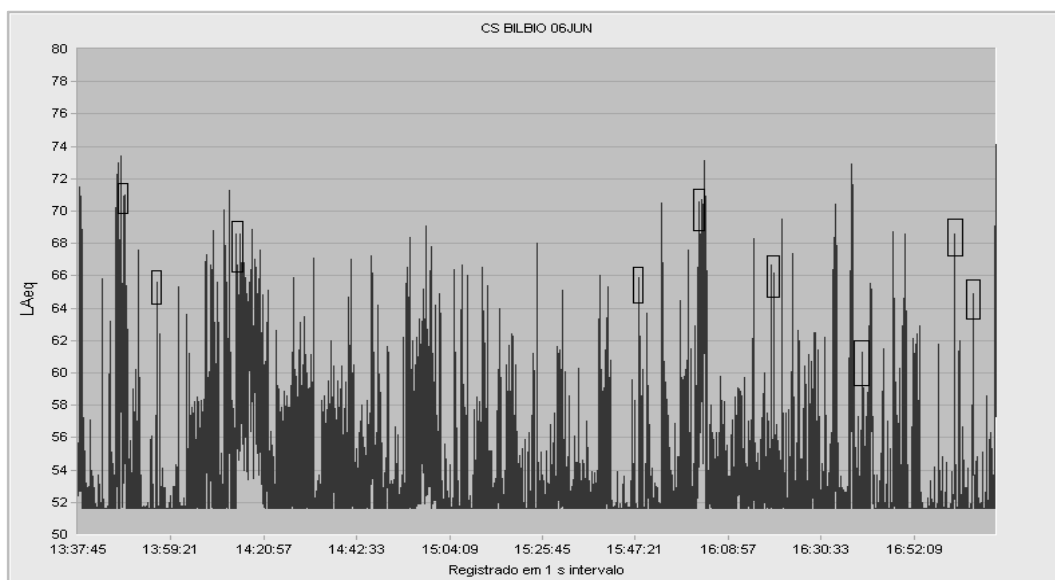


Figura 83: gráfico da medição, em $L_{Aeq,1s}$, na biblioteca da escola CS.

6.4.2.4 Considerações sobre as medições internas

As medições realizadas nas bibliotecas revelaram valores mais baixos que os encontrados nas salas de aula. A diferença dos valores, em L_{Aeq} , variou de 10,1 dB_A , na escola CB, até 20,2 dB_A , no colégio CS.

A NBR 12314 (ABNT, 1997) determina que os níveis de ruído recomendados para escolas, em ambientes de sala de aula e biblioteca, devam ser de 38 dB_A para o conforto acústico e estabelece um limite de 48 dB_A para um nível aceitável. No caso do ruído descontínuo, deve-se acrescentar 5 dB_A ao valor de L_{eq} obtido na medição. Nesse caso, os níveis de ruído, nas salas de aulas, ficaram acima de 70 dB_A .

A Tabela 56 mostra os dados das medições internas nos três estabelecimentos de ensino, onde são expostos os valores de L_{Aeq} medido (M) e calculado (C), com a adição recomendada pela NBR 12314 (ABNT, 1997).

Tabela 56: resultados das medições internas.

Escola	Local	Tempo de medição (hh:mm)	L _{Aeq}		L _{max} (dB _A)	L ₉₀ (dB _A)	L ₁₀ (dB _A)	Nº de eventos	
			M	C				GP	PP
LC	S.A.	04:02	68,4	73,4	93,0	57,6	71,7	14	05
	B	04:02	54,7	59,7	83,0	51,6	52,9	10	03
CB	S.A.	03:32	73,1	78,1	94,8	60,1	77,0	08	04
	B	03:09	63,0	68,0	85,9	51,6	66,0	09	04
CS	S.A.	03:37	76,4	81,4	105,3	52,1	79,0	11	02
	B	04:02	56,2	61,2	79,5	51,6	58,2	08	0

6.5 Análise construtiva

6.5.1 Tempo de reverberação

O tempo de reverberação foi calculado para as frequências de 500, 1000 e 2000 Hz, que correspondem às frequências predominantes da fala.

As salas de aulas possuem volumes semelhantes que variam de 105,3 m³, em LC, a 112,53 m³, em CB. As paredes internas são constituídas de tijolos à vista nas escolas CB e CS e, na escola LC, as paredes são rebocadas. Como os projetos possuem muitas características em comum, pois são padrões desenvolvidos pela Secretaria de Obras do Estado, os valores de TR são muito próximos e, por isso, indicam porcentagens de inteligibilidade também semelhantes. Os valores entre 80 e 86 na porcentagem de inteligibilidade, segundo critérios de Seep *et al.* (2000), revelam a possibilidade de que a cada 10 palavras faladas, aproximadamente, duas não são compreendidas pelo ouvinte, devido à má qualidade acústica da sala.

Os valores calculados indicam que o tempo de reverberação ultrapassa os valores recomendados por Seep *et al.* (2000), de 0,5 segundo, com exceção das bibliotecas, na frequência de 2000 Hz, que possuem melhores condições pela existência das prateleiras de livros. Com o tempo de reverberação menor, a estimativa de compreensão da fala é maior e,

nas bibliotecas, a porcentagem de inteligibilidade fica um pouco maior, entre 88 e 90%. Porém, os valores ainda são inferiores ao recomendado por Knudsen (1988), de 94%.

Tabela 57: tempo de reverberação calculado e inteligibilidade

	Salas de aula				Bibliotecas			
	500 Hz	1 kHz	2 kHz	I (%)	500 Hz	1 kHz	2 kHz	I (%)
CB	1,8 s	1,8 s	0,4 s	85,4	1,5 s	1,2 s	0,3 s	88
LC	1,9 s	2,2 s	2,0 s	84,6	1,1 s	1,0 s	0,2 s	90,5
CS	2,3 s	2,2 s	1,9 s	80,9	1,2 s	0,8 s	0,3 s	89,6

6.5.2 Isolamento dos fechamentos externos

A NBR 8572 (ABNT, 1984) estabelece os valores de redução de níveis de ruído em edificações situadas na zona II do PEZR de 60 aeroportos brasileiros e, como é proibida a existência de prédios escolares na zona I, não há um parâmetro para a redução acústica dessas edificações. As escolas, bem como outras edificações, não são objetos da norma, pois “essas construções são mais restritivas, sob o ponto de vista acústico” (ABNT, 1984). Para o Aeroporto Salgado Filho, a norma determina um nível de redução sonora de 35 a 40 dB_A. A Tabela 58 mostra o resultados dos cálculos de perda de transmissão dos fechamentos externos das salas de aula e bibliotecas das três escolas, onde, apenas na biblioteca da escola LC, que possui fechamento de madeira, a perda de transmissão é inferior a 30 dB_A. Nos outros locais, segundo o cálculo realizado, os resultados calculados, para as janelas fechadas, atenderiam à recomendação, caso as escolas se localizassem na zona II. No entanto, com as janelas abertas, o decaimento da perda de transmissão é muito grande, pois com a passagem do ar pela abertura, a perda é nula.

Para avaliar os valores de perda de transmissão, dos fechamentos externos, levou-se em consideração o nível de ruído estipulado pelo PEZR do Aeroporto Salgado Filho, de 75 L_{DN}. Dessa forma, na coluna DL_{DN} da Tabela 58, são apresentadas as diferenças entre o nível de ruído externo previsto, 75 L_{DN}, e a perda de transmissão de cada fechamento externo, com as janelas abertas e fechadas. Os valores dessa coluna representam uma estimativa do nível de ruído transmitido para o interior do fechamento que pode ser comparado com os parâmetros

da NBR 12314 (ABNT, 1997), de 48 dB_A. Segundo os cálculos realizados, os fechamentos sem aberturas, constituídos por alvenaria de tijolos maciços, com, aproximadamente, 25 cm de espessura, e concreto armado possuem um bom valor de perda de transmissão. Ressalta-se que, na escola CB e na biblioteca da escola LC, a cobertura de telha de fibrocimento e o forro de madeira são extremamente frágeis, do ponto de vista do isolamento sonoro, e por possuírem várias frestas, pode-se afirmar que os valores calculados são, até mesmo elevados, pois, segundo Gerges (2000, p. 223), a baixa perda de transmissão pode tornar um elemento “acusticamente transparente”.

Tabela 58: resultados dos cálculos de perda de transmissão dos fechamentos externos.

Escola	Ambiente	F. E. ²⁹	Área (m ²)		PT (dB _A)		DL _{DN} (dB _A)	
			Opaca	Vidro	Janelas fechadas	Janelas abertas	Janelas fechadas	Janelas abertas
CB	Sala de aula	P1	8,0	8,44	36	11	39	64
		P2	12,7	3,6	39	15	35	60
		P3	13,5	2,97	40	14	36	60
		COB	46,6	0	22	22	53	53
	Biblioteca	P1	8,0	8,43	36	11	39	64
		COB	46,6	0	22	22	53	53
LC	Sala de aula	P1	17,5	0	57	57	10	18
		P2	8,52	7,68	36	11	39	64
		P3	17,5	0	57	57	10	18
		P4	12,36	3,84	39	14	36	61
		COB	39,0	0	53	53	22	22
	Biblioteca	P3	16,88	2,88	30	15	45	60
		COB	41,0	0	22	22	53	53
CS	Sala de aula	P1	14,8	3,91	39	14	36	61
		P2	57	0	57	57	18	18
		P3	15,9	2,89	40	15	35	60
		COB	41,2	0	53	53	22	22
	Biblioteca	P1	7,9	10,79	35	10	40	65
		P3	7,9	10,79	35	10	40	65
		P4	28,8	4,24	39	14	36	36
		COB	83,1	0	53	53	22	22

²⁹ F.E. é considerado o fechamento externo em contato com o exterior que segue a convenção adotada no apêndice O.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A avaliação da qualidade acústica de ambientes, com uso consolidado ou em projeto, é uma ferramenta importante para a evolução do conhecimento. Pode-se considerar, nesse sentido que, se o ruído é uma *sensação*, a avaliação deve englobar, além dos aspectos quantitativos, a subjetividade envolvida na tradução do estímulo sonoro.

No desenvolvimento da pesquisa, que inicialmente se propunha apenas à realização de medições, verificou-se a necessidade de entender o significado das variáveis que envolvem a caracterização das zonas de ruído de aeroportos. Essas zonas são determinadas, por meio de modelos matemáticos, levando-se em consideração o movimento operacional dos aeroportos e as ponderações que buscam uma relação com as reações comunitárias. Nesse aspecto, as pesquisas sobre ruído aeronáutico possuem relativa complexidade, pois não se trata apenas de lidar com unidades físicas, quantitativas, e sim com a relação do estímulo sonoro e com a sensação do ambiente sonoro.

Os procedimentos, para o planejamento urbano ao redor de aeroportos, são estipulados seguindo critérios restritivos em relação aos usos permitidos e limites físicos para esses usos. No entanto, a dinâmica de crescimento urbano, muitas vezes, desconsidera as restrições legais e acaba caracterizando as áreas planejadas de forma diferente. As ocupações irregulares residenciais, em áreas inapropriadas nos centros urbanos, constituem um problema complexo, muitas vezes, de difícil controle.

Nesse sentido, pode ser questionada a existência de edifícios institucionais nas áreas de ruído dos aeroportos. Especificamente, no caso do Aeroporto Internacional Salgado Filho, torna-se importante entender em que condições uma escola pode se consolidar em uma área completamente inadequada. O pressuposto mais simples seria admitir que, nas zonas mais próximas aos aeroportos, não deve haver esse tipo de uso e considerar que a existência de legislação pode ser suficiente para que o problema não seja considerado.

Este trabalho buscou avaliar a percepção do ruído aeronáutico nas duas escolas situadas na zona I do PEZR do Aeroporto Internacional Salgado Filho, em Porto Alegre. Para tanto, foi feita uma abordagem, na revisão bibliográfica, que buscou identificar os fatores responsáveis

pela percepção do ruído aeronáutico, com ênfase nas atividades desenvolvidas em prédios escolares. Apesar das limitações apresentadas, algumas conclusões podem ser feitas, a partir das relações entre os resultados obtidos na aplicação dos procedimentos adotados. Nesse sentido, a adoção de vários procedimentos supriu as prováveis deficiências da adoção de um único método.

Para afirmar a hipótese de que a exposição ao ruído dos aviões nas escolas, localizadas na área I do PEZR do Aeroporto Salgado Filho, gera alterações e perturbações nas atividades escolares, foi necessário delimitar as alterações e perturbações. Neste sentido, considerou-se a alteração do uso dos espaços externos, a deficiência na comunicação dentro de sala de aula e a manifestação de insatisfação com relação ao ruído.

Neste estudo, não foram encontradas alterações nos usos dos espaços externos, especificamente as quadras esportivas. No entanto, as medições de ruído revelaram um impacto acentuado da passagem dos aviões no ambiente sonoro. Deve-se ressaltar que a passagem dos aviões da Força Aérea Brasileira, sobre o pátio da escola LC, alcançou o maior nível máximo de 111,6 dB_A. As escolas estão localizadas em áreas silenciosas, onde o impacto do ruído das aeronaves é maior do que se estivessem em áreas com ruído de fundo maior. Foram encontradas diferenças de até 59,4 dB_A, entre o ruído de fundo, L₉₀, e o nível máximo L_{max}.

Conforme a estimativa feita para outros índices de incômodo (ver tabela 38), os indicativos podem ser expressos por diferentes números, considerando os dados adotados para o Aeroporto Salgado Filho. No entanto, os dados utilizados nos cálculos não consideram as atividades desenvolvidas, a faixa etária ou o nível sócio-econômico. Sabe-se que as atividades são restringidas por leis municipais, em termos de definições de uso do solo que, para as áreas de maior nível de ruído, proibem edificações residenciais, escolares e hospitalares. Logo, para essas atividades que, no caso dessa pesquisa, encontram-se com seu uso consolidado na comunidade, o impacto sonoro pode ser considerado além dos limites numéricos.

Dentro das salas de aula, os valores obtidos nas medições foram elevados. No entanto, deve-se considerar que a principal fonte de ruído foi o comportamento dos próprios alunos. Os fatores comportamentais não são isolados, representam um contexto de inserção cultural e sócio-econômica de cada pessoa. Porém, os valores de perda de transmissão, os gráficos das medições internas e tempo de reverberação calculado revelam que as características

construtivas das edificações não impedem o aumento do estímulo sonoro. A estimativa de porcentagem de inteligibilidade, nas salas de aula, indica que 10% da comunicação verbal não é compreendida e, utilizando a mesma analogia de Seep *et al.* (2000), pode ser interpretada como a leitura de um livro que, a cada dez palavras, uma está apagada. Também podem-se relacionar os valores de inteligibilidade com a resultado dos questionários para as questões relacionadas à comunicação, pois a maioria dos alunos afirma que já deixaram de ouvir a professora. Além disso, os resultados dos questionários indicam a sala de aula como o local de maior incômodo. Para que se estabeleça a comunicação verbal é necessário que o locutor fale 10 dB_A acima do ruído do ambiente que, segundo os dados das medições internas, com níveis máximos acima de 80 dB_A, significa um esforço vocal muito grande, ou até mesmo, conforme relatado por alunos, a interrupção da aula.

A manifestação de incômodo, verificada nos resultados da análise das respostas dos questionários, foi grande nas três escolas. A análise estatística aponta que existe forte associação no incômodo manifestado nas três escolas, ou seja, o grau de incômodo é o mesmo nas escolas localizadas na zona I e no colégio localizado na zona II.

Neste estudo, verificou-se que os mais afetados pela exposição ao ruído do sobrevôo das aeronaves são os alunos na faixa etária entre 10 e 13 anos que estão em fase de alterações de aprendizado. Nessa faixa etária, ao redor dos 12 anos, as crianças sofrem alterações cognitivas e podem sentir-se mais exigidas nas atividades escolares desenvolvidas em ambientes ruidosos. Os resultados das análises também revelam que, nas escolas da zona I, os meninos manifestam maior insatisfação com o ambiente sonoro que as meninas. Pode-se afirmar, considerando uma possibilidade de erro de 5%, que o ruído aeronáutico é percebido como um fator de maior perturbação nas atividades escolares para os alunos do sexo masculino e com idade entre 10 e 13 anos.

A indicação da biblioteca, como o local mais silencioso, pode ser relacionada aos valores de tempo de reverberação mais próximos ao recomendado e ao comportamento mais silencioso dos alunos. Mesmo na escola LC, que possui os menores valores de isolamento acústico e grande diferença construtiva em relação às salas de aula, pode-se relacionar a satisfação com o ambiente sonoro ao baixo tempo de reverberação proporcionado pelas superfícies de madeira.

O incômodo manifestado, relacionado ao índice de 75 L_{DN}, que caracteriza a área como “ambiente extremamente ruidoso” (IAC, 1981), possui boa representação, no entanto, deve-se ressaltar que os números traduzem uma realidade acústica que não é respeitada nas especificações construtivas das edificações.

A partir das análises, pode-se afirmar que as escolas não são projetadas com a intenção de atender ao conforto acústico, logo, não cumprem o requisito fundamental de promover um ambiente adequado à comunicação oral.

Quando se pede aos professores que avaliem o potencial provável de uma criança numa dada matéria ou disciplina, sua resposta tende a estar relacionada com uma característica específica do comportamento da criança em sala de aula: sua disposição em concentrar-se nas tarefas que dizem respeito àquela matéria (WADSWORTH, 1997). A concentração é um bom indicador de interesse e potencial. Em média, o tempo de concentração das crianças aumenta com a idade. Wadsworth (1997) comenta que, no século XVIII, a preocupação maior era com o bem-estar físico e as chances de sobrevivência das crianças. Foi com o aumento na qualidade dos cuidados médicos e nutricionais que começou a preocupação com o bem-estar mental. As atividades de percepção/atenção levam tempo, exigem uma seleção orientada, memória e interpretação.

Acredita-se que a contribuição deste estudo pode ser apontada nos seguintes aspectos: início da discussão sobre os efeitos da exposição ao ruído aeronáutico em áreas próximas de aeroportos brasileiros, geração de dados referentes à percepção do ruído de aviões em ambiente escolar, registro dos níveis de ruído antes da ampliação da pista do Aeroporto Salgado Filho, indicação das características acústicas de ambientes escolares em função da satisfação dos alunos e identificação do grupo mais afetado pelo ruído aeronáutico.

7.1 Recomendações para futuros trabalhos

Entende-se que o prolongamento deste trabalho pode ocorrer em áreas multidisciplinares, pois a abordagem do ruído aeronáutico em escolas pode ter desdobramentos, inclusive, nas áreas da saúde e da educação.

Recomenda-se, para futuros trabalhos:

- 1) A avaliação da percepção do ruído aeronáutico, nas mesmas escolas, após a ampliação da pista do Aeroporto Salgado Filho.
- 2) O monitoramento da performance cognitiva dos alunos e do ruído do sobrevôo das aeronaves.
- 3) A avaliação do incômodo do ruído aeronáutico nas residências localizadas nas zonas de ruído.
- 4) Determinação da influência do ruído aeronáutico no nível de stress a partir de exames clínicos.
- 5) Estudo do ambiente sonoro noturno nas áreas residenciais vizinhas aos aeroportos;
- 6) Comparação dos espectros sonoros do ruído aeronáutico e do ruído de fundo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Fixação de valores de redução de nível de ruído para tratamento acústico de edificações expostas ao ruído aeronáutico.** NBR 8572. Rio de Janeiro, 1984. 8 p.

_____. **Acústica em edificações.** TB 355. Rio de Janeiro, 1989. 5 p.

_____. **Ruído Aeronáutico** – Terminologia. TB 389. Rio de Janeiro, 1990. 10 p.

_____. **Tratamento acústico de recintos fechados.** NBR 12179. Rio de Janeiro, 1992. 9 p.

_____. **Aeronáutica** – Critérios de ruído para recintos internos nas edificações submetidas ao ruído aeronáutico. NBR 12314. Rio de Janeiro, 1997. 6 p.

_____. **Acústica** – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade: procedimento. NBR 10151. Rio de Janeiro, 2000. 4 p.

ACI - **Airports Council International.** Airport Rankings 2003. ACI, 2003. Disponível em: <http://www.airports.org/cda/aci/display/main/aci_content.jsp?zn=aci&cp=1-5-54-57_9_25>. Acesso em: 6 de fevereiro de 2005.

AIRSERVICES AUSTRALIA. **The Australian Noise Exposure Forecast System and associated land use compatibility advice for areas in vicinity of airports.** Canberra: Airservices Australia, 1999. 12 p.

ALUCCI, M. P.; CARNEIRO, C. M.; BARING, J. G. A. **Implantação de conjuntos habitacionais:** recomendações para adequação climática e acústica. São Paulo: IPT, 1986. 95 p. (IPT 1729)

ALVES, Cláudio J. P. **Avaliação de impactos.** São José dos Campos: ITA, Notas de Aula. 2003.

ALVES, Cláudio J. P. **Módulo 2:** Aeronaves. São José dos Campos: ITA, Notas de Aula. 2001.

ANA - ALL NIPPON AIRWAYS CO. **Environmental Report.** Tóquio: ANA, 2004. Disponível em: <http://www.ana.co.jp/eng/aboutana/anaenvironment/4_2_tousya.html>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2004.

ANDO, Y. Differential effects of noise and music signals on the behavior of children. **Journal of Sound and Vibration.** 241 (1), 129-140. 2001.

ASHFORD, N.; STANTON, H. P. M.; MOORE, C. **Airport Operartions**. Boston: McGraw-Hill, 1997. 481 p.

AUSTRALIA. Department of Transport and Regional Services. Airports Operations. **Expanding Ways to Describe and Assess Aircraft Noise**: discussion paper. Canberra: DOTARS, 2000. 87 p.

AUSTRALIA. Department of Transport and Regional Services. **TNIP: Transparent Noise Information Package v3.6**. Canberra: DOTARS, 2005. CD-ROM.

BARING, J. G. Janelas como dispositivo isolante de ruídos. In: ABCI. **Manual Técnico de Caixilhos/Janelas**. São Paulo: Pini, 1991.

BERGLUND, B. **Aircraft noise and health**. In: The Second Airport Regions Conference *apud* PORTER, N. D.; BERRY, Bernard F.; FLINDELL, I. H. **Health effect based noise assessment methods**: a review and feasibility study. National Physical Laboratory, 1988. 69p. (NPL Report CMAM 16).

BERGLUND, B.; BERGLUND, U.; LINDVALL, T. **Scaling Loudness, Noisiness, and Annoyance of Aircraft Noise** *apud* COSTA-FÉLIX, R. P. B.; ZINDELUK, M. Principais conceitos e parâmetros em acústica subjetiva empregados na formulação de critérios de avaliação de incômodo acústico. In: *Tecni Acústica*, 1998, Lisboa. **Anais do Congresso Ibérico de Acústica – Acústica 98**. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Acústica, 1998.

BERTOLI, S. R.; KOWALTOWSKI, D. C. C.; BARROS, L. A. F. Avaliação de desempenho acústico em creches de conjunto habitacional de interesse social: o caso de projetos padrão. In: V ENCAC, 1999, Fortaleza. **Anais do V ENCAC 99**. Fortaleza: Antac, 1999.

BISTAFA, S. R.; BRADLEY, J. S. Predicting reverberation times in a simulated classroom **Journal of Acoustic Society of America**. 108 (4), 1721-1731. 2000.

BOEING COMPANY. **Charles de Gaulle Airport**. 2004a. Disponível em : <<http://www.boeing.com/commercial/noise/degaulle.html>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2005.

BOEING COMPANY. **CDG 2004 Noise Contour**. 2004b. Disponível em : <<http://www.boeing.com/commercial/noise/cdg2004contour.jpg>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2005.

BRADLEY, J. S. Acoustical design of rooms for speech. **Construction Tecnology Updates**. Ottawa: Institute for Research in Construction. 2002. n. 51.

BRASIL. Ministério da Aeronáutica. **PORTARIA N. 629/GM5 de 02 de maio de 1984**. Aprova e efetiva Planos Específicos de Zoneamento de Ruído e dá outras providências.

BRASIL. Ministério da Aeronáutica. **PORTARIA N. 1.141/GM5 de 8 de dezembro de 1987.** Dispõe sobre Zonas de Proteção e Aprova o Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos, o Plano Básico de Zoneamento de Ruído, o Plano Básico de Zona de Proteção de Helipontos e o Plano de Zona de Proteção de Auxílios à Navegação Aérea e dá outras providências.

BRASIL. Ministério da Aeronáutica. **Portaria n. 13/GM5, de 5 de Janeiro de 1994.** Estabelece e modifica normas relativas à proteção ambiental e a níveis de ruído aeronáutico no que concerne à operação de aeronaves em território nacional.

BRASIL. Ministério da Aeronáutica. **Portaria n. 717/GC-5, de 4 de novembro de 1999.** Altera a Portaria nº 13/GM5, de 5 de janeiro de 1994, que estabelece e modifica normas relativas à proteção ambiental e ao nível de ruído aeronáutico no que concerne à operação de aeronaves no território nacional.

BRASIL. Ministério Público. Notícias. Demhab define área para famílias da Vila Dique. maio 2005. Disponível em: <http://www.mp.rs.gov.br/urbanistico/noticias/id4179.htm>. Acesso em: 20 de junho de 2005.

BROADBENT, D. E. Effects of Noise on Behavior. In: HARRIS, C. M. **Handbook of Noise Control.** New York: McGraw-Hill, 1957. p. 10-1 – 10-34.

BRONZAFT, A. L. **The effect of a noise abatement program on reading ability** *apud* GIFFORD, Robert. Educacional Environmental Psychology. In: GIFFORD, R. **Environmental Psychology: principles and practice.** USA: Published by Allyne Bacon, 1998.

BRÜEL, P. V. **Sound insulation and room acoustics** *apud* MÉNDEZ, A.; STORNINI, A. Estudio para la mejora de la comunicación en aulas argentinas: cálculo del tratamiento acústico. In: V ENCAC 1999, Fortaleza. **Anais do V ENCAC 1999.** Fortaleza, Antac, 1999.

BRÜEL & KJÆR. **Environmental Noise.** Denmark: Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, 2001. 69 p.

CHICAGO. Department of Aviation. **Sound insulation your home.** Chicago: City of Chicago Department of Aviation and O'Hare Noise Compatibility Commission, 2002. 36 p.

COHEN, S.; EVANS, G. W.; KRANTZ, D. S.; STOKOLS, D. **Physiological, motivational, and cognitive effects of aircraft noise on children:** moving from the laboratory to the field. *American Psychologist.* 35 (3), p. 231-243, 1980.

COMANDO DA AERONÁUTICA. **Manual de gerenciamento do uso do solo no entorno de Aeródromos.** Rio de Janeiro: 2005. 65 p.

COMUNIDADE EUROPEIA. Parlamento Europeu e Conselho da União Europeia. **Directiva 2002/49/CE de 25 de junho de 2002**. Define a abordagem relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente.

CORREIO DO POVO. Prefeitos querem o aeroporto ampliado. Jornal Correio do Povo, Porto alegre, 21 nov. 2004. p. 5.

COSTA-FÉLIX, R. P. B.; ZINDELUK, M. Principais conceitos e parâmetros em acústica subjetiva empregados na formulação de critérios de avaliação de incômodo acústico. In: *Tecni Acústica*, 1998, Lisboa. **Anais do Congresso Ibérico de Acústica – Acústica 98**. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Acústica, 1998.

EGAN, M. D. **Architectural Acoustics**. McGraw-Hill, Inc., 1988.

ELLER, R. de A. G. **O ruído aeronáutico como fator de perda de valor dos imóveis residenciais**: o caso do Aeroporto Internacional de São Paulo. São José dos Campos, 2000. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica) – Divisão de Pós-Graduação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

ENIZ, A.; GARAVELL, S. L. Acoustic Conditions of School Classrooms in the Federal District: Background Noise and Reverberation Time. In: *Inter-noise 2005*, 2005, Rio de Janeiro. **Anais do Inter-noise 2005**. Rio de Janeiro: SOBRAC, 2005.

FAA – Federal Aviation Administration. **Integrated Noise Model**. Disponível em: <<http://www.aee.faa.gov/Noise/inm/#Previous%20INM20Version%206.0x%20Series%20Releases>>. Acesso em 22 de março de 2004.

FARINA, A. Metrologia del rumore da aeromobili, certificazione acustica e impatto sul território. **Bolletino degli Ingegneri della Toscana**, Firenze, n. 10, ano XLII, 25 p., out. 1995.

FERNANDES, A. **Impacto do Ruído de Tráfego em Edificações Escolares: Um Estudo de Caso**. Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

FIGUEIREDO FERRAZ: Consultoria e Engenharia de Projeto. **Relatório de Impacto ambiental**: Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. Rio de Janeiro: Infraero, 2004. Disponível em: <<http://www.jornaldaserra.com.br/CumbicaJS/Rimaonline/Indice1.htm>> Acesso em: 03 de maio de 2005.

FISCHER, Vera L.B. **Ambiente escolar, usuários e contexto urbano**. Porto Alegre, 2000. 209p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional) - Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FLETCHER, H.; MUNSON, W. A.. Loudness, its definition, measurement and calculation. **Journal of Acoustic Society of America** *apud* COSTA-FÉLIX, R. P. B.; ZINDELUK, M. Principais conceitos e parâmetros em acústica subjetiva empregados na formulação de critérios de avaliação de incômodo acústico. In: *Tecni Acústica*, 1998, Lisboa. **Anais do Congresso Ibérico de Acústica – Acústica 98**. Lisboa: Sociedade Portuguesa de Acústica, 1998.

FRANCO, M. A. R. **Planejamento ambiental para a cidade sustentável**. São Paulo: Annablume Editora, 2001.

GARCIA, A. ; FAUS, L. J. ; GARCIA, A. M. The community response to aircraft noise around six spanish airports. **Journal of Sound and Vibration**, 164 (1), p. 45-42, 1993.

GERGES, S. N. Y. **Ruído : fundamentos e controle**. Florianópolis : S. N. Y. Gerges, 2000. 696 p.

GIFFORD, Robert. Educacional Environmental Psychology. In: GIFFORD, R. **Environmental Psychology: principles and practice**. USA: Published by Allyn Bacon, 1998.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

GÜLLER, M.; GÜLLER, M. **Del aeropuerto a la ciudad aeropuerto**. Barcelona: Gustavo Gili, 2002. 190 p.

HAINES, M. M.; STANSFELD, S.; JOB, R. F. S.; BERGLUND, B., & HEAD, J. **Chronic noise exposure, stress responses, mental health, and cognitive performance in school children** *apud* BOMAN, E.; ENMARKER, I. Factors affecting pupils' noise annoyance in schools: the building and testing of models. **Environment and Behavior**. 36 (2), 207-228. 2004.

HAMBRICK-DIXON, P. J. **Effects of experimentally imposed noise on task performance of black children attending day care centers near elevated subway trains** *apud* MAXWELL, L. E.; EVANS, G. W. The effects of noise on pre-school children's pre-reading skills. **Journal of Environmental Psychology**. 20, 91-97, 2000.

HANS, R. F. **Avaliação de ruído em escola**. Porto Alegre: UFRGS, 2000. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

HEFT, H. **Background and focal environmental conditions of the home and attention in young children** *apud* MAXWELL, L. E.; EVANS, G. W. The effects of noise on pre-school children's pre-reading skills. **Journal of Environmental Psychology**. 20, 91-97, 2000.

HORONJEFF, R.; McKELVEY, F. **Planning and design of airports** *apud* ALVES, Cláudio J. P. **Avaliação de impactos**. São José dos Campos: ITA, Notas de Aula. 2003.

IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Instrução Profissional. **Planejamento urbano no entorno de aeroportos**. Rio de Janeiro: Ministério da Aeronáutica – IAC, 1998 (Apostila do Curso). 17v.

IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Relacionamento Urbano. **Métodos de avaliação dos níveis de ruído e de incômodo gerados pela operação de aeronaves em aeroportos**. Rio de Janeiro: Ministério da Aeronáutica – IAC, 1981. 107 p. (Boletim Técnico – IAC 4102-0581).

IAC – Instituto de Aviação Civil. Laboratório de Ruídos. **PEZR do Aeroporto Internacional Salgado Filho para o ano de 2004**. Rio de Janeiro, 2004. Trabalho não publicado.

ICAO – International Civil Aviation Organization. Committee on Aviation Environmental Protection. **Environmental technical manual on the use of procedures in the noise certification of aircraft**. Montreal: ICAO, 2000. 117 p.

ICAO – International Civil Aviation Organization. **Environmental protection**. 3 ed. ICAO: Montreal, 1993. 118 p. Anexo 16. Volume I: Aircraft noise.

ICSA – International Coalition for Sustainable Aviation. **Reduction of aircraft noise** : working paper apresentado ao ICAO Assembly 33RD session. Montreal. 2001.

IEH - Institute for Environment and Health. 1997. **Workshop on non-auditory health effects of noise** *apud* PORTER, N. D.; BERRY, Bernard F.; FLINDELL, I. H. **Health effect based noise assessment methods: a review and feasibility study**. National Physical Laboratory, 1988. 69p. (NPL Report CMAM 16).

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. **A política ambiental da Infraero**. Brasília: Ministério da Aeronáutica, 2002. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br>> Acesso em: 8 de fevereiro de 2004.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. **A política ambiental da Infraero**. Brasília: Ministério da Aeronáutica, 2003. Disponível em: <http://www.infraero.gov.br/aero_prev_movi.php?ai=37> Acesso em: 5 de fevereiro de 2005.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. **Boletim de horários previstos**: movimento aeroportuário do Aeroporto Internacional Salgado Filho: chegadas e partidas. Porto Alegre: Infraero. mai. jul. nov. dez., 2004.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária. **Boletim de horários previstos**: movimento aeroportuário do Aeroporto Internacional Salgado Filho: chegadas e partidas. Porto Alegre: Infraero. ago., 2005.

ISO – International Organization for Standardization. **Acoustics**: procedure for describing aircraft noise heard on the ground, ISO 3891. Switzerland, 1978. 24 p.

ISO – International Organization for Standardization. **Acoustics: normal equal-loudness level contours**, ISO 226. Switzerland, 1987.

JIGGINS, Mark; BERRY, Bernard F, *et al.* **Aircraft noise and sleep**. London: Department of the Environment and Transport, 1999. 164p. (Consultancy Report Ref: 6131 R01).

JIGGINS, Mark; BERRY, Bernard F. **Aircraft noise at school and children's cognitive performance and stress responses: the west London schools study**. National Physical Laboratory, 2001. 46p. (Aircraft Noise Measurements and Personal Dosimetry, NPL Report CMAM 68).

KINSLER, L. E.; FREY, A. R.; COPPENS, A. B.; SANDERS, J. V. **Fundamentals of acoustics**. New York: John Wiley & Sons, 1982.

KNIPPLING, Geraldo W. **Falando de avião: o que os passageiros não sabiam...e continuam não sabendo**. Porto Alegre: Edição do autor, 1998.

KNIPSCHILD, P.; OUDSHOORN, N. **Medical effects of aircraft noise: drug survey** *apud* MUZET, A. **Aircraft noise and sleep**. Bonn: WHO, 2001. 54 p. (Technical meeting on aircraft noise and health - Regional office for Europe)

KNUDSEN, V. O. **Architectural acoustics**. London: Chapman & Hall Limited, 1986. 617 p.

KNUDSEN, V. O.; HARRIS, C. M. **Acoustical Design in Architecture**. New York: J. Willey, 1988. 457 p.

LAY, M.C.D.; REIS, A.T. **Métodos e técnicas para levantamentos de campo e análise de dados: questões gerais**. In: WORKSHOP AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO, 1994, São Paulo. Anais... São Paulo: ANTAC/NUTAU, 1994. 96 p. 28-49.

LIMA, M. S. **Arquitetura e educação**. São Paulo: Nobel, 1992.

LOSSO, M. A. F. **Qualidade acústica de edificações escolares em Santa Catarina: avaliação e elaboração de diretrizes para projeto de implantação**. Florianópolis: UFSC, 2003. 168f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina.

MAIA, M. A. L. **Contribuição do mapeamento do ruído urbanos na cidade de Porto Alegre**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 146 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. **Técnicas de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1999.

MATOS, J. B. M. Conforto ambiental no Centro de tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria. In: 18º Encontro da SOBRAC, Florianópolis. **Anais do 18º Encontro da SOBRAC**. Florianópolis, SOBRAC, 1998 p. 487-490.

MATSUI, T.; UEHARA, T.; MIYAKITA, T.; HIRAMATSU, K.; OSADA, Y.; YAMAMOTO, T. The Okinawa study: effects of chronic aircraft noise on blood pressure and some other physiological indices. **Journal of Sound and Vibration**. 277, 469-470, 2004.

MATTAR, F. N. **Pesquisa em Marketing**. São Paulo: Atlas, 1998. 2v.

MAXWELL, L. E.; EVANS, G. W. The effects of noise on pre-school children's pre-reading skills. **Journal of Environmental Psychology**. 20, 91-97, 2000.

MÉNDEZ, A.; STORNINI, A. Estudio para la mejora de la comunicación en aulas argentinas: cálculo del tratamiento acústico. In: V ENCAC 1999, Fortaleza. **Anais do V ENCAC 1999**. Fortaleza, Antac, 1999.

MUZET, A. **Aircraft noise and sleep**. Bonn: WHO, 2001. 54 p. (Technical meeting on aircraft noise and health - Regional office for Europe)

MUNSON, W. A.; BELL TELEPHONE LABORATORIES. The loudness of sounds. In: HARRIS, C. M. **Handbook of Noise Control**. New York: McGraw-Hill, 1957. p. 5-1 – 5-22.

NAA – Narita Airport Authority. **Annual Report 2003/2004**. Tóquio: NAA, 2004a. 37p.

NAA – Narita Airport Authority. **Environmental Report 2003**. Tóquio: NAA, 2004b. v. 8, 38p.

NELSON, P. M. **Transportation noise reference book** *apud* PORTER, N. D.; BERRY, Bernard F.; FLINDELL, I. H. **Health effect based noise assessment methods: a review and feasibility study**. National Physical Laboratory, 1988. 69p. (NPL Report CMAM 16).

NETHERLANDS - Health Council: Committee on a Uniform environmental noise exposure metric. **Assessing noise exposure for public health purposes** *apud* PORTER, N. D.; BERRY, Bernard F.; FLINDELL, I. H. **Health effect based noise assessment methods: a review and feasibility study**. National Physical Laboratory, 1988. 69p. (NPL Report CMAM 16).

O'HARE INTERNATIONAL AIRPORT. **Noise monitor locations**. Chicago: Chicago Airport System, 2001. Disponível em: <http://www.boeing.com/commercial/noise/ohare.html>> Acesso em: 10 de janeiro de 2005.

O'HARE INTERNATIONAL AIRPORT. **O'Hare School Sound Insulation Program**. Chicago: Chicago Airport System, 2004. Disponível em: http://www.ohare.com/cnrc/ohare/o_noise_school.shtm > Acesso em: 6 de fevereiro de 2005.

OITICICA, M. L.; ALVINO, I. L.; SILVA, L. B. The interference of intrusive external noise and the need for appropriate legislation and decrees to promote acoustical quality in school. In: Inter-noise 2005, 2005, Rio de Janeiro. **Anais do Inter-noise 2005**. Rio de Janeiro: SOBRAC, 2005.

PAIXÃO, D.X. **Análise das condições acústicas em sala de aula**. Santa Maria: UFSM, 1997. 208f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Federal de Santa Maria, 1997.

PARKIN, P. H.; HUMPHREYS, H. R. **Acoustics Noise and Buildings**. London: Faber and Faber, 1971. 331 p.

PAVLICK, I.; HICKEL, H.; ALBANO, M. T. **Corredor de desenvolvimento**. Disponível em: <<http://www.pmpa.gov.br>> Acesso em: 5 de agosto de 2005.

PAYNE, R. C. **The effect on the measurement of aircraft noise of reflections from ground**. National Physical Laboratory, 1982. 33p. (Acoustics Report, NPL Report AC 102).

PEDRAZZI, T.; ENGEL, D.; KRÜGER, E.; ZANIN, P. H. T. Avaliação do desempenho acústico em salas de aula do CEFET-PR. In: VI ENCAC 2001, São Pedro. **Anais do VI ENCAC 2001**. São Pedro, Antac, 2001.

PEREIRA FILHO, A. J. O aeroporto e o meio ambiente. In: III Encontro Ibero-Americano de Unidades Ambientais do Setor Transportes, 1998. Disponível em: <<http://www.reder7.der.sc.gov.br/der-site/noticias/anais/iiiencontro/convidados/C5/principal.htm>> Acesso em: 14 de fevereiro de 2004.

PERNET, D. F. **A review of aircraft noise propagation**. National Physical Laboratory, 1979. 67p. (Acoustics Report, NPL Report AC 92).

PAVLICK, I.; HICKEL, H.; ALBANO, M. T. **Corredor de desenvolvimento**. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/spm/default.php?reg=5&p_secao=46> Acesso em: 5 de agosto de 2005.

PORTER, N. D.; BERRY, Bernard F.; FLINDELL, I. H. **Health effect based noise assessment methods: a review and feasibility study**. National Physical Laboratory, 1988. 69p. (NPL Report CMAM 16).

PORTO ALEGRE. **Imagens de satélite da cidade de Porto Alegre**. Porto Alegre: PMPA, 2001.

PORTO ALEGRE. Secretaria Municipal do Meio Ambiente. **Decreto nº 8.185, de 7 de março de 1983**. Regulamenta a Lei Complementar nº 65, de 22.12.81, estabelece padrões de emissão e imissão de ruídos e vibrações, bem como outros condicionantes ambientais e dá outras providências.

PORTO ALEGRE. Secretaria do Planejamento Municipal. **Lei Complementar n. 434, de 1º de dezembro de 1999**. Dispõe sobre o desenvolvimento urbano no Município de Porto Alegre, institui o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre e dá outras providências.

PORTO ALEGRE. Secretaria Municipal de Educação e Cultura. **Projeto Arquitetônico da Unidade de Ensino Arthur da Costa e Silva**. Porto Alegre: SMEC, 1979.

POWEL, C. A. **Relationship between aircraft noise contour area and noise levels at certification points**. NASA - National Aeronautics and Space Administration, 2003. 38 p. (NASA Scientific and Technical Information Program Office, NASA/TM-2003-212649).

PUJOLLE, Jean. **La pratique de l'isolation acoustique des batiments**. Paris : Moniteur, 1978. p. 74-80.

RICHARDSON, E. G. **Technical Aspects of Sound** apud MÉNDEZ, A.; STORNINI, A. Estudio para la mejora de la comunicacón en aulas argentinas: cálculo del tratamiento acústico. In: V ENCAC 1999, Fortaleza. **Anais do V ENCAC 1999**. Fortaleza, Antac, 1999.

RIO GRANDE DO SUL. Constituição, 1989. **Constituição do Estado do Rio Grande do Sul**: promulgada em 3 de outubro de 1989. Organização do texto: Maria Helena Bueno Gargioni. 8.ed. Porto Alegre: CORAG, 2000. 166p.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Interior, Desenvolvimento Regional e Obras Públicas. **Projeto Arquitetônico da Escola Estadual Carlos Barbosa Gonçalves**. Porto Alegre: SDO, 1988.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Interior e Obras Públicas. **Projeto Arquitetônico da Escola Estadual de 1º Grau Lions Club Porto Alegre Farrapos**. Porto Alegre: SDO, 1989.

ROTT, J. A. A. **Mapa simplificado de ruído para a cidade de Porto Alegre**. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

ROSENBLIT; STEVENS. **Handbook of acoustic noise control**. apud IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Relacionamento Urbano. **Métodos de avaliação dos níveis de ruído e de incômodo gerados pela operação de aeronaves em aeroportos**. Rio de Janeiro: Ministério da Aeronáutica – IAC, 1981. 107 p. (Boletim Técnico – IAC 4102-0581).

ROSENBLIT ; STEVENS. **A community's reactions to noise – can it be forecasted?** apud IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Relacionamento Urbano. **Métodos de avaliação dos níveis de ruído e de incômodo gerados pela operação de aeronaves em aeroportos**. Rio de Janeiro: Ministério da Aeronáutica – IAC, 1981. 107 p. (Boletim Técnico – IAC 4102-0581).

SANCHO, V.; SENCHERMES, A. G. **Curso de acústica em arquitectura**. Madrid: Colégio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1982. 215 p.

SANTOS, Maria J. O. **Ruído no ambiente escolar: causas e conseqüências**. Rio de Janeiro, 1993. 205f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SANTOS, U. P. **Ruído: riscos e prevenção**. São Paulo: Hucitec, 1999. 157 p.

SARAIVA, A. E. **Apreciação das características acústicas de locais destinados à educação física**. Lisboa: Ministério da Educação e Cultura – Direcção-Geral dos Desportos: 1987. 51 p. (Coleção Desporto e Sociedade – Antologia de Textos, n. 50).

SCHERER, Minéia J.; SANTOS, Jorge Luiz Pizzutti. Estudo do isolamento sonoro de vidros de diferentes tipos e espessuras, ensaiados individualmente e formando vitragem dupla. In: VIII ENCAC, 2005, Maceió. **Anais do VIII ENCAC e IV ENLAC**. Maceió: Antac, 2005.

SEEP, B.; GLOSEMEYER, R.; HULCE, E.; LINN, M.; AYTAR, P. **Classroom Acoustics Booklet**. New York: Acoustical Society of America, 2000.

SHORT, J. **Conferencia Europea de Ministros de Transporte**. In: GÜLLER, M.; GÜLLER, M. **Del aeropuerto a la ciudad aeropuerto**. Barcelona: Gustavo Gili, 2002.

SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica para as ciências do comportamento**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1977.

STEVENS ; PIETRASANTA. **Procedures for estimating noise exposure and resulting community reactions from Air Base operations** *apud* IAC – Instituto de Aviação Civil. Divisão de Relacionamento Urbano. **Métodos de avaliação dos níveis de ruído e de incômodo gerados pela operação de aeronaves em aeroportos**. Rio de Janeiro: Ministério da Aeronáutica – IAC, 1981. 107 p. (Boletim Técnico – IAC 4102-0581).

SZOKOLAY, S. V. **Environmental Science Handbook**. The Construction Press. Lancaster, 1980.

TARNOPOLSKY, A.; WATKINS, G.; HAND, D. J. **Aircraft noise and mental health: prevalence of individual symptoms** *apud* MUZET, A. **Aircraft noise and sleep**. Bonn: WHO, 2001. 54 p. (Technical meeting on aircraft noise and health - Regional office for Europe)

TAVARES, M. D.; CLÍMACO, R. S. C. Análise do conforto sonoro em escolas do distrito federal. In: V ENCAC, 1999, Fortaleza. **Anais do V ENCAC 99**. Fortaleza: Antac, 1999.

TRANI, Antonio A. **INM: Integrated Noise Model Basics**. University of Virginia, School of Engineering and Applied Science, Department of Civil Engineering. Notas de Aula da Disciplina CEE 4674 - Airport Planning and Design. 2003.

UBER, Lílian L. **A climatologia aplicada ao ambiente construído**: uma contribuição à caracterização climática de Porto Alegre. Porto Alegre, 1992. 131. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

US Department of Transportation. **Transportation – Related Noise in the United States**. A1F04: Committee on Transportation-Related Noise and Vibration *apud* ELLER, R. de A. G. **O ruído aeronáutico como fator de perda de valor dos imóveis residenciais**: o caso do Aeroporto Internacional de São Paulo. São José dos Campos, 2000. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica) – Divisão de Pós-Graduação do Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

USA. Federal Aviation Administration – Department of Transports. Aeronautics and space, vol. 1, cap. 1, parte 150. **Airport Noise Compatibility Planning**. Electronic Code of Federal Regulations. Disponível em: <<http://ecfr.gpoaccess.gov/cgi/t/text/text-idx?c=ecfr&sid=6ee38...>> Acesso em: 26 de fevereiro de 2004.

VALLET, Michel. **Caractéristiques et indicateurs de la gêne due au bruit des avions**. Synthèse INRET n° 29 de junho de 1996. Disponível em: <<http://www.ufcna.com/mesurebruit1.html>> Acesso em: 08 de fevereiro de 2004.

VALLET, Michel. Les reglementations recentes sur le bruit des avions. In: Congresso Ibérico de Acústica – TECNIACÚSTICA 99, 1999, Ávila. **Anais...** Ávila: Sociedade Portuguesa de Acústica, 1999.

VALLET, M.; BRUYERE, Jean-Claude; LASSAGNE, L.; YOMBO, N’dogbia. Community noise around Lyon Saint-Exupéry airport: monitoring and control 2000-2004. In: Inter-noise 2005, 2005, Rio de Janeiro. **Anais do Inter-noise 2005**. Rio de Janeiro: SOBRAC, 2005.

VERÍSSIMO, F. S.; BITTAR, W. S. M.; ALVAREZ, J. M. S. A. **Vida urbana**: a evolução do cotidiano da cidade brasileira. Rio de Janeiro: Ediouro, 2001.

VINCENT, B.; VALLET, M.; OLIVIER, D.; PAQUE, G. Evaluation of variations of the annoyance due to aircraft noise. In: The 29th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, 2000, Nice. **Inter-noise 2000**. Nice: SFA.

WADSWORTH, Barry J. **Inteligência e afetividade da criança na teoria de Piaget**: fundamentos do construtivismo. São Paulo: Thomson, 1997. 223 p.

WALLIS, Allan D. Airport noise monitoring: a review. **Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal**, Emerald Group Publishing Limited, Volume 69, n. 2, p. 112-118, 2002.

WOOD, David. **Como as crianças pensam e aprendem**. São Paulo: Martins Fontes, 1996.

WHO – World Health Organization – European Center for Environment and Health. Bonn Office. **Technical meeting on aircraft noise and health**. Bonn, 2001. Relatório.

WHO. **Environmental Health Criteria 12 – Noise** *apud* PORTER, N. D.; BERRY, Bernard F.; FLINDELL, I. H. **Health effect based noise assessment methods**: a review and feasibility study. National Physical Laboratory, 1988. 69p. (NPL Report CMAM 16).

YIN, R. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2005.

GLOSSÁRIO

ACI: Conselho Internacional dos Aeroportos que reúne as principais companhias administradoras de aeroportos. (ACI, 2005)

Absorção sonora: Dissipação, condução e transmissão da energia sonora nas mudanças de meio de propagação, ou simplesmente dissipação desta energia em um meio homogêneo e isotrópico. (ABNT, 1989)

Coefficiente de absorção sonora: Razão entre a quantidade de energia sonora que um determinado elemento absorve, quando exposto a um som ou ruído, e a quantidade de energia sonora total que incide sobre ele.

Coefficiente médio de absorção sonora: Quociente de absorção sonora total de um recinto pela área de suas superfícies internas.

Densidade superficial: Massa por unidade de área de uma partição.

FAA: Administração Federal da Aviação, órgão regulamentador do Estados Unidos. (FAA, 2004)

ICAO: Organização da Aviação Civil Internacional, com sede em Montreal, congrega mais de 150 países, onde se discutem e fixam regulamentos do transporte aéreo internacional. (ICAO, 2000)

Incômodo: uma sensação de desagrado provocada pelo ruído e qualquer sensação de ressentimento, desagrado, desconforto e irritação ocorrida quando o ruído altera o pensamento ou humor de alguém ou interfere em uma atividade. (WHO *apud* PORTER ET ALL, 1988)

Infraero: empresa pública brasileira, vinculada ao Ministério da Defesa, administra 66 aeroportos, 81 unidades de apoio à navegação aérea e 32 terminais de logística de carga. (INFRAERO, 2002)

Inteligibilidade: Porcentagem das seqüências sonoras emitidas por uma fonte e captadas corretamente por um ouvinte. (ABNT, 1989)

Nível de incômodo sonoro: níveis de ruído acumulativo, em desacordo com padrões preestabelecidos. (ABNT, 1990)

Plano de zoneamento de ruído: documento normativo do Ministério da Aeronáutica, composto pelas curvas de nível de ruído 1 e 2, e pelas restrições de uso do solo nas áreas definidas por essas curvas. (ABNT, 1990)

Ruído: som indesejado. (ABNT, 1990)

Ruído aéreo: ruído produzido e transmitido através do ar. (ABNT, 1989)

Ruído aeronáutico: efeito sonoro produzido pelas aeronaves, durante suas operações no ar ou solo. (ABNT, 1990)

Ruído ambiente: som global em um dado ambiente e período de tempo. Usualmente é composto por sons de muitas fontes, próximas e distantes. (ABNT, 1990)

Ruído contínuo: ruído que no intervalo de tempo considerado apresenta variação inferior ou igual a 6dB. (ABNT, 1990)

Ruído descontínuo: ruído que no intervalo de tempo considerado apresenta variação superior ou igual a 6dB. (ABNT, 1990)

Ruído de fundo: ruído provocado por todas as fontes exceto aquela em estudo. (ABNT, 1990)

Ruído de impacto: aquele que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a 1 segundo. (ABNT, 1990)

Tempo de reverberação: tempo necessário para que um som deixe de ser ouvido, após a extinção da fonte sonora, e expresso em segundos. É o tempo necessário para que o som sofra um decréscimo de 60 dB. (ABNT, 1989)

Tempo de reverberação ótimo: tempo de reverberação considerado ideal para uma determinada atividade em um determinado ambiente. (ABNT, 1989)

Zoneamento de ruído: indicação das atividades compatíveis com os níveis de incômodo sonoro, nas áreas abrangidas pelos planos de zoneamento de ruído em um aeroporto. (ABNT, 1990)

APÊNDICE A – Roteiro da entrevista com os diretores

- 1) É observada alguma relação entre as atividades desenvolvidas na Escola e o ruído da passagem dos aviões? Em caso afirmativo, há algum impedimento de atividade relacionada ao ruído?
- 2) Quais as áreas ou setores onde o ruído gera maior ou menor incômodo?
- 3) Existe uma distinção entre grupos de pessoas que menos toleram o ruído? (professores, alguma faixa etária de alunos)
- 4) Qual sua carga horária semanal nessa Escola?
- 5) Você leciona em outra escola da rede Estadual? Qual? Qual a série?
- 6) Você nota diferença de desempenho escolar entre as Escolas onde leciona?
- 7) Na sua opinião o ruído influencia no desempenho escolar? Como?
- 8) Os alunos reclamam do barulho em sala de aula?
- 9) Onde você mora? O ruído é maior ou menor?

APÊNDICE B – Roteiro da entrevista com os professores

- 1) Quais as áreas ou setores onde o ruído gera maior ou menor incômodo?
- 2) Existe uma distinção entre grupos de pessoas que menos toleram o ruído? (professores, alguma faixa etária de alunos)
- 3) Qual sua carga horária semanal nessa Escola?
- 4) Você leciona em outra escola da rede Estadual? Qual? Qual a série?
- 5) Você nota diferença de desempenho escolar entre as Escolas onde leciona?
- 6) Na sua opinião o ruído influencia no desempenho escolar? Como?
- 7) Os alunos reclamam do barulho em sala de aula?
- 8) Onde você mora? O ruído é maior ou menor?

APÊNDICE C – Questionário aplicado aos alunos

DATA: _____ TURNO: (M) (T) (N)
IDADE: _____ SEXO: () feminino () masculino
SÉRIE: _____ TURMA: _____
ENDEREÇO: _____
TEMPO QUE RESIDE NESSE ENDEREÇO: _____

1) Como o barulho dos aviões interfere na sua atividade em sala de aula?

() Muito () Pouco () Não incomoda

2) Você já precisou falar mais alto por causa do barulho dos aviões?

() Sim () Não

3) Você já deixou de escutar a professora por causa do barulho dos aviões dentro da sala de aula?

() Sim () Não

4) Qual o lugar mais silencioso da Escola?

5) Qual o lugar na Escola onde o barulho incomoda mais?

6) Onde o barulho é maior?

() na escola () em casa

APÊNDICE D – Questionário aplicado aos professores

DATA: _____ TURNO: (M) (T) (N)
IDADE: _____ SEXO: () feminino () masculino
SÉRIE: _____ TURMA: _____
ENDEREÇO: _____
TEMPO QUE RESIDE NESSE ENDEREÇO: _____

1) Como o barulho dos aviões interfere na sua atividade em sala de aula?

() Muito () Pouco () Não incomoda

2) Você já precisou falar mais alto por causa do barulho dos aviões?

() Sim () Não

3) Você já deixou de escutar algum aluno por causa do barulho dos aviões dentro da sala de aula?

() Sim () Não

4) Qual o lugar mais silencioso da Escola? Cite apenas um.

5) Qual o lugar na Escola onde o barulho incomoda mais? Cite apenas um.

6) Onde o barulho é maior?

() na Escola () em casa

7) Qual sua carga horária semanal nessa Escola?

8) Você leciona em outra escola da rede Estadual? Qual? Qual a série?

9) Você nota diferença de desempenho escolar entre as Escolas onde leciona?

Sim Não

10) Na sua opinião o ruído influencia no desempenho escolar?

Sim Não

11) Os alunos reclamam do barulho em sala de aula?

Sim Não

APÊNDICE E – Planilha para análise dos dados dos questionários

1	2	72	43CS	1	0	1	1	1	1	5	4	1
1	2	72	44CS	1	1	2	2	1	1	0	4	1
1	2	72	45CS	1	1	1	1	1	1	3	4	1
1	2	72	46CS	1	1	1	2	1	1	4	4	1
1	2	72	47CS	1	0	2	1	0	1	3	3	1
1	2	72	48CS	1	1	2	0	0	1	1	4	2
1	2	72	49CS	1	1	1	0	0	0	3	3	2
1	2	72	50CS	1	1	2	2	0	1	5	3	2
1	2	72	51CS	1	0	0	1	0	1	5	4	0
1	2	72	52CS	1	1	1	2	1	1	2	4	0
1	2	72	53CS	1	0	1	1	0	1	3	4	0
1	2	72	54CS	1	1	2	2	1	0	3	4	0
1	2	72	55CS	1	0	1	1	1	1	0	4	0
1	2	72	56CS	1	1	2	0	1	0	2	3	0
1	2	72	57CS	1	0	0	1	1	1	5	4	0
1	2	72	58CS	1	1	2	0	1	1	5	4	1
1	2	61	59CS	2	1	0	1	1	1	1	4	0
1	2	61	60CS	2	0	2	2	1	1	3	4	0
1	2	61	61CS	2	1	2	2	1	1	3	4	0
1	2	61	62CS	2	1	2	1	1	1	3	4	0
1	2	61	63CS	2	1	3	1	1	1	3	4	0
1	2	61	64CS	2	1	2	2	1	1	4	4	0
1	2	61	65CS	2	1	1	2	1	1	4	4	0
1	2	61	66CS	2	0	2	2	1	0	4	4	0
1	2	61	67CS	2	0	2	2	1	1	5	4	0
1	2	61	68CS	2	1	2	1	1	1	5	4	0
1	2	61	69CS	2	0	2	2	1	1	5	4	0
1	2	61	70CS	2	0	1	1	1	1	5	4	0
1	2	61	71CS	2	0	2	1	1	1	5	4	0
1	2	61	72CS	2	1	1	1	1	1	5	3	2
1	2	61	73CS	2	1	1	2	0	1	2	3	0
1	2	61	74CS	2	1	1	2	1	1	4	0	0
1	2	61	75CS	2	1	2	2	0	1	5	1	1
1	2	61	76CS	2	1	3	2	1	1	1	4	1
1	2	61	77CS	2	0	1	2	1	1	3	4	1
1	2	61	78CS	2	1	2	2	1	1	4	4	1
1	2	61	79CS	2	0	1	1	1	1	4	4	1
1	2	61	80CS	2	1	2	2	1	1	4	4	1
1	2	61	81CS	2	1	2	1	1	1	5	4	1
1	2	61	82CS	2	1	1	1	0	1	5	3	1
1	2	61	83CS	2	1	2	2	1	1	5	3	1
1	2	61	84CS	2	0	2	2	1	1	1	0	1
1	2	61	85CS	2	0	1	2	0	1	3	1	2
1	2	61	86CS	2	1	1	2	1	1	3	4	2
1	2	62	87CS	2	1	2	2	1	1	5	3	1
1	2	62	88CS	2	1	2	1	1	1	5	3	1
1	2	62	89CS	2	0	2	0	1	1	5	3	1
1	2	62	90CS	2	0	1	0	0	1	5	3	1
1	2	62	91CS	2	1	2	2	1	0	5	3	1
1	2	62	92CS	2	1	2	2	1	0	5	3	1
1	2	62	93CS	2	1	1	1	1	0	5	4	1
1	2	62	94CS	2	1	2	2	1	1	3	4	1
1	2	62	95CS	2	0	2	1	0	1	1	4	1
1	2	62	96CS	2	0	1	1	1	1	1	4	1
1	2	62	97CS	2	1	1	1	0	1	3	0	1
1	2	62	98CS	2	1	1	2	1	1	3	4	2
1	2	62	99CS	2	1	2	2	1	1	5	3	0
1	2	62	100CS	2	0	1	2	1	1	5	3	0
1	2	62	101CS	2	0	1	1	1	1	5	4	0
1	2	62	102CS	2	0	2	0	0	0	3	4	0
1	2	62	103CS	2	1	1	1	1	1	4	3	1
1	2	62	104CS	2	0	1	1	0	1	1	3	1
1	2	51	105CS	2	0	3	2	0	1	4	4	1
1	2	51	106CS	2	1	2	2	1	1	4	4	1
1	2	51	107CS	2	1	3	2	1	1	4	4	1

1	2	51	108CS	2	0	2	2	1	1	1	4	1
1	2	51	109CS	2	1	2	2	1	1	1	4	1
1	2	51	110CS	2	0	2	1	0	1	1	0	1
1	2	51	111CS	2	0	2	2	1	1	5	3	1
1	2	51	112CS	2	0	2	2	1	1	2	3	1
1	2	51	113CS	2	1	3	2	1	1	5	4	2
1	2	51	114CS	2	1	2	2	1	1	5	4	2
1	2	51	115CS	2	1	1	1	1	1	4	4	2
1	2	51	116CS	2	1	1	1	1	1	4	4	2
1	2	51	117CS	2	1	2	2	1	1	4	4	2
1	2	51	118CS	2	0	2	2	1	1	5	4	0
1	2	51	119CS	2	0	1	1	1	1	5	0	0
1	2	51	120CS	2	0	3	2	1	1	5	4	0
1	2	51	121CS	2	0	3	1	1	1	1	4	0
1	2	51	122CS	2	0	1	0	1	1	1	0	0
1	2	51	123CS	2	0	1	1	1	1	5	2	0
1	2	51	124CS	2	1	2	0	0	0	0	2	0
1	2	51	125CS	2	1	2	0	1	1	3	3	0
1	2	51	126CS	2	1	2	0	0	0	3	3	0
1	2	51	127CS	2	1	3	1	0	1	2	3	0
1	2	51	128CS	2	1	2	2	1	1	5	4	1
1	2	51	129CS	2	0	2	2	0	1	2	4	1
1	2	52	130CS	2	1	2	1	1	1	4	3	0
1	2	52	131CS	2	0	3	1	1	1	4	3	0
1	2	52	132CS	2	1	3	2	1	1	1	2	0
1	2	52	133CS	2	0	3	1	1	1	5	3	0
1	2	52	134CS	2	0	1	1	1	1	5	3	0
1	2	52	135CS	2	0	2	1	1	1	2	2	0
1	2	52	136CS	2	0	3	0	1	1	1	4	0
1	2	52	137CS	2	0	2	1	1	0	1	4	0
1	2	52	138CS	2	1	2	2	1	1	5	3	2
1	2	52	139CS	2	0	2	2	1	1	5	3	2
1	2	52	140CS	2	1	2	1	1	1	5	4	2
1	2	52	141CS	2	0	2	0	0	0	4	3	1
1	2	52	142CS	2	0	2	1	1	1	1	3	1
1	2	52	143CS	2	0	2	1	1	1	5	3	1
1	2	52	144CS	2	0	2	1	1	0	5	3	1
1	2	52	145CS	2	0	1	1	1	1	5	0	1
1	2	52	146CS	2	0	2	2	1	1	2	2	1
1	2	52	147CS	2	0	3	1	1	1	1	4	1
1	2	52	148CS	2	0	2	1	1	1	5	4	1
1	2	52	149CS	2	1	2	2	1	1	5	4	1
1	2	52	150CS	2	0	3	2	1	0	5	4	1
1	2	41	151CS	2	1	3	2	1	1	5	4	2
1	2	41	152CS	2	1	3	2	0	1	5	4	2
1	2	41	153CS	2	0	2	2	0	1	4	3	0
1	2	41	154CS	2	1	4	2	0	1	1	4	2
1	2	41	155CS	2	1	3	2	1	1	1	4	2
1	2	41	156CS	2	0	2	2	1	1	0	4	0
1	2	41	157CS	2	0	3	2	1	1	0	4	0
1	2	41	158CS	2	0	2	2	1	1	4	3	0
1	2	41	159CS	2	0	3	2	1	0	1	4	2
1	2	41	160CS	2	1	3	1	1	1	0	0	0
1	2	41	161CS	2	1	3	0	0	1	5	3	1
1	2	41	162CS	2	1	3	1	1	1	5	0	1
1	2	41	163CS	2	0	2	0	0	0	1	4	1
1	2	41	164CS	2	0	3	2	1	1	1	4	1
1	2	42	165CS	2	1	3	2	1	0	1	4	0
1	2	42	166CS	2	0	3	1	1	1	4	4	0
1	2	42	167CS	2	1	3	0	1	0	1	3	0
1	2	42	168CS	2	1	3	1	1	1	2	3	0
1	2	42	169CS	2	1	3	0	0	0	2	3	0
1	2	42	170CS	2	0	3	1	0	0	2	3	0
1	2	42	171CS	2	1	3	1	1	1	4	3	1
1	2	42	172CS	2	1	3	1	1	1	4	3	1

1	2	42	173CS	2	0	3	0	0	0	1	3	1
1	2	42	174CS	2	1	3	1	1	1	0	3	1
1	2	42	175CS	2	0	3	1	0	0	5	3	1
1	2	42	176CS	2	0	2	1	1	1	5	3	1
1	2	42	177CS	2	0	2	2	1	0	5	4	1
1	2	42	178CS	2	0	2	1	1	0	0	0	1
1	2	42	179CS	2	0	1	1	0	1	5	4	1
1	2	42	180CS	2	0	3	1	0	1	5	4	1
1	2	42	181CS	1	1	2	2	0	1	5	4	2
1	2	81	182CS	1	0	1	1	1	1	2	2	1
1	2	81	183CS	1	1	1	0	0	0	1	2	0
1	2	81	184CS	1	0	0	1	1	1	4	4	2
1	2	81	185CS	1	1	0	1	1	0	4	2	1
1	2	81	186CS	1	0	0	1	0	1	2	4	0
1	2	81	18CS7	1	0	0	0	0	0	4	2	0
1	2	81	18CS8	1	1	1	1	1	0	2	3	0
1	2	81	18CS9	1	1	0	1	0	0	4	3	2
1	2	81	19CS0	1	0	1	0	0	0	2	4	0
1	2	81	191CS	1	1	0	1	1	1	5	4	0
1	2	81	192CS	1	1	0	1	0	1	5	4	0
1	2	81	193CS	1	0	0	0	0	0	2	3	0
1	2	81	194CS	1	1	1	2	1	1	4	4	1
1	2	81	195CS	1	0	0	0	0	0	5	0	0
1	2	81	196CS	1	1	1	1	1	1	5	4	1
1	2	81	197CS	1	0	1	0	0	0	2	2	0
1	2	81	198CS	1	1	1	1	0	1	5	4	0
1	2	81	199CS	1	0	1	1	1	0	5	4	1
1	2	81	200CS	1	1	1	0	0	1	2	4	0
1	2	81	201CS	1	1	0	0	0	1	5	4	2
1	2	81	202CS	1	0	0	0	0	1	2	3	1
1	2	81	203CS	1	1	1	1	1	0	4	3	0
1	2	81	204CS	1	0	1	0	1	1	2	4	1
1	2	81	205CS	1	1	0	1	0	0	5	4	1
1	2	81	206CS	1	1	0	1	0	1	2	4	1
1	2	81	207CS	2	0	3	1	0	1	5	4	2
1	2	42	208CS	2	1	3	0	1	0	4	4	0
1	2	42	209CS	2	1	2	1	1	0	4	2	0
1	2	42	210CS	2	0	3	1	0	1	4	2	1
1	2	42	211CS	2	1	3	0	0	1	4	2	0
1	1	31	01CB	2	0	2	2	0	1	2	4	1
1	1	31	02CB	2	1	0	0	1	1	0	4	1
1	1	31	03CB	2	1	2	2	1	1	1	4	1
1	1	31	04CB	2	1	2	2	1	1	3	0	1
1	1	31	05CB	2	1	2	2	1	1	3	3	1
1	1	31	06CB	2	1	3	2	1	1	2	4	1
1	1	31	07CB	2	1	3	2	1	1	4	4	0
1	1	31	08CB	2	0	3	2	1	1	4	4	1
1	1	31	09CB	2	0	3	2	1	0	1	4	1
1	1	31	10CB	2	0	3	0	0	1	0	4	1
1	1	31	11CB	2	1	3	1	1	1	1	4	1
1	1	31	12CB	2	1	3	2	1	1	1	4	0
1	1	31	13CB	2	0	3	2	1	1	1	4	1
1	1	31	14CB	2	1	4	0	1	0	1	3	0
1	1	31	15CB	2	0	3	2	1	1	1	4	1
1	1	31	16CB	2	1	4	1	0	1	4	4	1
1	1	31	17CB	2	1	4	1	1	1	4	4	1
1	1	31	18CB	2	1	4	1	1	1	1	4	1
1	1	31	19CB	2	0	4	2	1	1	0	4	1
1	1	31	20CB	2	0	4	2	1	0	1	4	1
1	1	31	21CB	2	0	4	2	1	1	1	4	0
1	1	31	22CB	2	1	4	2	1	0	5	3	0
1	1	31	23CB	2	1	4	2	1	1	4	4	1
1	1	31	24CB	2	1	4	2	0	1	1	4	1
1	1	32	25CB	2	0	3	2	0	0	5	3	1
1	1	32	26CB	2	0	1	1	0	0	1	4	1

1	1	32	27CB	2	0	2	1	0	0	1	3	0
1	1	32	28CB	2	1	2	1	0	0	1	3	1
1	1	32	29CB	2	0	3	2	1	1	0	4	1
1	1	32	30CB	2	0	3	2	1	0	0	0	1
1	1	32	31CB	2	1	2	2	1	1	5	4	0
1	1	32	32CB	2	0	3	2	1	0	1	4	0
1	1	32	33CB	2	1	3	2	1	1	5	4	0
1	1	32	34CB	2	0	3	1	0	0	5	3	1
1	1	32	35CB	2	0	3	1	1	0	0	4	1
1	1	32	36CB	2	1	3	1	0	0	1	0	1
1	1	32	37CB	2	0	3	0	0	0	3	1	1
1	1	32	38CB	2	1	3	0	0	1	1	3	0
1	1	32	39CB	2	0	3	2	0	0	1	3	0
1	1	32	40CB	2	1	3	2	1	1	3	4	1
1	1	32	41CB	2	0	4	1	0	1	5	4	0
1	1	32	42CB	2	0	4	1	0	0	3	4	1
1	1	32	43CB	2	0	4	1	1	1	5	3	0
1	1	32	44CB	2	1	4	1	1	0	5	4	1
1	1	32	45CB	2	1	4	2	1	1	5	3	1
1	1	32	46CB	2	0	4	2	0	1	0	4	1
1	1	32	47CB	2	0	4	2	1	0	5	0	1
2	3	42	48CB	2	1	3	2	1	1	0	0	1
2	3	42	49CB	2	1	3	2	1	1	5	4	1
2	3	42	50CB	2	1	3	2	1	1	3	3	0
2	3	42	51CB	2	1	3	2	1	1	1	3	1
2	3	42	52CB	2	0	3	2	1	1	4	4	0
2	3	42	53CB	2	0	3	2	0	0	1	0	0
2	3	42	54CB	2	0	3	2	1	1	3	4	0
2	3	42	55CB	2	0	3	1	1	1	3	3	1
2	3	42	56CB	2	0	3	1	0	0	1	3	0
2	3	42	57CB	2	1	3	1	1	0	5	0	0
2	3	42	58CB	2	1	3	1	1	1	2	3	0
2	3	42	59CB	2	1	3	0	1	1	2	4	1
2	3	42	60CB	2	0	3	2	1	1	3	4	1
2	3	42	61CB	2	0	3	2	1	1	4	3	1
2	3	42	62CB	2	0	3	1	1	1	2	4	1
2	3	42	63CB	2	0	2	2	1	1	3	4	1
2	3	42	64CB	2	1	2	2	1	1	2	0	1
2	3	42	65CB	2	1	2	2	1	1	5	4	0
2	3	42	66CB	2	1	2	2	1	1	3	4	0
2	3	42	67CB	2	1	2	2	1	1	5	4	1
2	3	42	68CB	2	0	2	2	1	1	3	3	1
2	3	42	69CB	2	0	2	2	1	1	0	3	1
2	3	42	70CB	2	1	1	2	1	1	2	4	1
2	3	42	71CB	2	0	1	2	1	1	1	3	1
1	1	51	72CB	1	0	3	2	1	1	5	4	1
1	1	51	73CB	1	0	3	2	1	1	3	0	1
1	1	51	74CB	1	1	3	2	1	1	1	3	1
1	1	51	75CB	1	0	3	1	1	1	5	4	1
1	1	51	76CB	1	0	3	1	1	1	0	3	1
1	1	51	77CB	1	0	2	0	1	1	1	3	1
1	1	51	78CB	1	1	2	1	1	1	3	0	1
1	1	51	79CB	1	0	2	2	1	1	0	3	0
1	1	51	80CB	1	0	2	2	1	1	1	3	1
1	1	51	81CB	1	0	1	2	1	1	1	3	0
1	1	51	82CB	1	0	1	2	1	1	0	3	1
1	1	51	83CB	1	0	1	2	1	1	3	1	1
1	1	51	84CB	1	1	1	2	1	1	3	4	1
1	1	51	85CB	1	1	1	2	1	1	3	4	1
1	1	51	86CB	1	0	0	0	1	1	1	3	1
2	1	52	87CB	1	0	1	2	1	1	0	4	0
2	1	52	88CB	1	0	1	1	1	1	5	4	1
2	1	52	89CB	1	1	1	2	1	1	5	4	1
2	1	52	90CB	1	1	2	2	1	1	5	4	1
2	1	52	91CB	1	1	2	2	1	1	1	3	1

2	1	52	92CB	1	1	2	1	0	1	5	4	1
2	1	52	93CB	1	1	2	1	1	0	2	3	1
2	1	52	94CB	1	0	2	1	1	1	3	4	1
2	1	52	95CB	1	1	2	0	1	0	3	0	0
2	1	52	96CB	1	1	2	1	1	1	5	4	1
2	1	52	97CB	1	1	2	1	1	1	3	3	1
2	1	52	98CB	1	0	2	1	0	0	2	3	1
2	1	52	99CB	1	0	2	1	1	0	5	4	1
2	1	52	100CB	1	1	2	2	1	1	5	3	0
2	1	52	101CB	1	0	3	1	1	1	5	4	1
2	1	52	102CB	1	0	3	2	1	1	5	4	1
1	2	61	103CB	1	1	2	2	1	1	3	3	1
1	2	61	104CB	1	1	2	2	1	1	0	4	1
1	2	61	105CB	1	0	2	2	1	1	0	4	1
1	2	61	106CB	1	0	2	1	1	1	0	3	1
1	2	61	107CB	1	1	2	1	1	1	3	4	1
1	2	61	108CB	1	1	2	1	0	1	3	4	1
1	2	61	109CB	1	1	2	2	1	0	1	4	1
1	2	61	110CB	1	1	2	2	1	0	2	3	1
1	2	61	111CB	1	0	2	2	1	0	3	4	1
1	2	61	112CB	1	0	2	2	1	1	3	4	2
1	2	61	113CB	1	0	1	2	1	1	0	4	1
1	2	61	114CB	1	0	1	2	1	1	5	4	1
1	2	61	115CB	1	0	1	2	1	1	3	4	1
1	2	61	116CB	1	1	1	2	0	1	0	4	1
1	2	61	117CB	1	0	1	1	1	1	5	3	1
1	2	61	118CB	1	0	1	1	1	1	1	0	1
1	2	61	119CB	1	1	1	2	1	1	3	4	2
1	2	61	120CB	1	0	1	2	1	1	5	3	1
1	2	61	121CB	1	1	0	2	1	1	3	1	2
1	1	62	122CB	1	0	0	2	1	1	2	4	1
1	1	62	123CB	1	0	1	1	1	1	0	4	1
1	1	62	124CB	1	1	1	1	1	1	3	4	1
1	1	62	125CB	1	1	1	1	1	1	1	4	1
1	1	62	126CB	1	1	1	1	1	1	5	3	1
1	1	62	127CB	1	1	1	2	1	1	0	4	1
1	1	62	128CB	1	0	2	2	1	1	5	4	1
1	1	62	129CB	1	0	2	2	1	0	0	2	1
1	1	62	130CB	1	1	2	2	1	1	0	4	1
1	1	62	131CB	1	1	2	2	1	1	0	4	1
1	1	62	132CB	1	1	2	2	1	1	2	3	1
1	1	62	133CB	1	0	2	1	0	1	0	0	1
1	1	62	134CB	1	1	2	1	1	0	5	3	1
1	1	62	135CB	1	0	2	1	1	1	2	3	1
1	1	62	136CB	1	0	2	2	1	1	5	4	1
1	1	62	137CB	1	1	2	2	1	1	3	4	1
1	1	71	138CB	1	1	2	2	1	1	0	4	1
1	1	71	139CB	1	0	2	1	0	1	5	4	0
1	1	71	140CB	1	1	2	1	1	1	2	3	0
1	1	71	141CB	1	1	2	1	1	1	1	3	0
1	1	71	142CB	1	1	2	1	0	1	2	3	1
1	1	71	143CB	1	1	2	2	1	1	0	4	1
1	1	71	144CB	1	0	1	2	1	1	0	3	0
1	1	71	145CB	1	1	1	2	1	1	0	4	1
1	1	71	146CB	1	1	1	2	1	1	0	0	1
1	1	71	147CB	1	0	1	1	1	1	1	3	0
1	1	71	148CB	1	1	1	1	0	1	2	3	0
1	1	71	149CB	1	0	1	0	0	0	1	3	1
1	1	71	150CB	1	0	1	2	1	1	3	0	0
1	1	71	151CB	1	0	1	1	1	1	0	4	1
1	1	71	152CB	1	0	1	1	0	1	3	3	1
1	1	71	153CB	1	0	0	1	0	1	0	3	1
1	1	71	154CB	1	0	0	1	0	1	0	3	1
1	1	71	155CB	1	1	0	1	1	1	0	3	1
1	1	71	156CB	1	0	0	2	1	1	5	4	1

1	1	71	157CB	1	0	0	2	1	1	3	1	1
1	1	71	158CB	1	1	0	2	1	1	0	4	1
1	1	71	159CB	1	1	0	1	1	1	3	3	1
1	1	71	160CB	1	0	0	2	0	1	1	4	1
2	1	81	161CB	1	1	1	2	1	1	1	4	1
2	1	81	162CB	1	1	1	1	1	1	3	4	1
2	1	81	163CB	1	1	1	1	1	1	0	3	0
2	1	81	164CB	1	1	1	0	0	1	5	4	1
2	1	81	165CB	1	0	1	2	1	1	0	4	1
2	1	81	166CB	1	0	1	2	1	0	0	4	0
2	1	81	167CB	1	1	1	1	1	1	3	4	1
2	1	81	168CB	1	1	1	1	1	1	3	4	1
2	1	81	169CB	1	0	1	1	1	1	0	3	1
2	1	81	170CB	1	1	1	1	0	1	5	4	0
2	1	81	171CB	1	1	0	1	0	0	5	3	1
2	1	81	172CB	1	0	0	1	0	0	0	4	1
2	1	81	173CB	1	0	1	2	1	1	5	3	1
2	1	81	174CB	1	0	1	2	1	1	5	3	1
2	1	22	01LC	2	0	4	1	1	0	1	3	0
2	1	22	02LC	2	1	4	2	1	1	3	3	1
2	1	22	03LC	2	1	4	2	1	1	3	3	1
2	1	22	04LC	2	1	4	2	1	1	5	4	1
2	1	22	05LC	2	0	4	2	1	1	5	4	1
2	1	22	06LC	2	0	4	2	1	0	3	3	1
2	1	22	07LC	2	0	4	2	1	1	0	2	0
2	1	22	08LC	2	1	4	2	1	1	5	3	1
2	1	22	09LC	2	1	4	2	1	1	5	1	1
2	1	22	10LC	2	1	4	2	1	1	3	3	1
2	1	22	11LC	2	1	4	2	1	1	3	4	1
2	1	22	12LC	2	0	4	2	1	0	5	3	1
2	1	22	13LC	2	0	4	2	1	1	5	3	1
2	1	22	14LC	2	0	4	2	1	1	3	1	1
2	1	22	15LC	2	0	4	2	1	1	5	3	1
2	1	22	16LC	2	0	3	0	1	1	0	3	1
2	1	22	17LC	2	0	3	0	0	1	2	4	0
2	1	22	18LC	2	0	3	2	1	1	5	3	1
2	1	22	19LC	2	1	3	2	1	1	5	4	1
2	1	22	20LC	2	1	3	2	1	1	5	3	1
2	1	22	21LC	2	0	3	2	1	1	5	3	1
2	1	22	22LC	2	0	3	2	1	1	5	4	1
2	1	22	23LC	2	0	2	2	1	1	5	3	1
2	2	31	24LC	2	1	4	1	1	1	2	4	0
2	2	31	25LC	2	1	4	1	0	0	0	4	1
2	2	31	26LC	2	0	4	0	1	0	1	3	0
2	2	31	27LC	2	0	4	2	1	1	2	4	1
2	2	31	28LC	2	0	4	2	1	1	5	4	0
2	2	31	29LC	2	0	4	2	0	1	2	4	1
2	2	31	30LC	2	1	4	2	1	1	2	4	1
2	2	31	31LC	2	0	3	0	1	1	0	4	1
2	2	31	32LC	2	0	3	0	0	0	4	4	2
2	2	31	33LC	2	0	3	1	1	1	3	4	0
2	2	31	34LC	2	0	3	2	1	1	0	4	1
2	2	31	35LC	2	0	3	2	1	0	5	4	1
2	2	31	36LC	2	0	3	2	1	1	3	3	1
2	2	31	37LC	2	0	3	2	1	0	4	4	0
2	2	31	38LC	2	0	4	2	0	0	5	4	1
2	2	31	39LC	2	1	2	2	1	0	0	0	0
2	1	32	40LC	2	0	4	1	1	1	5	4	1
2	1	32	41LC	2	0	4	1	0	0	1	3	0
2	1	32	42LC	2	0	4	2	1	1	3	3	1
2	1	32	43LC	2	0	4	2	1	0	0	4	0
2	1	32	44LC	2	0	4	2	1	0	3	4	1
2	1	32	45LC	2	0	4	2	1	1	2	4	1
2	1	32	46LC	2	1	4	2	0	1	2	4	0
2	1	32	47LC	2	1	4	2	1	1	4	4	1

2	1	32	48LC	2	1	4	2	1	1	2	4	1
2	1	32	49LC	2	0	3	2	0	1	3	4	1
2	1	32	50LC	2	0	3	2	1	1	1	4	1
2	1	32	51LC	2	0	3	2	1	1	2	4	1
2	1	32	52LC	2	1	3	2	1	1	0	0	1
2	1	32	53LC	2	1	3	2	0	1	5	4	0
2	1	32	54LC	2	1	3	2	1	1	3	4	1
2	1	32	55LC	2	0	2	2	1	0	3	3	1
2	1	32	56LC	2	1	1	2	1	1	5	0	0
2	3	42	57LC	2	0	4	2	1	1	1	4	1
2	3	42	58LC	2	0	3	2	1	1	2	4	1
2	3	42	59LC	2	0	3	1	1	0	4	4	1
2	3	42	60LC	2	0	3	1	1	1	4	4	1
2	3	42	61LC	2	0	3	1	0	1	4	4	1
2	3	42	62LC	2	0	3	1	1	0	2	4	1
2	3	42	63LC	2	0	3	2	1	1	0	4	1
2	3	42	64LC	2	0	3	2	1	1	0	4	1
2	3	42	65LC	2	0	3	2	1	1	2	4	1
2	3	42	66LC	2	0	3	2	1	0	1	4	1
2	3	42	67LC	2	1	3	2	1	0	0	4	1
2	3	42	68LC	2	1	3	2	1	1	3	4	1
2	3	42	69LC	2	1	3	2	1	0	5	4	1
2	3	42	70LC	2	1	3	2	1	1	1	4	0
2	3	42	71LC	2	1	3	2	1	1	2	3	0
2	3	42	72LC	2	0	3	1	1	1	5	4	1
2	3	42	73LC	2	0	3	2	1	1	4	4	0
2	3	42	74LC	2	0	3	2	1	1	0	4	1
2	3	42	75LC	2	1	3	2	0	0	3	4	2
2	3	42	76LC	2	1	3	2	1	1	4	4	0
2	3	42	77LC	2	1	3	2	1	0	3	4	1
2	3	42	78LC	2	1	3	2	1	0	1	4	1
2	3	42	79LC	2	1	2	2	1	1	0	4	1
2	3	42	80LC	2	0	1	0	0	0	5	4	1
2	3	42	81LC	2	0	1	1	0	0	1	3	1
2	1	61	82LC	2	0	2	2	1	1	5	4	1
2	1	61	83LC	2	1	3	1	1	1	5	4	1
2	1	61	84LC	2	1	2	1	1	0	5	4	1
2	1	61	85LC	2	0	2	1	0	0	4	4	1
2	1	61	86LC	2	0	2	2	1	0	4	4	1
2	1	61	87LC	2	0	2	1	0	1	5	3	0
2	1	61	88LC	2	0	2	2	1	1	4	4	1
2	1	61	89LC	2	0	2	2	1	1	2	4	1
2	1	61	90LC	2	0	2	2	1	1	0	4	1
2	1	61	91LC	2	1	2	1	1	1	5	3	0
2	1	61	92LC	2	1	2	1	0	0	5	1	1
2	1	61	93LC	2	0	2	1	1	0	5	4	1
2	1	61	94LC	2	1	2	0	1	1	5	3	1
2	1	61	95LC	2	0	2	2	1	1	5	4	1
2	1	61	96LC	2	0	2	2	1	0	5	4	1
2	1	61	97LC	2	0	2	2	1	1	5	4	1
2	1	61	98LC	2	0	1	1	1	1	4	4	1
2	1	61	99LC	2	1	1	1	1	1	1	3	1
2	1	61	100LC	2	0	1	2	1	1	3	3	0
2	1	61	101LC	2	0	1	1	0	1	1	3	1
2	1	62	102LC	1	1	2	1	1	1	2	4	1
2	1	62	103LC	1	1	2	1	1	0	2	3	1
2	1	62	104LC	1	1	2	1	0	0	2	1	0
2	1	62	105LC	1	1	2	2	1	1	2	4	0
2	1	62	106LC	1	1	2	2	1	1	3	4	1
2	1	62	107LC	1	1	2	2	1	1	3	2	1
2	1	62	108LC	1	1	1	1	0	0	2	4	1
2	1	62	109LC	1	0	1	1	1	1	3	3	1
2	1	62	110LC	1	0	1	2	1	1	1	4	1
2	1	62	111LC	1	1	1	1	0	0	2	4	1
2	1	62	112LC	1	0	1	2	1	1	1	4	1

2	1	62	113LC	1	0	0	1	1	1	3	4	1
2	1	62	114LC	1	0	0	1	1	1	2	3	1
2	1	62	115LC	1	0	0	2	1	1	5	3	1
2	1	62	116LC	1	1	1	2	1	1	3	4	1
2	1	62	117LC	1	0	0	1	0	0	0	4	1
2	1	62	118LC	1	0	2	2	0	1	5	3	1
2	1	62	119LC	1	0	2	2	1	1	5	3	1
2	1	62	120LC	1	1	2	2	1	1	2	4	1
2	1	62	121LC	1	1	2	2	1	1	1	4	1
2	1	71	122LC	1	0	1	2	1	1	3	4	1
2	1	71	123LC	1	1	3	2	1	1	5	3	1
2	1	71	124LC	1	0	2	2	1	1	5	4	1
2	1	71	125LC	1	0	2	0	1	1	2	3	0
2	1	71	126LC	1	0	2	0	0	1	2	3	0
2	1	71	127LC	1	1	2	2	1	1	5	4	1
2	1	71	128LC	1	0	1	2	1	1	5	3	1
2	1	71	129LC	1	0	1	1	0	1	3	3	0
2	1	71	130LC	1	1	2	1	0	1	3	3	1
2	1	71	131LC	1	1	1	2	1	1	2	4	1
2	1	71	132LC	1	0	2	1	0	0	2	4	0
2	1	71	133LC	1	1	2	2	1	1	2	4	1
2	1	71	134LC	1	0	2	2	1	1	5	4	1
2	1	71	135LC	1	1	2	2	1	0	5	4	1
2	1	71	136LC	1	0	2	2	1	1	2	4	1
2	3	81	137LC	1	0	1	2	1	1	3	1	1
2	3	81	138LC	1	0	0	2	1	1	5	3	1
2	3	81	139LC	1	0	1	2	1	1	5	4	1
2	3	81	140LC	1	1	1	2	1	1	1	4	1
2	3	81	141LC	1	1	1	2	1	1	2	4	1
2	3	81	142LC	1	1	1	2	1	1	2	4	1
2	3	81	143LC	1	0	1	2	0	0	5	4	0
2	3	81	144LC	1	0	0	2	1	1	1	4	1
2	3	81	145LC	1	0	1	2	1	1	5	4	1
2	3	81	146LC	1	0	1	2	1	1	1	4	1
2	3	81	147LC	1	0	1	2	1	1	5	4	1
2	3	81	148LC	1	0	0	2	1	1	1	4	1
2	3	81	149LC	1	0	1	2	1	1	5	3	1
2	3	81	150LC	1	0	1	2	0	1	5	4	1
2	3	81	151LC	1	1	2	2	1	1	5	4	1
2	3	81	152LC	1	1	1	2	1	1	5	3	1
2	3	81	153LC	1	1	1	2	1	1	5	3	1
2	3	81	154LC	1	1	1	2	1	1	5	4	1
2	3	51	155LC	1	1	2	1	0	1	2	4	1
2	3	51	156LC	1	1	2	2	1	1	3	1	1
2	3	51	157LC	1	0	2	2	1	0	5	3	1
2	3	51	158LC	1	1	2	1	0	1	5	4	1
2	3	51	159LC	1	0	1	0	0	1	5	3	0
2	3	51	160LC	1	0	2	0	0	1	5	3	0
2	3	51	161LC	1	0	2	2	1	1	5	3	1
2	3	51	162LC	1	0	2	1	0	1	0	0	0
2	3	51	163LC	1	1	2	1	0	1	2	4	0
2	3	51	164LC	1	1	2	2	1	1	5	1	2
2	3	51	165LC	1	0	3	0	0	0	5	4	0
2	3	51	166LC	1	0	2	0	0	1	2	4	0
2	3	51	167LC	1	0	1	2	1	1	2	4	1
2	3	51	168LC	1	0	1	1	1	0	3	3	1
2	3	51	169LC	1	1	3	2	1	1	5	4	1
2	3	51	170LC	1	0	2	2	1	1	2	4	1
2	3	51	171LC	1	1	3	2	1	1	3	4	0
2	3	51	172LC	1	0	3	0	0	1	2	3	0

**APÊNDICE F – Investigação dos eventos isolados e caracterização do ruído
aeronáutico**

Este documento apresenta os resultados iniciais da investigação do ruído aeronáutico na Escola Carlos Barbosa Gonçalves.

Para sua caracterização foram realizados dois tipos de medição: uma sem atividade no pátio e outra com atividade no pátio. Para identificar o ruído de fundo, sem atividade no pátio da escola, foi escolhido um sábado de manhã, dia 2 de outubro. As próximas figuras mostram os gráficos do ruído nesse primeiro dia.

A figura 84 mostra a passagem de um caminhão que pode ser identificada com a variação da curva de ruído em L_{eq} , linha azul no gráfico da Figura, de 50 dB para 65 dB.

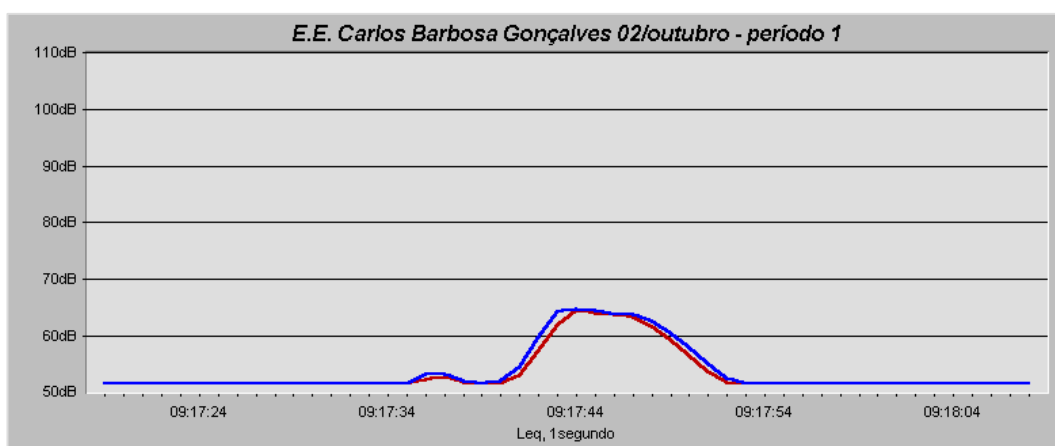


Figura 84: caracterização da passagem de um caminhão.

Mesmo tratando-se de uma área com baixo fluxo de veículos, alguns eventos simultâneos caracterizaram, de modo diferenciado, o ruído de fundo na área de estudo. Deste modo, alguns perfis gráficos apresentaram uma duração maior que a apresentada pela passagem do primeiro caminhão.

As Figuras 85 e 86 mostram respectivamente o registro do ruído emitido na passagem de outro caminhão e uma moto, com intervalo inferior a 1 segundo e um ônibus que registrou uma passagem mais lenta com uma aceleração de motor maior.

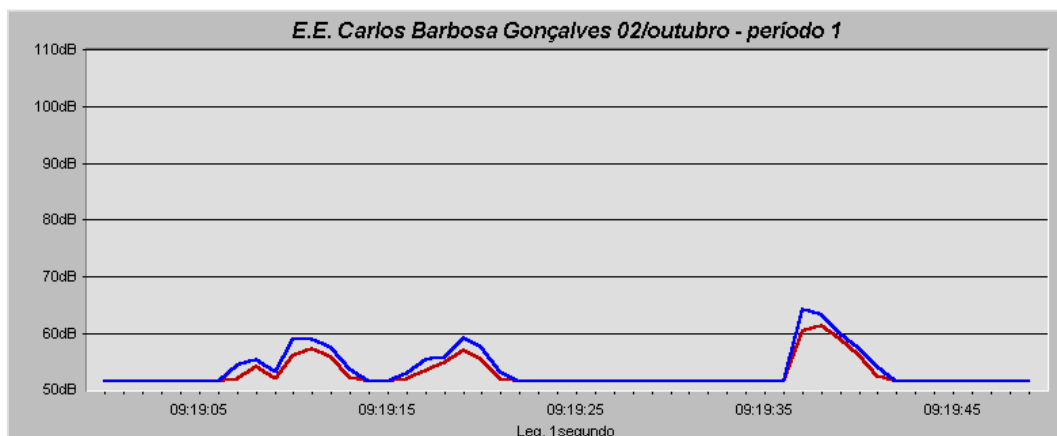


Figura 85: caracterização de um evento de ruído de fundo composto.

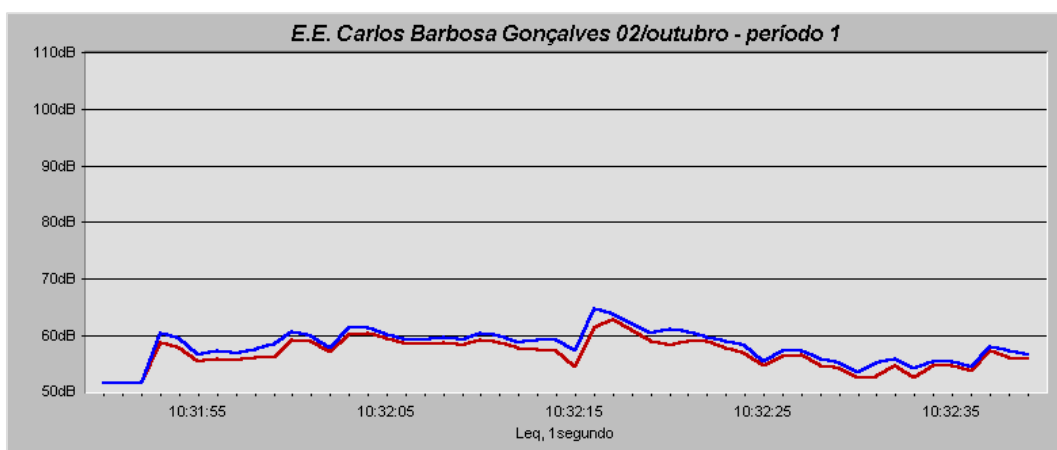


Figura 86: registro da passagem de um ônibus.

Ainda no primeiro dia foram registradas as passagens de algumas aeronaves, sem a interferência significativa do ruído de fundo. As próximas figuras mostram os perfis gráficos de alguns desses eventos.

A Figura 87 mostra o evento de aterrissagem de uma aeronave Boeing 737-500. A decolagem desse mesmo tipo de aeronave, no mesmo dia alcançou um nível de ruído maior: $L_{eq, 1seg}$ 90,3 dB. As durações dos eventos ficaram dentro esperadas com 18 segundos para a decolagem e 13 segundos para o movimento de aterrissagem, assim como a relação com o ruído de fundo superior a 20 dB.

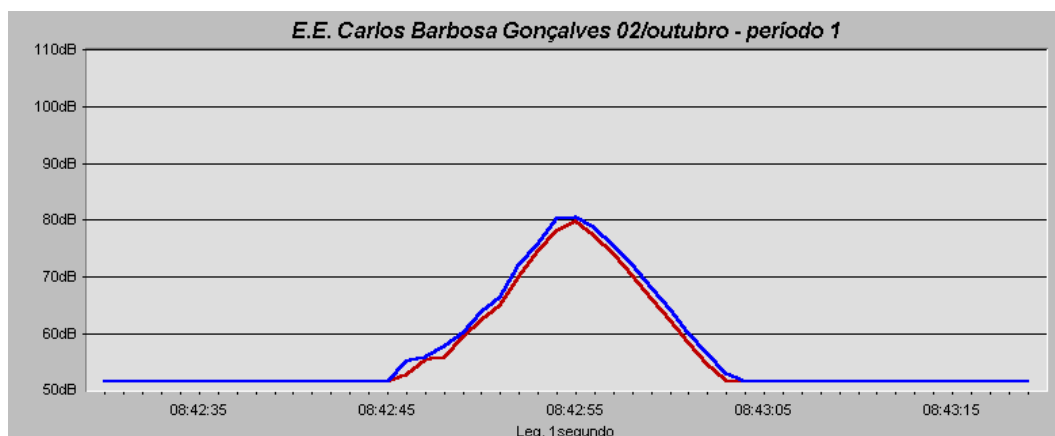


Figura 87: aterrissagem de um Boeing 737-500 sem atividade no pátio.

A aterrissagem de um Boeing 737-700, foi o evento característico de ruído aeronáutico que registrou o menor valor de nível máximo, $L_{eq,1seg}$ 81,1 dB, com uma duração de 11 segundos (Figura 88).

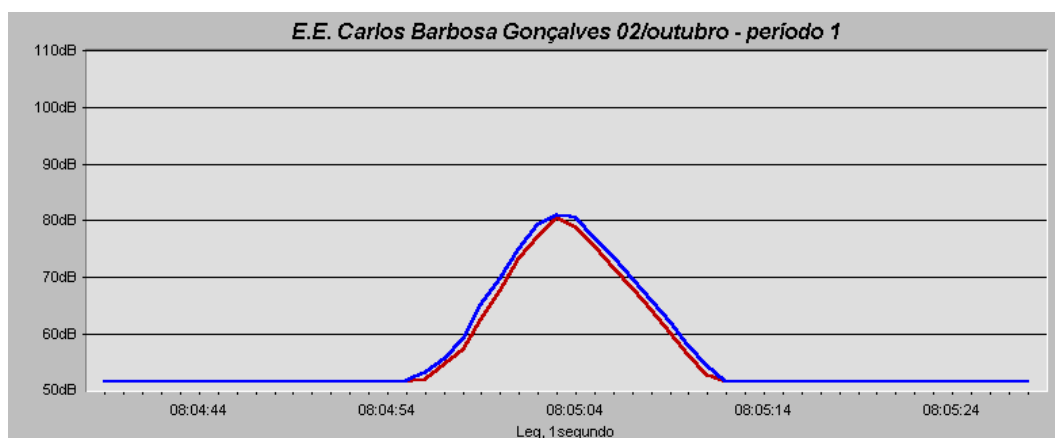


Figura 88: aterrissagem de um Boeing 737-700 sem atividade no pátio.

Também foram registradas as passagens de aeronaves de menor porte, bimotores e monomotores. Não houve uma relação de duração e nível máximo/ruído de fundo, que caracterizasse esses eventos de forma significativa.

As Figuras 89 e 90 mostram o registro das aeronaves de menor porte e se pode notar que a duração dos eventos ficou entre 3 e 8 segundos.

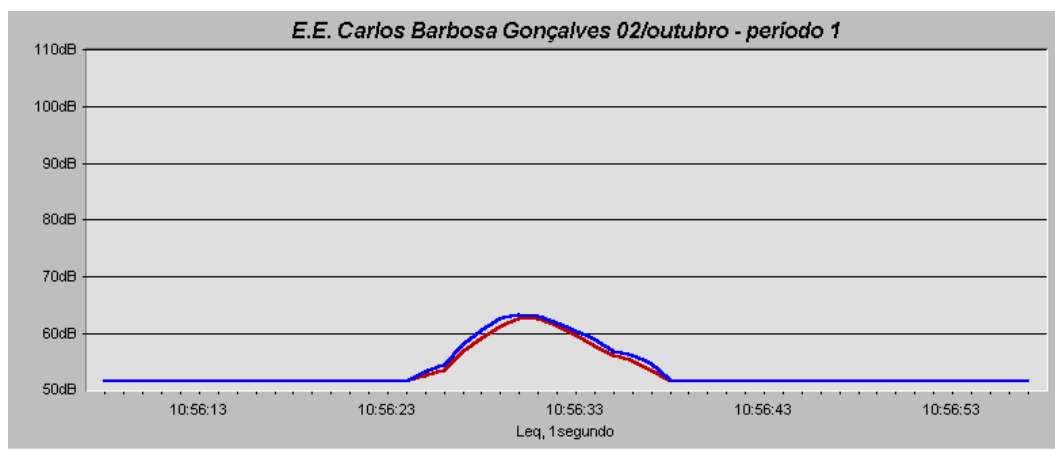


Figura 89: decolagem de um avião bimotor sem atividade no pátio.

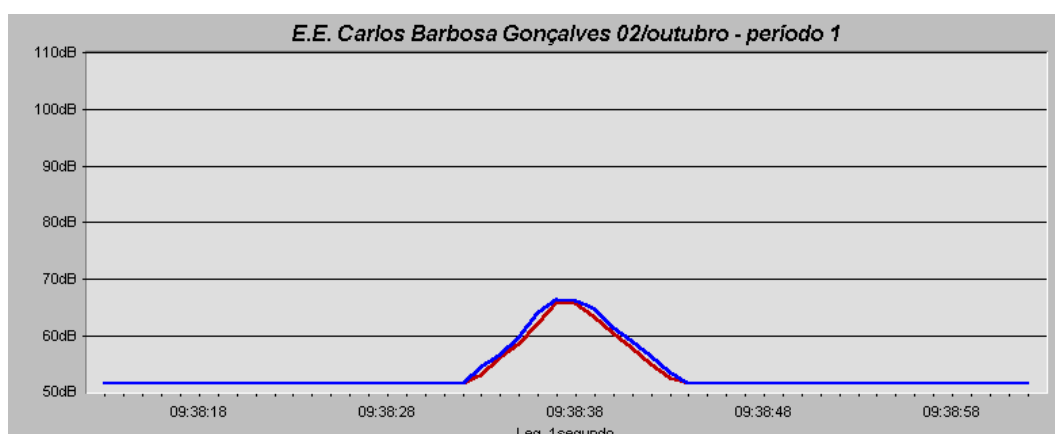


Figura 90: aterrissagem de um avião bimotor sem atividade no pátio.

Para identificar o ruído de fundo com atividade no pátio da escola a medição foi realizada no dia 11 de outubro. Mesmo sendo um sábado, havia atividade na escola com jogo de vôlei no pátio. As próximas figuras mostram os gráficos do ruído nesse dia, sendo que a Figura 91 mostra um perfil gráfico típico do ruído gerado pelo jogo dos alunos, e a Figura 92, o registro do ruído do jogo com a passagem de um caminhão.

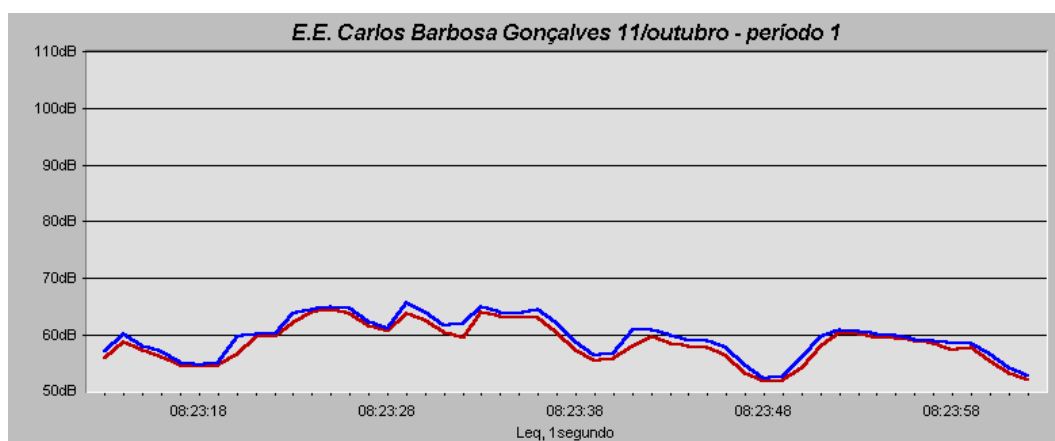


Figura 91: registro do ruído gerado pela atividade no pátio da escola.

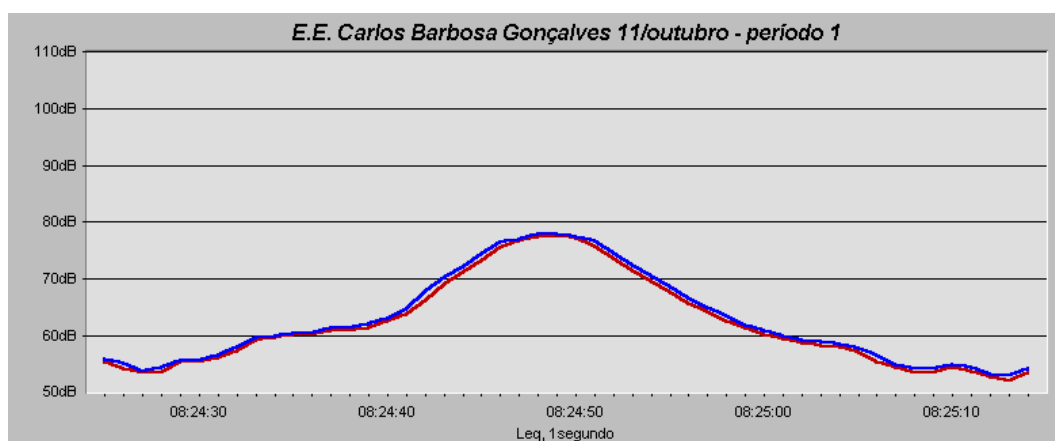


Figura 92: passagem de um caminhão com atividade no pátio.

As próximas figuras mostram o registro da passagem de duas aeronaves no dia 11 de outubro em momentos distintos de atividade no pátio. Comparando-se as duas situações, em alguns momentos o ruído de fundo, provocado por uma atividade mais ruidosa no pátio, acabou descaracterizando o evento do ruído aeronáutico. A marcação em azul destaca que, apesar da duração de 10 segundos, a diferença entre o nível de ruído de fundo e o nível máximo do evento não chega à 20 dB. Enquanto que a mostra o ruído registrado com a aterrissagem de um MD11 com uma atividade no pátio menos ruidosa, onde além da duração de 15 segundos

e uma diferença superior à 25 dB em relação ao ruído de fundo, foi registrado o L_{\max} do evento de 99,1 dB.

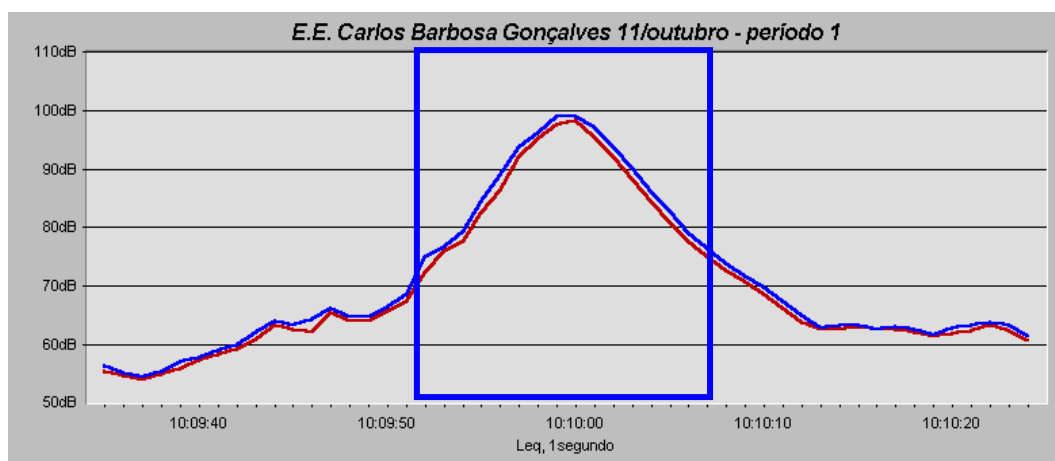


Figura 93: aterrissagem de um Airbus 320 com atividade no pátio.

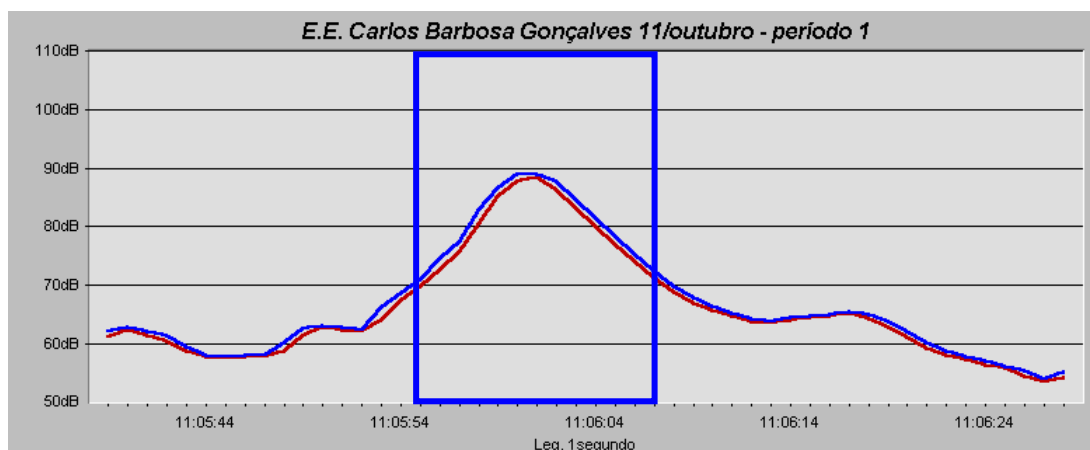


Figura 94: aterrissagem de um Boeing 737-800 com atividade no pátio.

Este breve estudo, de caracterização do ruído aeronáutico a partir de medições na Escola Carlos Barbosa, teve a função de explorar os conhecimentos adquiridos na revisão bibliográfica, destacando os critérios definidos pela ISO 3891 (1978) e por Farina (1994). Foi possível caracterizar a área como de exposição típica ao ruído aeronáutico onde as outras fontes, como o ruído de tráfego, podem ser classificadas como ruído de fundo.

**APÊNDICE G – Localização dos equipamentos de medição nas quadras
esportivas**

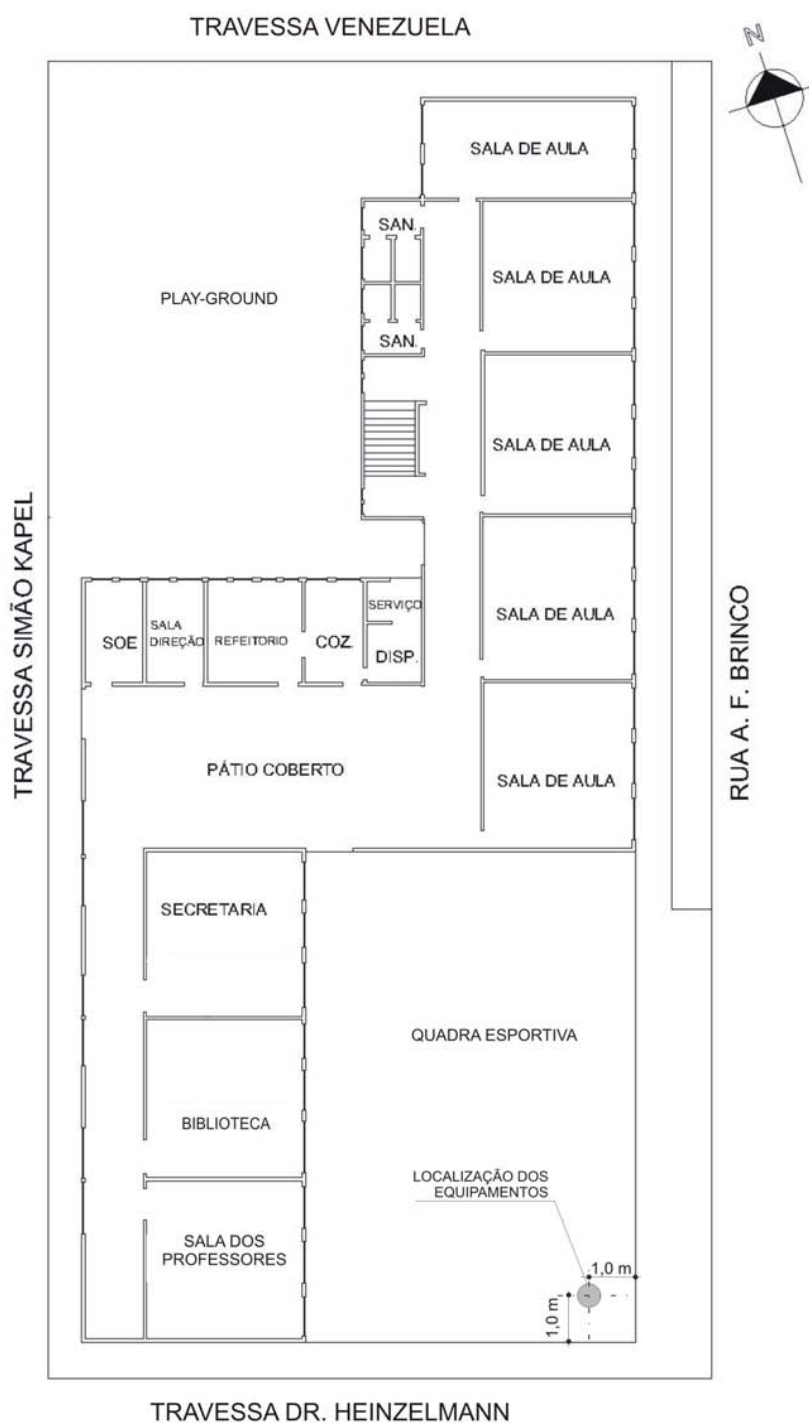


Figura 95: localização dos equipamentos na quadra esportiva da escola CB. (Fonte: adaptado de RIO GRANDE DO SUL, 1988)

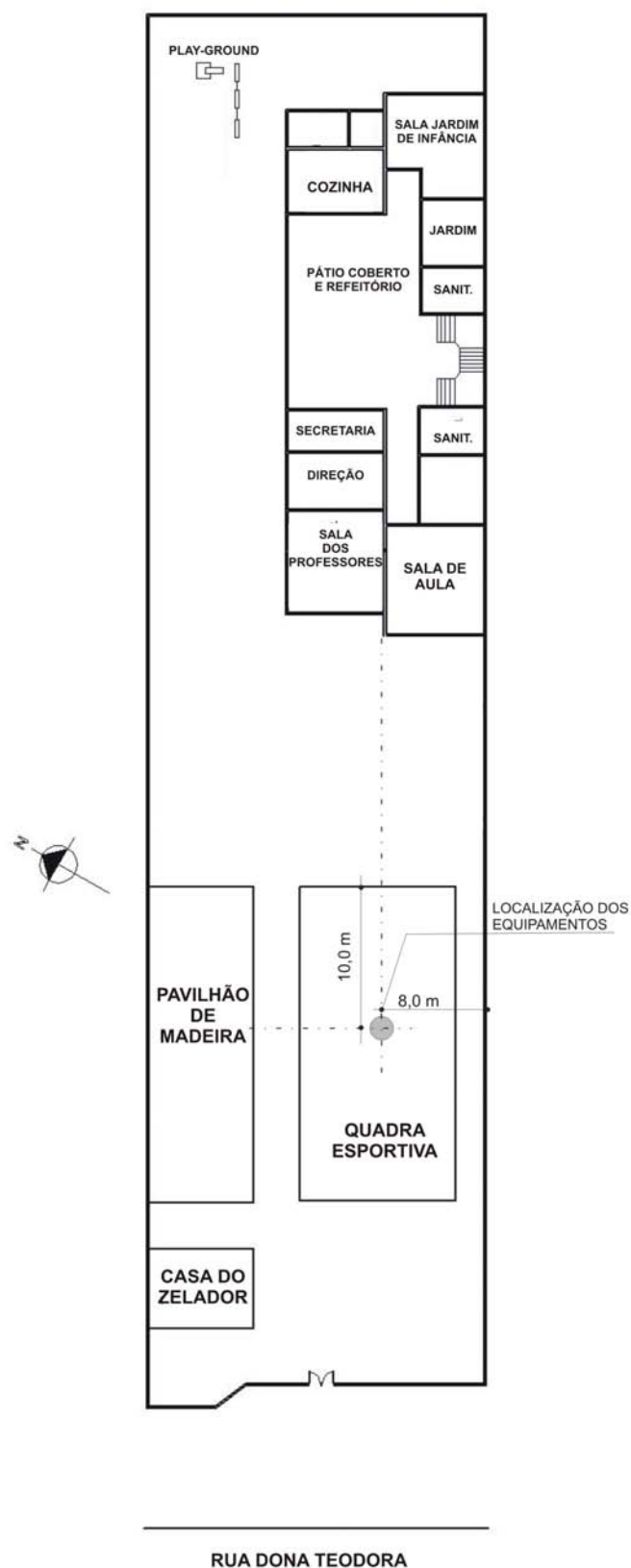


Figura 96: localização dos equipamentos na quadra esportiva da escola LC. (Fonte: adaptado de RIO GRANDE DO SUL, 1989)

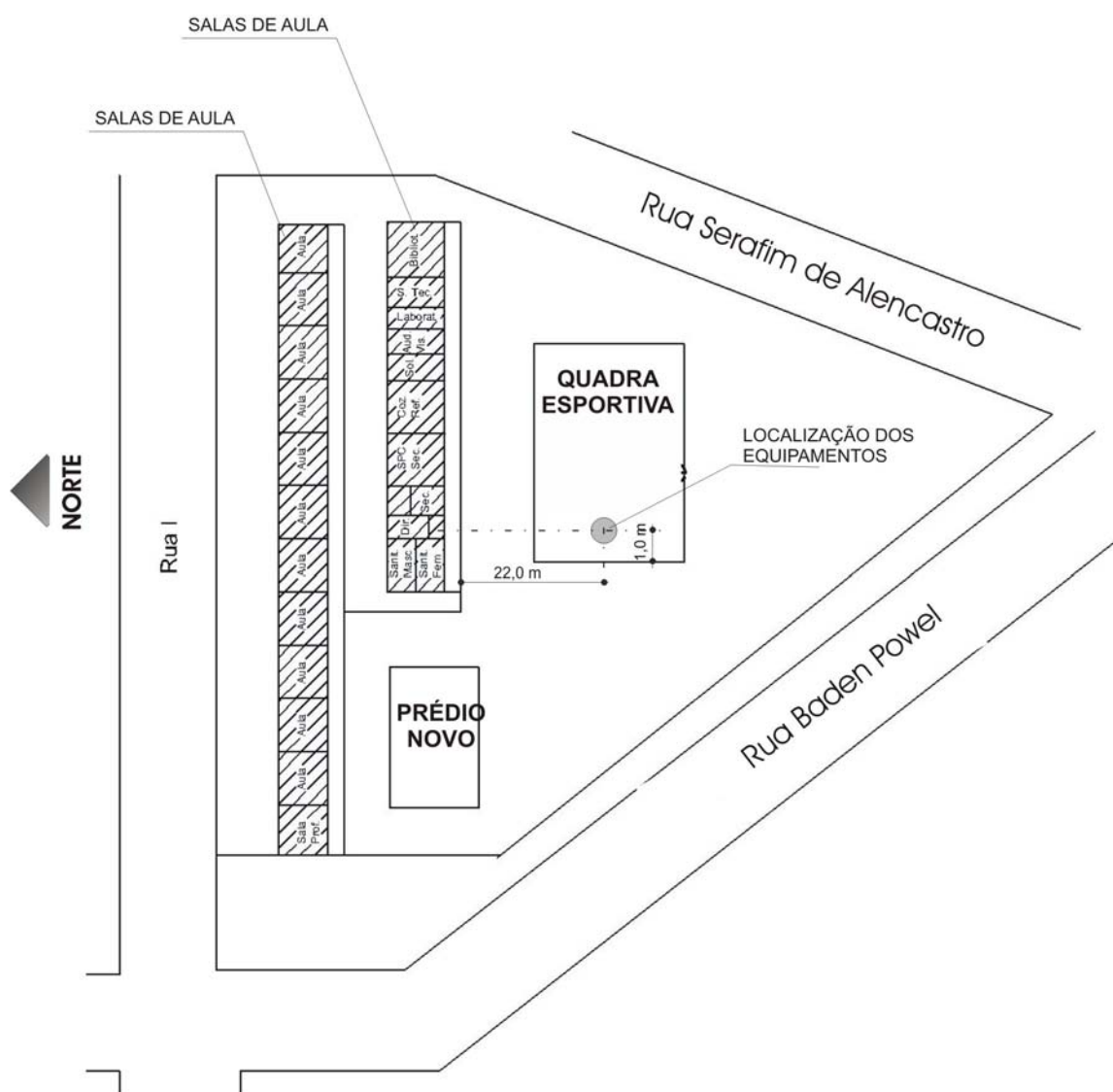


Figura 97: localização dos equipamentos na quadra esportiva da escola CS. (Fonte: adaptado de PORTO ALEGRE, 1979)

APÊNDICE H – Sala de aula e biblioteca na escola CB

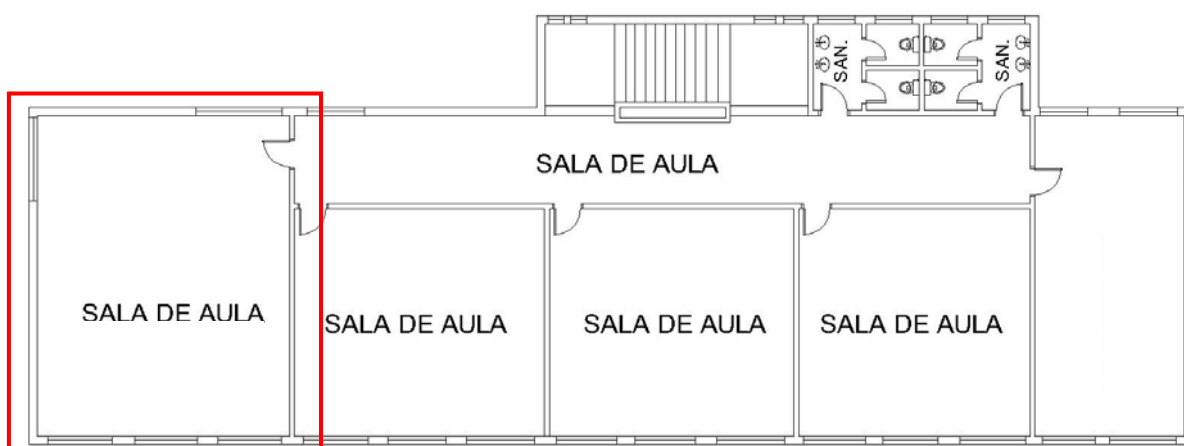


Figura 98: localização da sala de aula na escola CB. (Fonte: adaptado de RIO GRANDE DO SUL, 1988)



Figura 99: vista interna da sala de aula na escola CB.

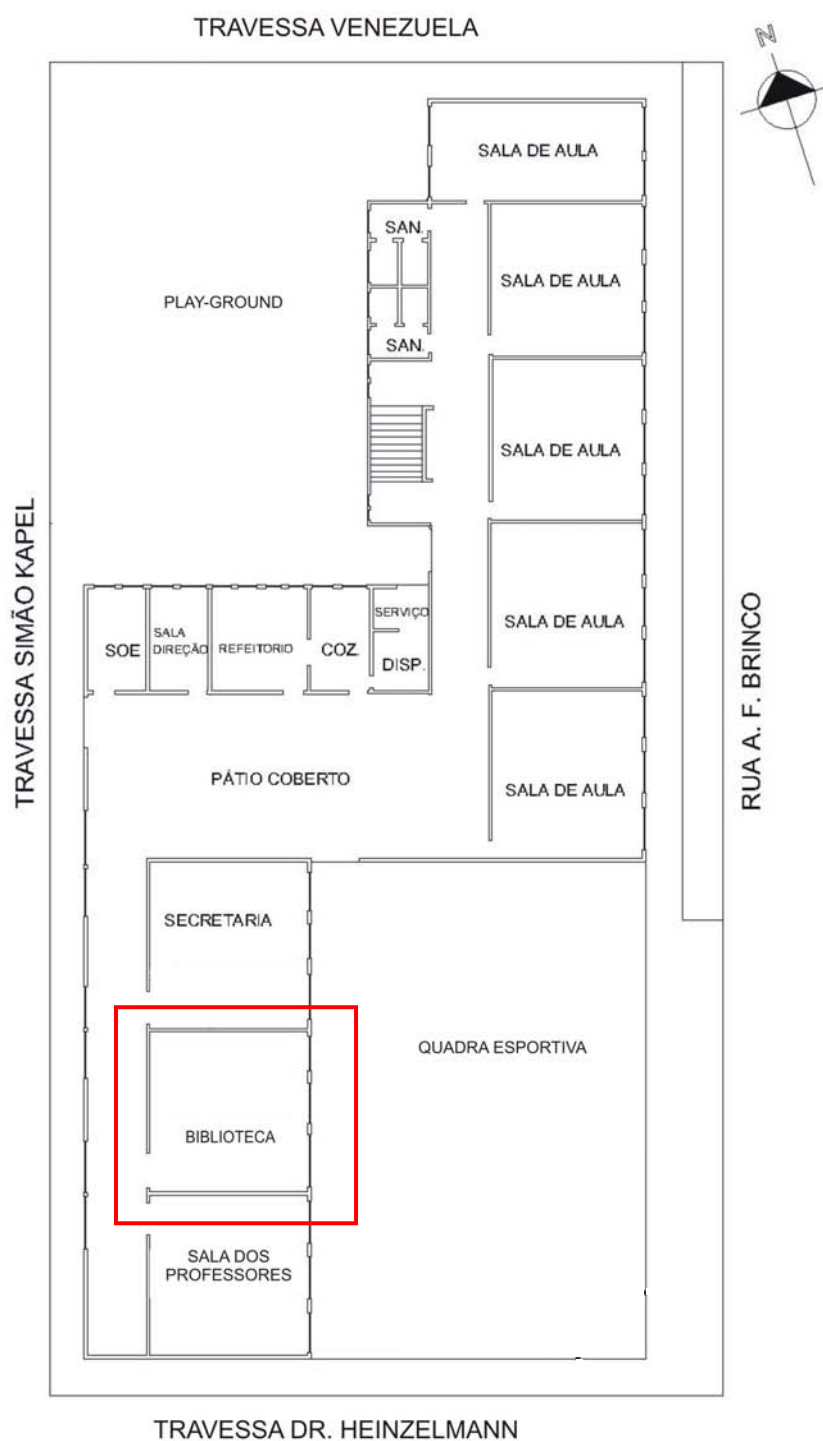


Figura 100: localização da biblioteca na escola CB. (Fonte: adaptado de RIO GRANDE DO SUL, 1988)

APÊNDICE I – Sala de aula e biblioteca na escola LC

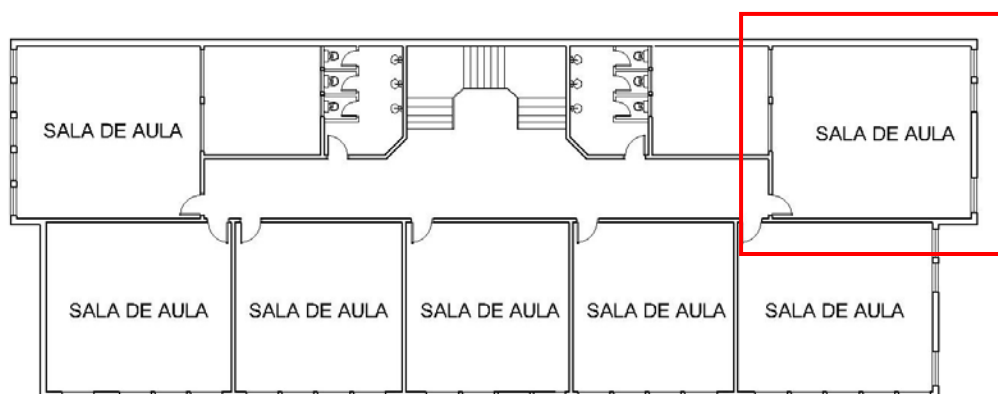


Figura 101: localização da sala de aula na escola LC. (Fonte: adaptado de RIO GRANDE DO SUL, 1989)



Figura 102: vista interna da sala de aula na escola LC.



Figura 103: localização da biblioteca na escola LC. (Fonte: adaptado de RIO GRANDE DO SUL, 1989)



Figura 104: vista interna da biblioteca na escola LC.

APÊNDICE J – Sala de aula e biblioteca na escola CS

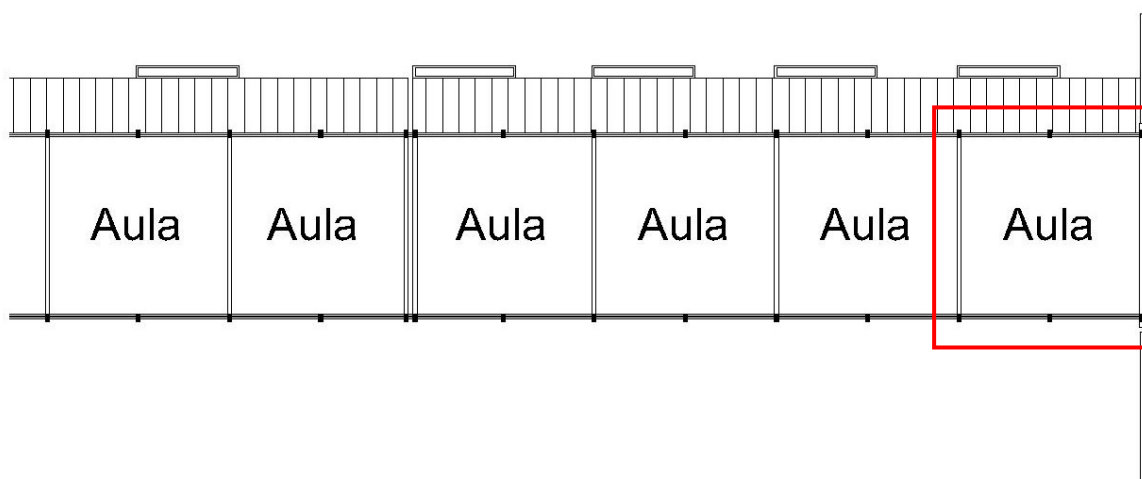


Figura 105: localização da sala de aula na escola CS. (Fonte: adaptado de PORTO ALEGRE, 1979)



Figura 106: vista interna da sala de aula na escola CS.

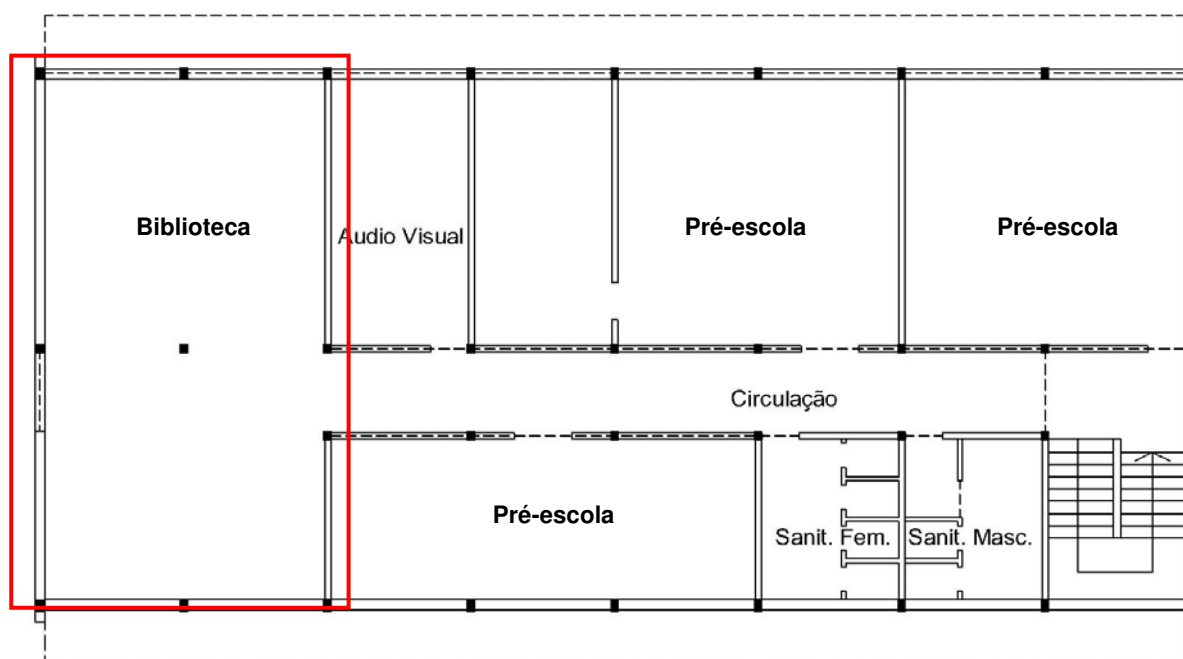


Figura 107: Localização da biblioteca na escola CS. (Fonte: adaptado de PORTO ALEGRE, 1979)



Figura 108: vista interna da área de leitura da biblioteca na escola CS.



Figura 109: vista interna da área do acervo biblioteca na escola CS.

APÊNDICE L – Medição piloto na sala de aula da escola CB

A medição piloto foi realizada no dia 16 de novembro, durante a aplicação do questionário para um das turmas da 6ª série. O tempo total de medição foi de apenas 12 min e 45 s, pois foi verificada agitação na turma com relação à presença do equipamento na sala de aula.

Na Figura 110, a elipse em azul marca a passagem de uma aeronave no momento em que a turma estava mais silenciosa.

Tabela 59: dados da medição piloto na escola CB.

DATA	TURNNO	L_{Aeq}	L_{max}	L_{90}	SEL
16/NOV	1	70,7	85,5	54,0	99,5

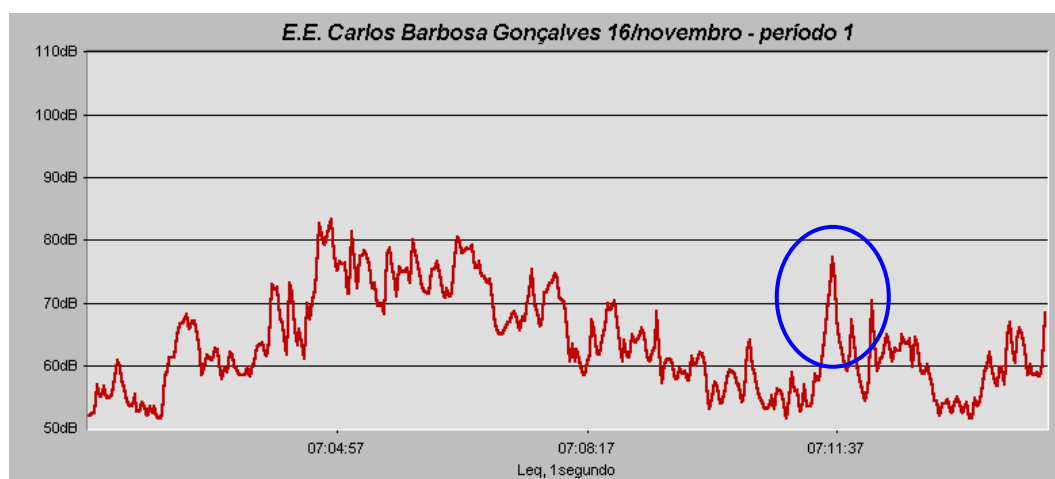


Figura 110: gráfico da medição piloto na escola CB.



Figura 111: posicionamento do equipamento durante a medição piloto na escola CB.

APÊNDICE M – Medição piloto na sala de aula da escola LC

A medição piloto foi realizada no dia 16 de novembro durante a aplicação do questionário para um das turmas da 6ª série. O tempo total de medição foi de apenas 8 min e 9 s, pois foi verificada uma agitação muito grande na turma com relação à presença do equipamento na sala de aula.

A elipse em azul, no gráfico da Figura 112, marca a passagem de uma aeronave que não se diferencia, em termos de perfil gráfico, do ruído global da sala.

Tabela 60: dados da medição piloto na escola LC.

DATA	TURNO	L_{Aeq}	L_{max}	L_{90}	SEL
16/NOV	1	70,6	81,5	60,1	97,5

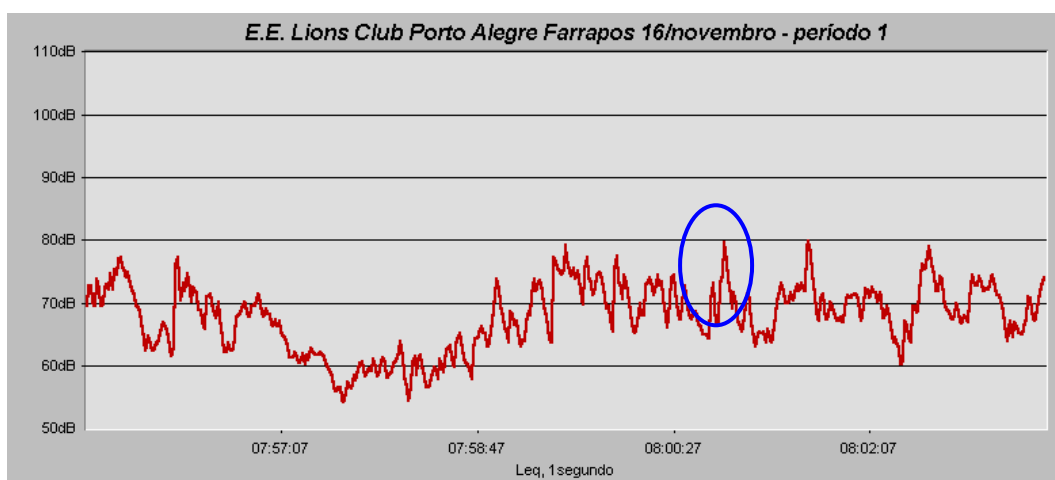


Figura 112: gráfico da medição em uma sala de aula na escola LC.

**APÊNDICE N – Comparação entre o nível sonoro da fala da professora e o
sobrevôo de uma aeronave**

O gráfico da Figura 113 mostra o registro sonoro do período entre 11h e 11h 7min, durante a medição na sala de aula da escola CS.

Durante essa medição o maior nível máximo ocorreu devido à fala da professora, letra (a), enquanto que, a passagem de um Boeing 737-700, letra (b), não teve um destaque tão marcante. O gráfico mostra o perfil gráfico de medição em L_{Aeq} , linha sólida vermelha, e em L_{max} , linha tracejada azul.

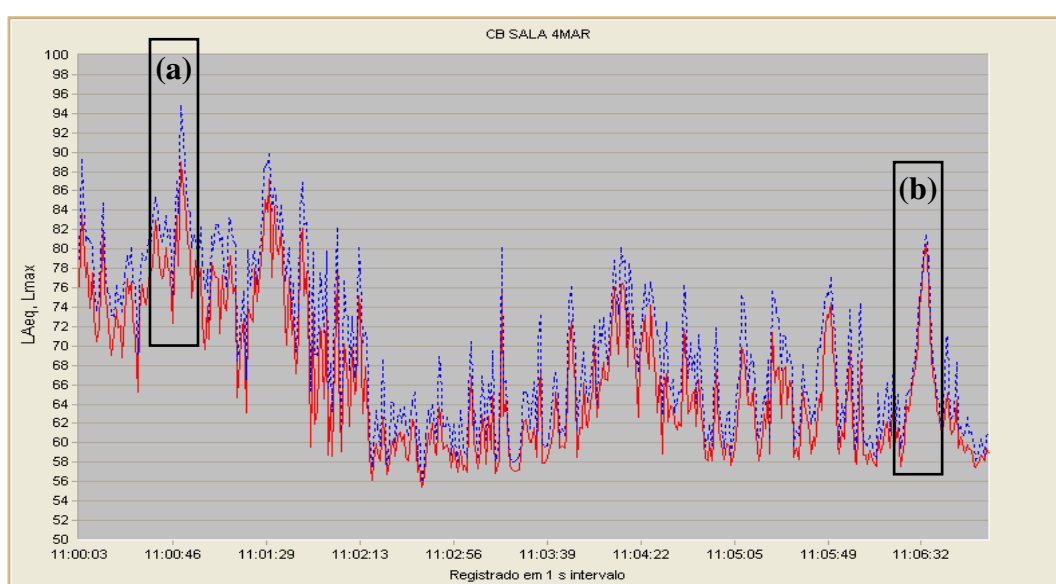


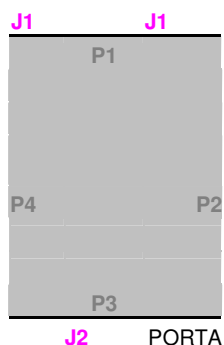


Figura 113: comparação do registro sonoro em uma sala de aula.

**APÊNDICE O – Planilha de análise das características sonoras dos
ambientes internos**

SALA DE AULA**COLÉGIO CS**CONVENÇÕES DO
DIAGRAMA

-  INTERIOR DO AMBIENTE
P = PAREDE
J = JANELA
 PAREDE EXTERNA





DADOS GERAIS	
ÁREA DO PISO	41,22 m ²
FORRO DE CONCRETO	41,22 m ²
ÁREA ALVENARIA	63,47 m ²
ÁREA VIDRO	6,80 m ²
ÁREA TOTAL DAS SUPERFÍCIES INTERNAS	152,71 m ²
VOLUME	112,53 m ³
ABSORÇÃO MÉDIA	0,015

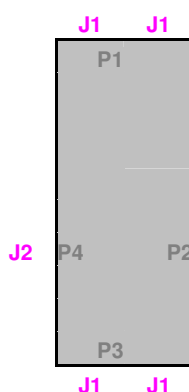
MATERIAL	CTS	FONTE
Alvenaria 25cm	57	PUJOLLE, 1978
Alvenaria 12cm	40	GERGES, 2000
Vidro	25	GERGES, 2000
Madeira	22	EGAN, 1988
Concreto	53	EGAN, 1988

	LARG. (m)	ALT. (m)	ESP. (m)	S (m ²)	Svidro (m ²)	Salv (m ²)	τ	$S\tau$ vidro	$S\tau$ alv	SOMA	S/S τ	PT
J1	1,2	1,63	0,004	1,956			0,00316					
J2	6,87	0,42	0,004	2,88			0,00316					
P1	6,87	2,73	0,125	18,75	3,91	14,84	2E-06	0,0124	3E-05	0,0124	8064,23	39,0
P2	6	2,73	0,125	16,38	0	16,38	2E-06	0,33E-05	3,3E-05	3,3E-05	3059751	64,8
P3	6,87	2,73	0,125	18,75	2,88	15,86	2E-06	0,0091	3,2E-05	0,0092	10921,7	40,3
P4	6	2,73	0,125	16,38	0	16,38	2E-06	0,33E-05	3,3E-05	3,3E-05	3059751	64,8

TEMPO DE REVERBERAÇÃO																				
SUPERFÍCIE	ÁREA (m ²)	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz								
		ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs							
VIDRO	6,797	0,06	0,408	0,05	0,339	0,04	0,272	0,03	0,204	0,02	0,136	0,02	0,136							
PESSOAS	0	0,18	0	0,24	0	0,28	0	0,33	0	0,37	0	0,39	0							
ALVENARIA À VISTA	61,793	0,03	1,8538	0,03	1,854	0,03	1,854	0,04	2,472	0,05	3,089	0,01	0,618							
FORRO CONCRETO	41,22	0,1	4,122	0,05	2,061	0,06	2,473	0,07	2,885	0,09	3,709	0,08	3,297							
PISO PARQUET	41,22	0,04	1,649	0,04	1,649	0,07	2,885	0,06	2,473	0,06	2,473	0,07	2,885							
PORTA MADEIRA	1,68	0,15	0,252	0,25	0,42	0,12	0,202	0,08	0,134	0,08	0,134	0,08	0,134							
TOTAL			8,284		6,323		7,686		8,168		9,543		7,071							
TR CALCULADO			2,2		2,8		2,3		2,2		1,9		2,5							
TRóximo (SEEP <i>et al</i> , 2000)							0,5s													
TRóximo CALCULADO (MÉNDEZ e STORNINI, 1999)							0,65s													
LIMITES PARA MARGEM DE ERRO DE 10%							máx.							0,71s						
							mín.							0,58s						
INTELIGIBILIDADE NA FREQUÊNCIA DE 500 Hz							80,9%													

BIBLIOTECA
COLÉGIO CS
CONVENÇÕES DO DIAGRAMA

-  INTERIOR DO AMBIENTE
P = PAREDE
J = JANELA
 PAREDE EXTERNA



DADOS GERAIS	
ÁREA DO PISO	83,07 m ²
FORRO DE CONCRETO	83,07m ²
ÁREA ALVENARIA	77,73m ²
ÁREA VIDRO	21,58m ²
ÁREA TOTAL DAS SUPERFÍCIES INTERNAS	265,45m²
VOLUME	226,77m ³
ABSORÇÃO MÉDIA	0,11

MATERIAL	CTS	FONTES
Alvenaria 25cm	57	PUJOLLE, 1978
Alvenaria 12cm	40	GERGES, 2000
Vidro	25	GERGES, 2000
Madeira	22	EGAN, 1988
Concreto	53	EGAN, 1988

	LARG. (m)	ALT. (m)	ESP. (m)	S (m ²)	Svidro (m ²)	Salv (m ²)	τ	$S\tau$ vidro	$S\tau$ alv	SOMA	S/S τ	PT
J1	3,31	1,63		5,39			0,0032					
J2	1,9	2,23	0,004	4,24								
P1	6,865	2,73	0,05	18,74	10,79	7,95	2E-06	0,034	1,6E-05	0,034	2929,22	34,67
P2	12,1	2,73	0,05	33,03	0	33,03	5E-06	0,066E-05	6,6E-05	6,6E-05	1517232	61,81
P3	6,865	2,73	0,125	18,74	10,79	7,95	5E-06	0,034	1,6E-05	0,034	2929,22	34,67
P4	12,1	2,73	0,05	33,03	4,24	28,80	5E-06	0,013	5,7E-05	0,013	7431,61	38,71

TEMPO DE REVERBERAÇÃO														
SUPERFÍCIE	ÁREA (m ²)	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz		
		ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	
ALVENARIA À VISTA	76,051	0,03	2,282	0,03	2,282	0,03	2,282	0,04	3,042	0,05	3,803	0,07	5,324	
VIDRO	25,818	0,06	1,549	0,05	1,291	0,04	1,033	0,03	0,774	0,02	0,516	0,02	0,516	
PESSOAS	0	0,18	0	0,24	0	0,28	0	0,33	0	0,37	0	0,39	0	
FORRO MADEIRA	83,066	0,28	23,259	0,2	16,613	0,1	8,307	0,1	8,307	0,8	66,453	0,8	66,453	
PISO PARQUET	83,066	0,04	3,323	0,04	3,323	0,07	5,815	0,06	4,984	0,06	4,984	0,07	5,814	
PORTA MADEIRA	1,68	0,28	0,470	0,2	0,336	0,1	0,168	0,1	0,168	0,8	1,344	0,8	1,344	
LIVROS	83,3	0,02	1,666	0,06	4,998	0,14	11,662	0,37	30,821	0,6	49,98	0,65	54,145	
TOTAL			32,5483		28,842		29,266		48,096		127,08		133,59	
TR CALCULADO			1,1		1,3		1,2		0,8		0,3		0,3	

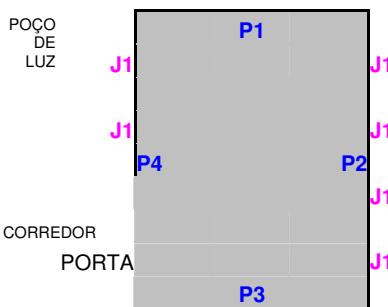
TRótimo (SEEP <i>et al</i> , 2000)	0,5s	
TRótimo CALCULADO (MÉNDEZ e STORNINI, 1999)	0,70s	
LIMITES PARA MARGEM DE ERRO DE 10%	máx.	0,77s
	mín.	0,63s
INTELEGIBILIDADE NA FREQUÊNCIA DE 500 Hz	89,6%	

SALA DE AULA

ESCOLA LC

CONVENÇÕES DO DIAGRAMA

- INTERIOR DO AMBIENTE
P = PAREDE
J = JANELA
 PAREDE EXTERNA



DADOS GERAIS	
ÁREA DO PISO	39 m ²
FORRO DE CONCRETO	39 m ²
ÁREA ALVENARIA	55,98 m ²
ÁREA VIDRO	11,52 m ²
ÁREA TOTAL DAS SUPERFÍCIES INTERNAS	145,5 m²
VOLUME	105,3 m ³
ABSORÇÃO MÉDIA	0,013

MATERIAL	CTS	FONTE
Alvenaria 25cm	57	PUJOLLE, 1978
Alvenaria 12cm	40	GERGES, 2000
Vidro	25	GERGES, 2000
Madeira	22	EGAN, 1988
Concreto	53	EGAN, 1988

ISOLAMENTO SONORO												
	LARG. (m)	ALT. (m)	ESP. (m)	S (m ²)	Svidro (m)	Salv (m)	τ	$S\tau$ vidro	$S\tau$ alv	SOMA	S/S τ	PT
J1	1,2	1,6	0,004	1,92			0,00316					
P1	6,5	2,7	0,25	17,55	0	17,55	2E-06	03,5E-05	3,5E-05	2855768	64,6	
P2	6	2,7	0,25	16,2	7,68	8,52	2E-06	0,02429	1,7E-05	0,0243	4114,67	36,1
P3	6,5	2,7	0,25	17,55	0	17,55	2E-06	03,5E-05	3,5E-05	2855768	64,6	
P4	6	2,7	0,25	16,2	3,84	12,36	2E-06	0,01214	2,5E-05	0,01217	8218,41	39,1

TEMPO DE REVERBERAÇÃO													
SUPERFÍCIE	ÁREA (m ²)	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
		ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs
ALVENARIA REBOCADA	54,3	0,14	7,602	0,1	5,43	0,06	3,258	0,04	2,172	0,04	2,172	0,03	1,629
VIDRO	11,52	0,06	0,691	0,05	0,576	0,04	0,461	0,03	0,3456	0,02	0,230	0,02	0,230
PESSOAS	0	0,18	0	0,24	0	0,28	0	0,33	0	0,37	0	0,39	0
FORRO CONCRETO	39	0,1	3,9	0,05	1,95	0,06	2,34	0,07	2,73	0,09	3,51	0,08	3,12
PISO PARQUET	39	0,04	1,56	0,04	1,56	0,07	2,73	0,06	2,34	0,06	2,34	0,07	2,73
PORTA MADEIRA	1,68	0,15	0,252	0,25	0,42	0,12	0,202	0,08	0,134	0,08	0,1344	0,08	0,134
ABSORÇÃO TOTAL		14,005		9,936		8,990		7,722		8,387		7,843	
TR CALCULADO		1,2		1,7		1,9		2,2		2,0		2,1	
CORREÇÕES (MÉNDEZ e STORNINI, 1999)		1,8		2,0									

TRótimo (SEEP <i>et al</i> , 2000)	0,5s	
TRótimo CALCULADO (MÉNDEZ e STORNINI, 1999)	0,64s	
LIMITES PARA MARGEM DE ERRO DE 10%	máx.	0,71 s
	mín.	0,58s
INTELIGIBILIDADE NA FREQUÊNCIA DE 500 Hz	84,6%	


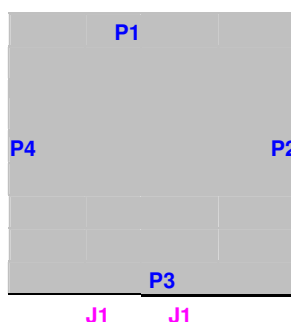
BIBLIOTECA

ESCOLA LC

CONVENÇÕES DO
DIAGRAMA
 INTERIOR DO AMBIENTE

P = PAREDE

J = JANELA

 PAREDE EXTERNA
**DADOS GERAIS**

ÁREA DO PISO	41,04 m ²
FORRO DE CONCRETO	41,04m ²
ÁREA ALVENARIA	64,72m ²
ÁREA VIDRO	2,88m ²
ÁREA TOTAL DAS SUPERFÍCIES INTERNAS	149,68m ²
VOLUME	106,70m ³
ABSORÇÃO MÉDIA	0,102

MATERIAL	CTS	FONTE
Alvenaria 25cm	57	PUJOLLE, 1978
Alvenaria 12cm	40	GERGES, 2000
Vidro	25	GERGES, 2000
Madeira	22	EGAN, 1988
Concreto	53	EGAN, 1988

ISOLAMENTO SONORO

	LARG. (m)	ALT. (m)	ESP. (m)	S (m ²)	Svidro (m)	Salv (m)	τ	$S\tau$ vidro	$S\tau$ alv	SOMA	S/S τ	PT
J1	0,9	1,6	0,004	1,44			0,0032					
P1	7,6	2,6	0,25	19,76	0	19,76	0,0063	0	0,125	0,125	802,07	29,0
P2	5,4	2,6	0,25	14,04	0	14,04	0,0063	0	0,089	0,089	1128,84	30,5
P3	7,6	2,6	0,25	19,76	2,88	16,88	0,0063	0,0091	0,106	0,116	864,95	29,4
P4	5,4	2,6	0,25	14,04	0	14,04	0,0063	0	0,089	0,089	1128,84	30,5

SUPERFÍCIE	ÁREA (m ²)	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
		ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs
MADEIRA	64,72	0,28	18,122	0,2	12,944	0,1	6,472	0,1	6,472	0,8	51,776	0,8	51,776
VIDRO	2,88	0,06	0,173	0,05	0,144	0,04	0,115	0,03	0,086	0,02	0,058	0,02	0,058
PESSOAS	0	0,18	0	0,24	0	0,28	0	0,33	0	0,37	0	0,39	0
FORRO MADEIRA	41,04	0,28	11,492	0,2	8,208	0,1	4,104	0,1	4,104	0,8	32,832	0,8	32,832
PISO PARQUET	41,04	0,04	1,642	0,04	1,642	0,07	2,873	0,06	2,462	0,06	2,462	0,07	2,873
LIVROS	10,8	0,02	0,216	0,06	0,648	0,14	1,512	0,37	3,996	0,6	6,48	0,65	7,02
PORTA MADEIRA	1,68	0,28	0,470	0,2	0,336	0,1	0,168	0,1	0,168	0,8	1,344	0,8	1,344
ABSORÇÃO TOTAL			32,114		23,922		15,244		17,289		94,952		95,902
TR CALCULADO			0,5		0,7		1,1		1,0		0,2		0,2
CORREÇÕES (MÉNDEZ e STORNINI, 1999)			0,8		0,8								

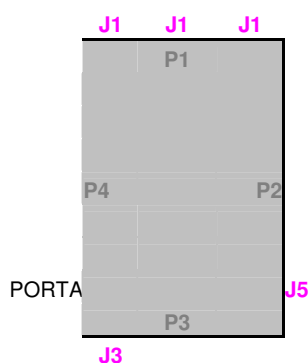
TRótimo (SEEP <i>et al</i> , 2000)	0,5s	
TRótimo CALCULADO (MÉNDEZ e STORNINI, 1999)	0,65s	
LIMITES PARA MARGEM DE ERRO DE 10%	máx.	0,71s
	mín.	0,58s
INTELIGIBILIDADE NA FREQUÊNCIA DE 500 Hz	90,5%	

SALA DE AULA

ESCOLA CB

CONVENÇÕES DO DIAGRAMA

- INTERIOR DO AMBIENTE
P = PAREDE
J = JANELA
 PAREDE EXTERNA

**DADOS GERAIS**

ÁREA DO PISO	46,58m ²
FORRO DE MADEIRA	46,58m ²
ÁREA ALVENARIA	50,51m ²
ÁREA VIDRO	15,01m ²
ÁREA TOTAL DAS SUPERFÍCIES INTERNAS	158,68 m ²
VOLUME	111,792m ³
ABSORÇÃO MÉDIA	0,064

MATERIAL	CTS	FONTES
Alvenaria 25cm	57	PUJOLLE, 1978
Alvenaria 12cm	40	GERGES, 2000
Vidro	25	GERGES, 2000
Madeira	22	EGAN, 1988
Concreto	53	EGAN, 1988

ISOLAMENTO SONORO

	LARG. (m)	ALT. (m)	ESP. (m)	S (m ²)	Svidro (m)	Salv (m)	τ	S_{τ} vidro	S_{τ} alv	SOMA	S/S τ	PT
J1	1,78	1,58	0,004	2,81	8,44		0,00316					
J3	1,65	1,8	0,004	2,97	2,97		0,00316					
J5	2	1,8	0,004	3,6	3,6		0,00316					
P1	6,85	2,4	0,25	16,44	8,44	8,00	2E-06	0,0267	1,6E-05	0,0267	3745,78	35,7
P2	6,8	2,4	0,25	16,32	3,6	12,72	2E-06	0,0114	2,5E-05	0,0114	8764,57	39,4
P3	6,85	2,4	0,25	16,44	2,97	13,47	2E-06	0,0094	2,7E-05	0,0094	10617	40,3
P4	6,8	2,4	0,125	16,32	0	16,32	2E-06	0,3E-05	3,3E-05	3,3E-05	3071000	64,9



TEMPO DE REVERBERAÇÃO

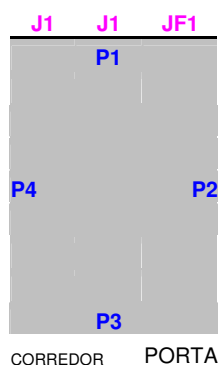
SUPERFÍCIE	ÁREA (m ²)	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
		ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs
ALVENARIA À VISTA	48,83	0,03	1,465	0,03	1,465	0,03	1,465	0,04	1,953	0,05	2,442	0,01	0,488
VIDRO	15,01	0,06	0,900	0,05	0,750	0,04	0,600	0,03	0,450	0,02	0,300	0,02	0,300
FORRO MADEIRA	46,58	0,28	13,042	0,2	9,316	0,1	4,658	0,1	4,658	0,8	37,264	0,8	37,264
PISO PARQUET	46,58	0,04	1,863	0,04	1,863	0,07	3,261	0,06	2,795	0,06	2,795	0,07	3,261
PORTA MADEIRA	1,68	0,15	0,252	0,25	0,42	0,12	0,202	0,08	0,134	0,08	0,134	0,08	0,134
ABSORÇÃO TOTAL			17,523		13,815		10,186		9,991		42,935		41,448
TR CALCULADO (s)			1,0		1,3		1,8		1,8		0,4		0,4
CORREÇÕES (MÉNDEZ e STORNINI, 1999)			1,5		1,5								

TRóximo (SEEP <i>et al</i> , 2000)	0,5s	
TRóximo CALCULADO (MÉNDEZ e STORNINI, 1999)	0,65s	
LIMITES PARA MARGEM DE ERRO DE 10%	máx.	0,71s
	mín.	0,58s
INTELIGIBILIDADE NA FREQUÊNCIA DE 500 Hz	85,4%	

BIBLIOTECA**ESCOLA CB**

CONVENÇÕES DO DIAGRAMA

	INTERIOR DO AMBIENTE
P =	PAREDE
J =	JANELA
	PAREDE EXTERNA



DADOS GERAIS	
ÁREA DO PISO	46,58 m ²
FORRO DE MADEIRA	46,58 m ²
ÁREA ALVENARIA	57,08 m ²
ÁREA VIDRO	8,44 m ²
ÁREA TOTAL DAS SUPERFÍCIES INTERNAS	158,68 m ²
VOLUME	111,792m ³
ABSORÇÃO MÉDIA	0,076

MATERIAL	CTS	FONTE
Alvenaria 25cm	57	PUJOLLE, 1978
Alvenaria 12 cm	40	GERGES, 2000
Vidro	25	GERGES, 200
Madeira	22	EGAN, 1988
Concreto	53	EGAN, 1988

ISOLAMENTO SONORO												
	LARG (m)	ALT. (m)	ESP. (m)	S (m ²)	Svidro (m)	Salv (m)	τ	$S\tau_{vidro}$	$S\tau_{alv}$	SOMA	S/S τ	PT
J1	1,78	1,58	0,004	2,81			0,0032					
P1	6,85	2,4	0,25	16,44	8,4372	8,0028	2E-06	0,0267	1,6E-05	0,0267	3745,8	35,7
P2	6,8	2,4	0,125	16,32		16,32	2E-06	0,0267	3,3E-05	0,02671	3743,4	35,7
P3	6,85	2,4	0,125	16,44		16,44	2E-06	0,0267	3,3E-05	0,02671	3743,4	35,7
P4	6,8	2,4	0,125	16,32		16,32	2E-06	0	3,3E-05	3,3E-05	3071000	64,8

TEMPO DE REVERBERAÇÃO													
SUPERFÍCIE	ÁREA (m ²)	125 Hz		250 Hz		500 Hz		1000 Hz		2000 Hz		4000 Hz	
		ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs	ALFA	S abs
ALVENARIA À VISTA	55,40	0,03	1,66	0,03	1,662	0,03	1,662	0,04	2,216	0,05	2,77	0,010	0,554
VIDRO	8,44	0,06	0,51	0,05	0,422	0,04	0,338	0,03	0,253	0,020	0,168	0,020	0,169
FORRO MADEIRA	46,58	0,28	13,04	0,2	9,316	0,1	4,658	0,1	4,658	0,837	2,26	0,837	2,26
PISO PARQUET	46,58	0,04	1,863	0,04	1,863	0,07	3,261	0,06	2,795	0,062	2,795	0,073	2,61
LIVROS	13,6	0,02	0,272	0,06	0,816	0,14	1,904	0,37	5,032	0,6	8,16	0,65	8,84
PORTA MADEIRA	1,68	0,15	0,252	0,25	0,42	0,12	0,202	0,08	0,134	0,080	0,134	0,080	0,134
TOTAL				17,60		14,5		12,024		15,088		51,29	50,22
TR CALCULADO (s)						1,0	1,2			1,5	1,2	0,3	0,4
CORREÇÕES (MÉNDEZ e STORNINI, 1999)						1,5	1,4						

TRótimo (SEEP <i>et al</i> , 2000)	0,5s	
TRótimo CALCULADO (MÉNDEZ e STORNINI, 1999)	0,65s	
LIMITES PARA MARGEM DE ERRO DE 10%	máx.	0,71 s
	mín.	0,58s
INTELIGIBILIDADE NA FREQUÊNCIA DE 500 Hz	87,6%	

APÊNDICE P – Planilha de cálculo dos índices de incômodo

TIPO DE AERONAVE	DECOLAGEM			ATERRISSAGEM		DECOLAGEM			ATERRISSAGEM		
	LEPN		LAX	LEPN	LAX	nD	nE	nN	nD	nE	nN
	CERT	CALC	CALC	CERT	CALC	7h as 19h	19h as 22h	22h as 7h	7h as 19h	19h as 22h	22h as 7h
B732	89,7	95,1	93,2	96	92,6	21	7	0	14	1	2
B737	85,9	93,1	90,6	96,8	93,4	123	7	7	103	0	22
B777	88,8	92,4	89,1	97,8	94,6	55	19	7	69	21	14
A300	94	96,4	92,7	102,4	95,8	60	7	14	42	17	14
F100	81,8	86,8	84,1	93	89,2	28		7	23	0	6
E100	79,4	81,4	80,1	92,5	88	7			1	0	0
MD11	92,8	97,1	94,5	104,4	96,6	0	14	0		3	0
						294	54	35	252	42	58

T= 60480 segundos para 1 semana

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{Axi}}{10}}$$

LAeq DECOLAGEM

TIPO DE AERONAVE	LAX/10	Nº	PARCIAL POR TIPO DE AERONAVE	SOMATÓRIO X 1/T	LAeq DEC
B732	2,089E+09	28	5,85E+10	4,816E+11 7963553,6	69,01
B737	1,148E+09	137	1,573E+11		
B777	812830516	81	6,584E+10		
A300	1,862E+09	81	1,508E+11		
F100	257039578	35	8,996E+09		
E100	102329299	7	716305095		
MD11	2,818E+09	14	3,946E+10		

LAeq ATERRISSAGEM

TIPO DE AERONAVE	LAX/10	Nº	PARCIAL POR TIPO DE AERONAVE	SOMATÓRIO X 1/T	LAeq AT
B732	1,82E+09	17	3,09E+10	9,203E+11 15217384	71,82
B737	2,188E+09	125	2,73E+11		
B777	2,884E+09	104	3E+11		
A300	3,802E+09	73	2,78E+11		
F100	831763771	29	2,41E+10		
E100	630957344	1	6,31E+08		
MD11	4,571E+09	3	1,37E+10		

Ld DECOLAGEM

TIPO DE AERONAVE	LAX/10 10	Nº DECOLAGENS	PARCIAL POR TIPO DE AERONAVE
B732	2,089E+09	21	4,388E+10
B737	1,148E+09	123	1,412E+11
B777	812830516	55	4,471E+10
A300	1,862E+09	60	1,117E+11
F100	257039578	28	7,197E+09
E100	102329299	7	716305095
MD11	2,818E+09	0	0

SOMATÓRIO X 1/T Ld
3,494E+11 40444726 76,068619

Le DECOLAGEM

TIPO DE AERONAVE	LAX/10 10	Nº DECOLAGENS	PARCIAL POR TIPO DE AERONAVE
B732	2,089E+09	7	1,463E+10
B737	1,148E+09	7	8,037E+09
B777	812830516	19	1,544E+10
A300	1,862E+09	7	1,303E+10
F100	257039578	0	0
E100	102329299	0	0
MD11	2,818E+09	14	3,946E+10

SOMATÓRIO X 1/T Le
9,06E+10 10485868 70,206044

Ln DECOLAGEM

TIPO DE AERONAVE	LAX/10 10	Nº DECOLAGENS	PARCIAL POR TIPO DE AERONAVE
B732	2,089E+09	0	0
B737	1,148E+09	7	8,037E+09
B777	812830516	7	5,69E+09
A300	1,862E+09	14	2,607E+10
F100	257039578	7	1,799E+09
E100	102329299	0	0
MD11	2,818E+09	0	0

SOMATÓRIO X 1/T Ln
4,16E+10 4814280,8 66,825314

Ld ATERRISSAGEM

TIPO DE AERONAVE	LAX/10 10	Nº ATERRISSAGENS	PARCIAL POR TIPO DE AERONAVE
B732	1,82E+09	14	2,548E+10
B737	2,188E+09	103	2,253E+11
B777	2,884E+09	69	1,99E+11
A300	3,802E+09	42	1,597E+11
F100	831763771	23	1,913E+10
E100	630957344	1	630957344
MD11	4,571E+09	0	0

SOMATÓRIO X 1/T Ld
6,293E+11 72830382 78,623126

Le ATERRISSAGEM

TIPO DE AERONAVE	LAX/10 10	Nº ATERRISSAGENS	PARCIAL POR TIPO DE AERONAVE

SOMATÓRIO X 1/T Le

B732	1,82E+09	1	1,82E+09	1,407E+11	16288102	72,118705
B737	2,188E+09	0	0			
B777	2,884E+09	21	6,056E+10			
A300	3,802E+09	17	6,463E+10			
F100	831763771	0	0			
E100	630957344	0	0			
MD11	4,571E+09	3	1,371E+10			

Ln ATERRISSAGEM

TIPO DE AERONAVE	LAX/10 10	Nº ATERRISSAGENS	PARCIAL POR TIPO DE AERONAVE	SOMATÓRIO	X 1/T	Ln
B732	1,82E+09	2	3,639E+09	1,504E+11	17403206	72,406293
B737	2,188E+09	22	4,813E+10			
B777	2,884E+09	14	4,038E+10			
A300	3,802E+09	14	5,323E+10			
F100	831763771	6	4,991E+09			
E100	630957344	0	0			
MD11	4,571E+09	0	0			

$$L_{DN} = 10 \log \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_D} 10^{\left(\frac{SEL_{A,i}}{10}\right)} + \sum_{i=1}^{n_N} 10^{\left(\frac{SEL_{A,i}+10}{10}\right)}}{24 \times 3600} \right]$$

LDN DECOLAGEM

TIPO DE AERONAVE	DIA			NOITE			SOMATÓRIO DIA	SOMATÓRIO NOITE	FRAÇÃO	LDN
	LAX/10 10	Nº DECOLAGENS	PARCIAL POR TIPO DE AERONAVE	LAX+10/10 10	Nº DECOLAGENS	PARCIAL POR TIPO DE AERONAVE				
B732	2,089E+09	28	5,85E+10	2,089E+10	0	0	4,4E+11	4,16E+11	14153343	71,50859
B737	1,148E+09	130	1,493E+11	1,148E+10	7	8,037E+10				
B777	812830516	74	6,015E+10	8,128E+09	7	5,69E+10				
A300	1,862E+09	67	1,248E+11	1,862E+10	14	2,607E+11				
F100	257039578	28	7,197E+09	2,57E+09	7	1,799E+10				
E100	102329299	7	716305095	1,023E+09	0	0				
MD11	2,818E+09	14	3,946E+10	2,818E+10	0	0				

LDN ATERRISSAGEM

TIPO DE AERONAVE	DIA			NOITE			SOMATÓRIO DIA	SOMATÓRIO NOITE	FRAÇÃO	LDN
	LAX/10 10	Nº ATERRISSAGENS	PARCIAL POR TIPO DE AERONAVE	LAX+10/10 10	Nº DECOLAGENS	PARCIAL POR TIPO DE AERONAVE				
B732	1,82E+09	28	5,095E+10	1,82E+10	0	0	8,952E+11	9,455E+11	30435159	74,833756

B737	2,188E+09	130	2,844E+11	2,188E+10	7	1,531E+11
B777	2,884E+09	74	2,134E+11	2,884E+10	7	2,019E+11
A300	3,802E+09	67	2,547E+11	3,802E+10	14	5,323E+11
F100	831763771	28	2,329E+10	8,318E+09	7	5,822E+10
E100	630957344	7	4,417E+09	6,31E+09	0	0
MD11	4,571E+09	14	6,399E+10	4,571E+10	0	0

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{10} + 4 \cdot 10^{10} + 8 \cdot 10^{10} \right)$$

LDEN DECOLAGEM

$$12x10 \quad \begin{matrix} Ld/10 \\ 4x10 \end{matrix} \quad \begin{matrix} Le+5/10 \\ 8x10 \end{matrix} \quad \begin{matrix} Ln+10 \\ 41796503 \end{matrix}$$

Lden**76,21**

LDEN ATERRISSAGEM

$$12x10 \quad \begin{matrix} Ld/10 \\ 4x10 \end{matrix} \quad \begin{matrix} Le+5/10 \\ 8x10 \end{matrix} \quad \begin{matrix} Ln+10 \\ 1,392E+09103010460 \end{matrix}$$

Lden**80,12**

$$CNEL = 10 \log \left\{ \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{10} + 3 \cdot 10^{10} + 9 \cdot 10^{10} \right) \right\}$$

CNEL DECOLAGEM

$$12x10 \quad \begin{matrix} Ld/10 \\ 4x10 \end{matrix} \quad \begin{matrix} Le+5/10 \\ 8x10 \end{matrix} \quad \begin{matrix} Ln+10 \\ 27872437 \end{matrix}$$

CNEL**74,45**

CNEL ATERRISSAGEM

$$12x10 \quad \begin{matrix} Ld/10 \\ 4x10 \end{matrix} \quad \begin{matrix} Le+5/10 \\ 8x10 \end{matrix} \quad \begin{matrix} Ln+10 \\ 1,392E+09103010460 \end{matrix}$$

CNEL**80,12**

ANEXO A – Curvas de ruído do Aeroporto de Sydney

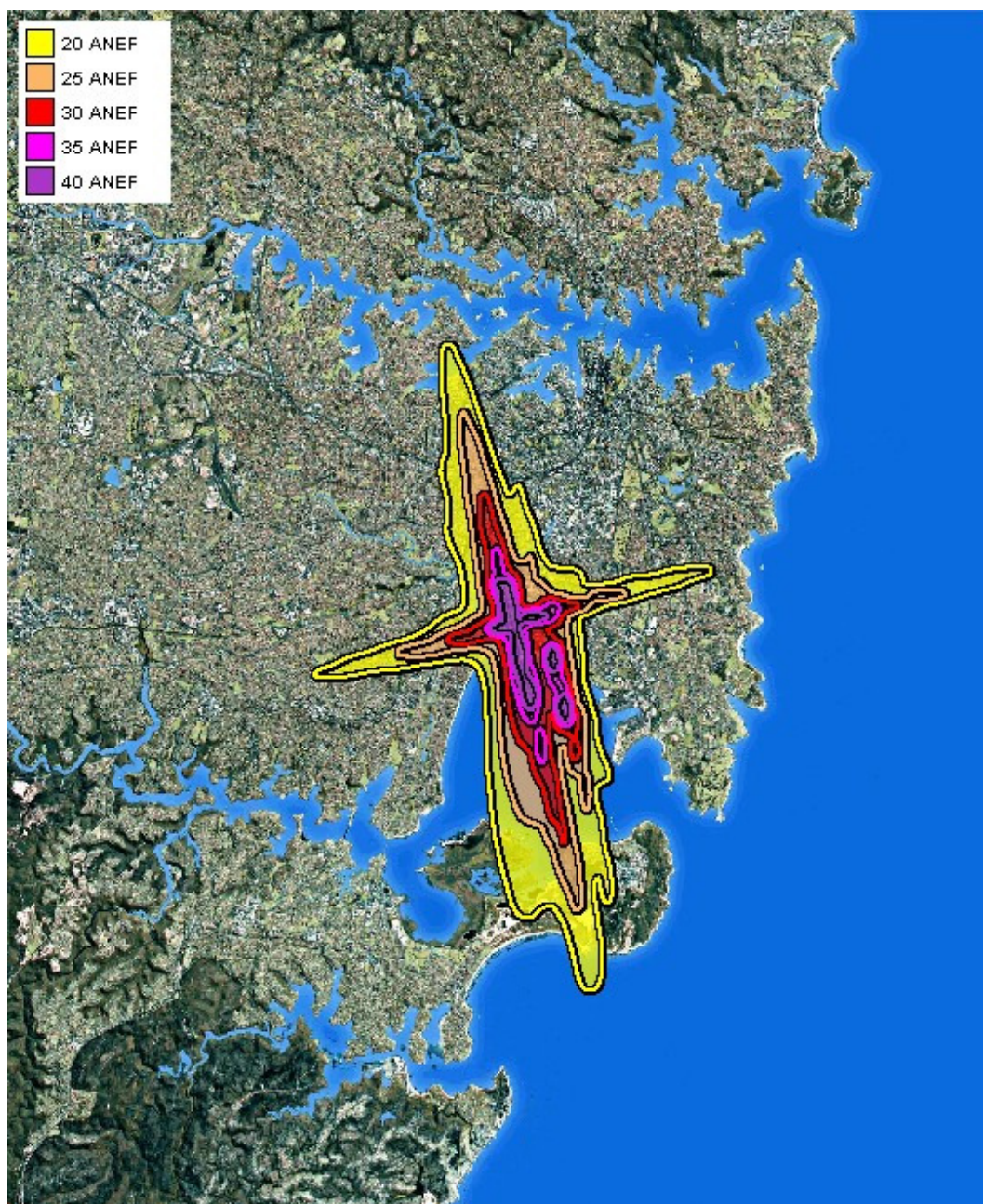


Figura 114: curvas de ruído em ANEF no Aeroporto de Sydney.
(Fonte: AUSTRÁLIA, 2005)

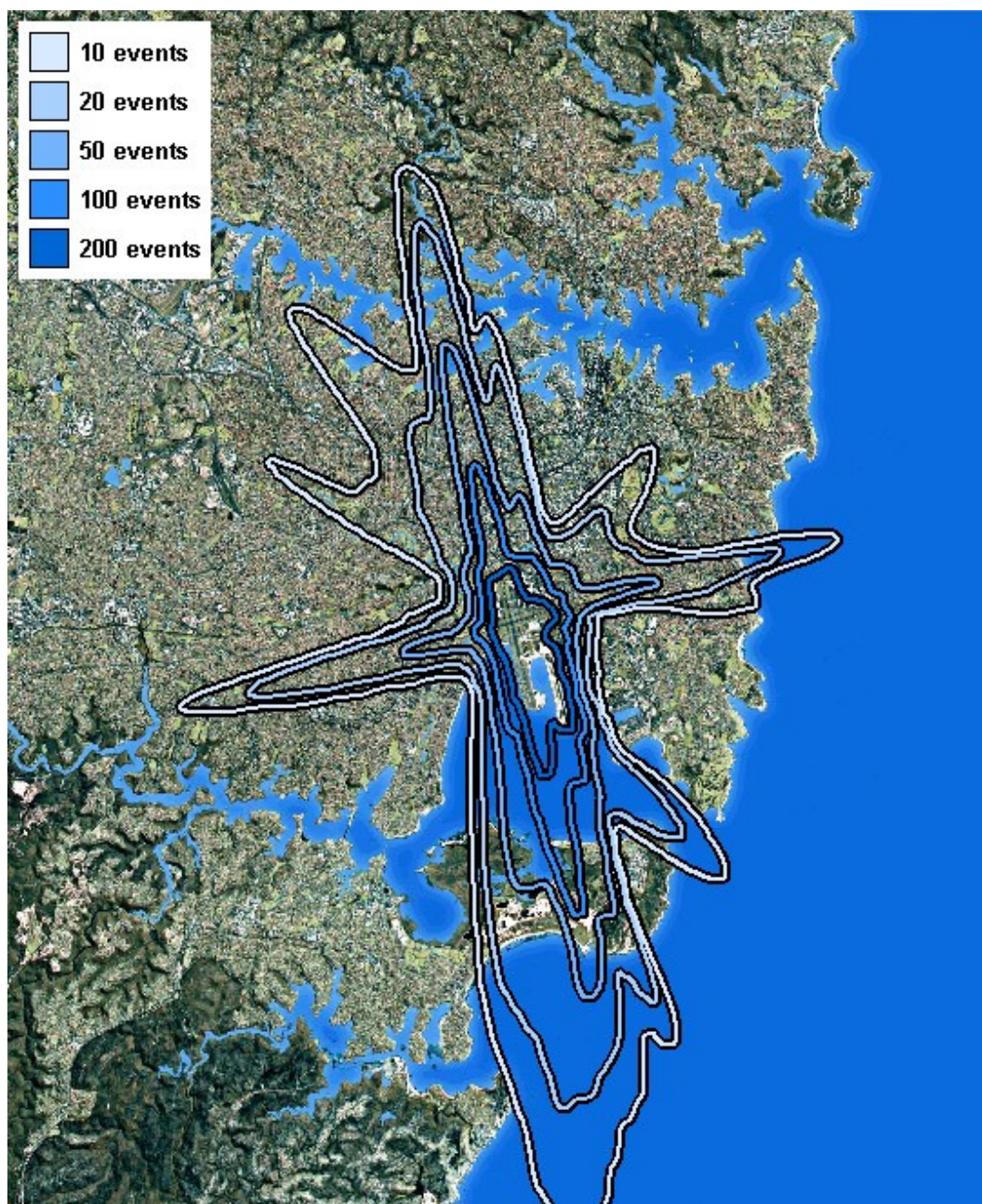


Figura 115: curvas de ruído em número de eventos, no Aeroporto de Sydney. (Fonte: AUSTRÁLIA, 2005)

**ANEXO B – Plano Específico de Zoneamento de Ruído do Aeroporto
Internacional Salgado Filho**

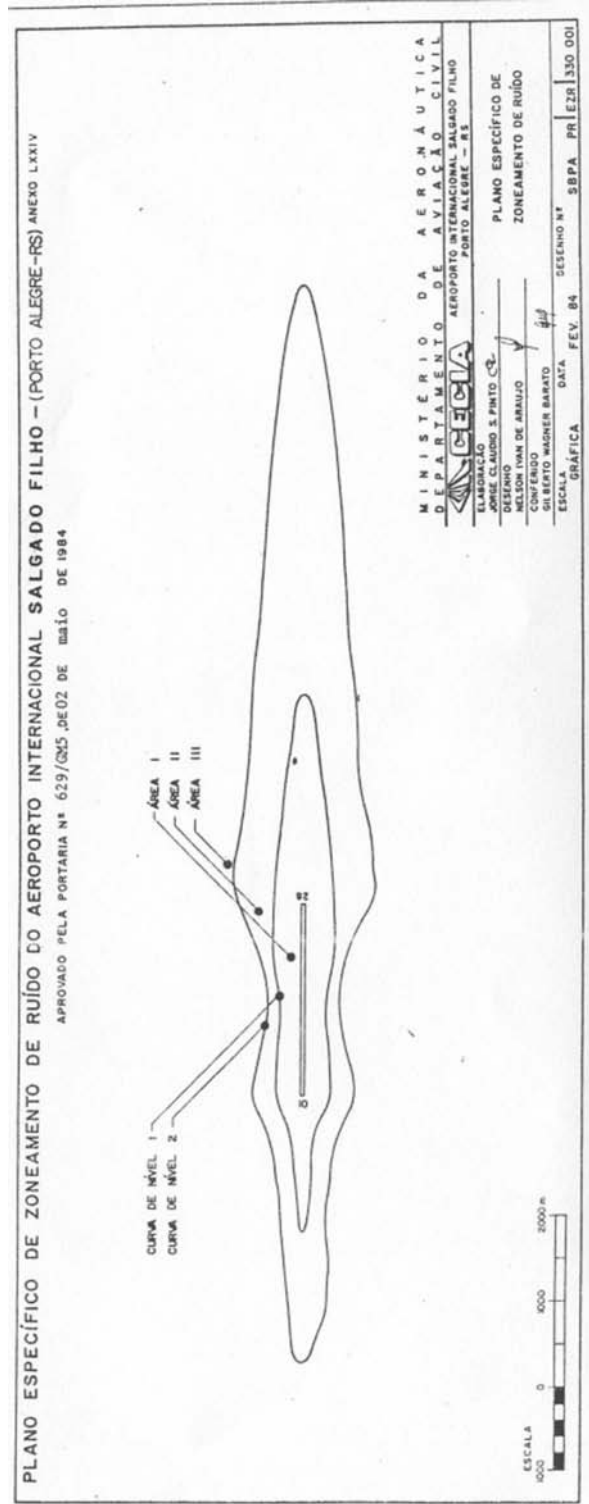


Figura 116: PEZR do Aeroporto Internacional Salgado Filho. (Fonte: BRASIL, 1984)

ANEXO C – Curvas 1 e 2 do PEZR e a localização dos estabelecimentos de ensino dos bairros vizinhos

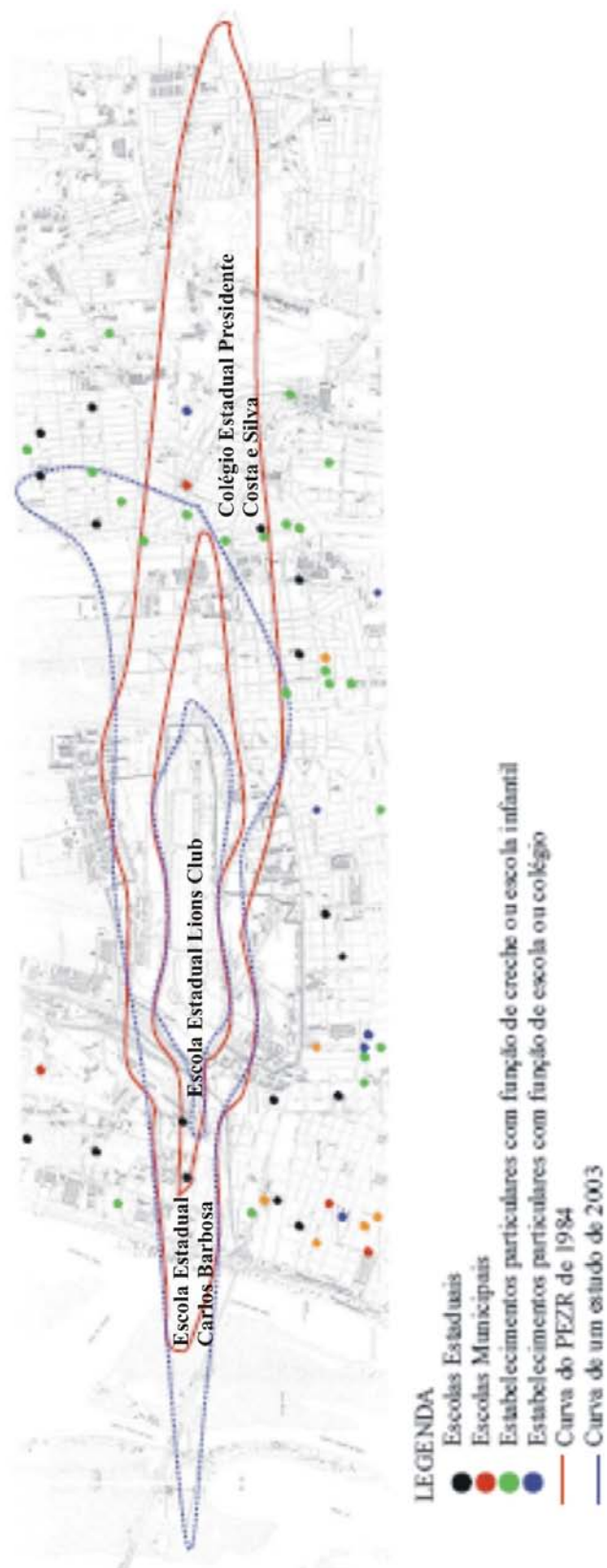


Figura 117: PEZR do Aeroporto Salgado Filho com a localização dos estabelecimentos de ensino dos bairros vizinhos. (Fonte: IAC, 2004)