ANTONIO CARLOS DINATO

Ruído sonoro no entorno de aeroportos.

Um estudo de caso no Aeroporto de Ribeirão Preto.

Tese apresentada ao Departamento de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil.

Área de concentração: Infraestrutura de Transportes

Orientador: Prof. Assoc. Ricardo Ernesto Schaal

São Carlos
2011

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

D583f	<p>Dinato, Antonio Carlos.</p> <p>Ruído sonoro no entorno de aeroportos : um estudo de caso no aeroporto de Ribeirão Preto / Antonio Carlos Dinato ; orientador Ricardo Ernesto Schaal. São Carlos, 2011.</p> <p>Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em Infraestrutura de Transportes) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2011.</p> <p>1. Incomodo Sonoro. 2. Simulação com o INM. 3. Ruído Aeronáutico. 4. Sítio aeroportuário. I. Título.</p>
-------	--

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato(a): Engenheiro **ANTONIO CARLOS DINATO**.

Tese defendida e julgada em 27/06/2011 perante a Comissão Julgadora:

Prof. Associado **RICARDO ERNESTO SCHAAL** – (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADO

Prof. Associado **ANTÔNIO NELSON RODRIGUES DA SILVA**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADO

Prof. Titular **EDUARDO MORGADO BELO**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) Aprovado

Profª. Drª. **BÁRBARA STOLTE BEZERRA**
(Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”/UNESP/campus de Bauru) APROVADO

Prof. Dr. **EDVALDO SIMÕES DA FONSECA JUNIOR**
(Escola Politécnica/EP/USP) APROVADO

Prof. Associado **PAULO CÉSAR LIMA SEGANTINE**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Transportes e Presidente da
Comissão de Pós-Graduação

Agradecimentos

A Deus, pela misericórdia, o amor, o conhecimento, a força espiritual e a motivação que tem me concedido nos últimos anos.

Ao Prof. Ricardo Ernesto Schaal, pela orientação, apoio, incentivo, amizade e confiança em mim depositada ao longo do desenvolvimento da tese, sem os quais certamente esse trabalho não teria se concretizado.

Aos meus pais, Walter Dinato (In Memoriam) e Amélia Evaristo da Silva Dinato, aos meus irmãos Laércio, Fátima e Liliane, a minha esposa Maria Cristina de Oliveira Dinato (Kica), aos meus filhos Bruno e Daniela, a D. Dola minha segunda mãe pelo apoio constante e incentivo.

Aos amigos Antônio Vicente, Luiz Rombola, Roberto Miguel, Riberto da Silva e tantos outros que me ajudaram nesta fase.

Aos Prof. Adalberto Leandro Faxina, Ana Paula Larocca, Antônio Nelson Rodrigues da Silva e Eduardo Morgado Belo pela amizade, incentivo e apoio constantes.

Aos professores do Departamento de Transportes da EESC-USP, pelas oportunidades, pela amizade, consideração e apoio constantes.

Aos colegas de pós-graduação Adriana Goulart, Cira Pitombo, Marcus Vinícius Seráfico, Mateus Araújo e Silva, Bruno Bertoni, Pablo Brilhante pelo tanto de coisas boas que compartilharam comigo nesses últimos anos.

Aos funcionários do Departamento de Transportes da EESC-USP: às secretárias da pós-graduação, Heloísa Morgado Belo e Elizabeth Ortega, às secretárias da graduação, Sueli L. Chinaglia, Antonia Magaly M. César e ao Sr. Alexandre R. de Oliveira, ao técnico em informática Antonio Carlos Mariano e ao desenhista Vicente Daló, aos técnicos de laboratório, Antonio Carlos Gigante, João Pereira Filho, Paulo Toyama e Paulo Sérgio Batista pela amizade e bom humor.

Ao Prof. Anderson Manzoli pela ajuda fundamental com a ferramenta do Autocad na elaboração dos mapas e das cartas georreferenciadas.

Ao Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo – DAESP em nome do superintendente Sr. Ricardo Rodrigues Barbosa Volpi e a todos os funcionários.

"Feliz aquele que transfere o que sabe e aprende o que ensina."

Cora Coralina

Sumário

Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Gráficos e Quadros.....	xvii
Lista de Tabelas.....	xix
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	xxi
Lista de Símbolos.....	xxiii
Resumo.....	xxv
Abstract.....	xxvii
CAPÍTULO 1	29
Introdução.....	29
1.1. O estado da arte.....	29
1.2. Definição do problema.....	33
1.3. Os objetivos da tese.....	34
1.4. A estrutura do texto desta tese.....	35
CAPÍTULO 2	37
O ruído, seus conceitos e métodos.....	37
2.1. O ruído e seus conceitos.....	37
2.1.1. Propriedades Físicas do Som.....	39
2.1.2. Frequência.....	41
2.1.3. Intensidade.....	43
2.1.4. Espectro de Frequência.....	46
2.1.5. Classes spectral na acústica.....	47
2.2. Curvas de ponderação.....	49
2.3. Parâmetros de avaliação da pressão sonora.....	50
2.3.1. Nível de pressão sonora equivalente – $L_{Aeq}^{dB(A)}$	51
2.3.2. Tipos de ruído e sua medição.....	52
2.3.3. Precauções durante as medições.....	57
2.3.4. Determinação do nível de incomodo sonoro - L_{DN}	57
2.4. Determinação do nível efetivo de ruído percebido – Effective Perceived Noise Level - EPNL.....	59
2.5. Determinação do L_{DN} ou DNL (Day-night average sound level).....	65

2.6.	Índices ponderados de ruído – IPR	69
2.7.	As curvas isofônicas	72
CAPÍTULO 3		75
Delineamento do método e cenários propostos		75
3.1.	Sítio aeroportuário: escolha e coleta dos dados	75
3.2.	Ferramentas: Programas computacionais	79
3.2.1.	INM – Integrated Noise Model ou Modelo Integrado de ruído	79
3.2.1.1.	Tipos de dados a serem inseridos no INM.....	80
3.2.2.	GPS - Global Positioning System.....	81
3.2.3.	Medidor de nível de pressão sonora - Decibelímetro.....	83
3.3.	Curvas de ruídos projetadas para o Aeroporto de Ribeirão Preto - 1984	84
3.4.	Coleta dos dados.....	86
3.5.	Delineamento do processo	91
3.6.	Definição dos Cenários.....	93
3.4.1.	Cenário 1.....	93
3.4.2.	Cenário 2.....	95
3.4.2.1.	Localização dos pontos de coleta.....	95
3.4.3.	Cenário 3.....	98
3.4.3.1.	Localização dos pontos de coleta.....	98
CAPÍTULO 4		101
Análise dos Resultados		101
4.1.	Processamento dos dados	101
4.1.1.	Resultados obtidos para o Cenário 1 - GROM	101
4.1.2.	Resultados obtidos para o Cenário 2 - IPT	103
4.1.3.	Resultados obtidos para o Cenário 3 - USP.....	105
4.2.	Análise dos resultados obtidos para os Cenários do estudo de caso	106
4.2.1.	Cenário 1 - GROM	106
4.2.2.	Cenário 2 - IPT	107
4.2.3.	Cenário 3 - USP.....	109
4.3.	Análise dos resultados obtidos para os 3 Cenários	110
4.4.	Análise dos resultados simulados obtidos para a movimentação atual do aeroporto	110
4.5.	Análise estatística dos resultados.....	113
4.6.	Análise da operação com aeronave A320 na decolagem – Área x Pop	116

4.7.	Cálculo total das operações em DNL com alteração de rota - USP	120
4.8.	Análise de espectro de onda em aeronaves do estudo proposto	122
4.9.	Uso ilustrativo de programas alternativos	124
CAPÍTULO 5		127
	Conclusões.....	127
5.1.	Considerações gerais	127
5.2.	Conclusões finais e recomendações	128
REFERÊNCIAS		129
ANEXOS A		139
ANEXOS B		145

Lista de Figuras

Figura 1 – Organograma do projeto	34
Figura 2 - Faixa audível de frequências	41
Figura 3 - Sensação da audição das frequências do som.....	42
Figura 4 - Frequências do piano.....	42
Figura 5 - Esquema da escala em decibel	44
Figura 6 – Exemplo de Níveis de Intensidade Sonora (NIS)	46
Figura 7 – Análise de Fourier	47
Figura 8 - Esquema do cálculo do ruído produzido pela aeronave durante a rolagem para a decolagem e subida	48
Figura 9 - Curvas de ponderação: A, B, C e D	50
Figura 10 – Nível de som equivalente contínuo $L_{Aeq}^{dB(A)}$	51
Figura 11 – Ruído do tipo contínuo	52
Figura 12 – Ruído do tipo flutuante	53
Figura 13 – Ruído do tipo impulsivo	53
Figura 14 - Nível de exposição ao ruído $t = 1s$	58
Figura 15 - Mapa da cidade de Ribeirão Preto realçando o Aeroporto Leite Lopes ..	78
Figura 16 - Planta detalhada do Aeroporto Leite Lopes	78
Figura 17 – Gráfico da curva de ruído na decolagem de um A320 – motor CFM565.....	80
Figura 18 – Garmin GPSMAP 60CSx.....	83
Figura 19 - Localização dos pontos de coleta de dados elaborado pelo MapSource Trip & Waypoint Manager.....	83
Figura 20 - Medidores de nível de pressão sonora da marca ICEL DL4100 e SVAN 945A.....	84
Figura 21 - Curvas de ruído do Aeroporto de Ribeirão Preto	85
Figura 22 - Curvas de ruído de SBRP aprovada pela ANAC para o ano de 2025 configuração final da pista ampliada. Fonte: DAESP	85
Figura 23 - Localização dos pontos levantados pelo IPT	87
Figura 24 – Escolha dos pontos de leitura em DNL [dB(A)]	87
Figura 25 - Localização dos pontos de controle na cab 36	94
Figura 26 - Localização dos pontos de controle na cab 18	94

Figura 27 - Equipamento efetuando leitura (Foto: IPT)	95
Figura 28 - Ponto 01 de coleta de dados (Foto: IPT)	96
Figura 29 - Localização do ponto 02 (Foto: IPT)	96
Figura 30 - Pouso do A320 da TAM (Foto: IPT)	97
Figura 31 - Localização do ponto 03 (Foto: IPT)	97
Figura 32 - Decolagem de um A320 (Foto: IPT).....	98
Figura 33 – Ponto de referência e equipe de trabalho	98
Figura 34 – Localização dos pontos P6 e P6.1 próximos a cabeceira 35	99
Figura 35 – Medidor de nível de pressão sonora posicionado no ponto 6	100
Figura 36 – Medidor de nível de pressão sonora posicionado no ponto 6.1	100
Figura 37 – Rotas de chegadas e saídas com as curvas de ruído de SBRP elaboradas pelo INM. Fonte: Autor.....	101
Figura 38 – Curvas de ruído total geradas pelo INM – Cenário 1	102
Figura 39 - Curvas das cartas de subida e descida do Aeroporto de Ribeirão Preto elaboradas pelo IPT. Fonte: Autor.....	103
Figura 40 - Curvas de ruído em DNL gerada pelo INM – Cenário 2 – IPT	104
Figura 41 - Curvas de ruído em DNL total gerada pelo INM – Cenário 3.....	105
Figura 42 - Curvas de ruído em DNL total gerada pelo INM – Cenário 1	107
Figura 43 - Curvas de ruído em DNL total gerada pelo INM – Cenário 2.....	108
Figura 44 - Curvas de ruído em DNL total gerada pelo INM – Cenário 3.....	109
Figura 45 – Comparativo entre as curvas dos 3 Cenários.....	110
Figura 46 – Comparativo entre as curvas do movimento atual – Padrão e 30°C....	111
Figura 47 – Comparativo entre as curvas do movimento atual e anterior	112
Figura 48 - Histograma da análise estatística dos dados do IPT	114
Figura 49 - Histograma da análise estatística dos dados da USP.....	114
Figura 50 – Curva de ruído da aeronave A320 decolando da cabeceira 18 DNL entre 55 e 65 dB(A)	116
Figura 51 – Área de contorno de ruído da aeronave A320 decolando da cabeceira 36 DNL entre 55 e 65 dB(A)	117
Figura 52 – Alteração de rota de decolagem com aumento na distância de subida na decolagem.....	118
Figura 53 – Rota alterada com curvas de ruído em DNL de 55 a 65 dB(A)	120
Figura 54 – Classificação por capítulos. Fonte: Slama (Grupo GERA)	122
Figura 55 – Frequências de onda do A320	123

Figura 56 – Frequências de onda do ATR42	123
Figura 57 – Frequências de onda do E120	124
Figura 58 – Perspectiva de uma curva de ruído - Fonte: Autor	125
Figura 59 – Projeção em 3D das curvas de ruído - Fonte: Autor	125
Figura 60 – Curvas em DNL – Fonte: Autor	126
Figura 61 – Posição das cabeceiras da pista onde a concentração de ruído sonoro é maior - Fonte: Autor.....	126

Lista de Gráficos e Quadros

Gráfico 1 – Área total em km ² nas curvas de ruído de 55 a 75 dB(A)	102
Gráfico 2 – Área total em km ² das curvas de ruído de 55 a 75 dB(A)	104
Gráfico 3 – Área total em km ² das curvas de ruído de 55 a 75 dB(A)	106
Gráfico 4 – Nível de ruído – População do Cenário 1	106
Gráfico 5 – Nível de ruído – População do Cenário 2	108
Gráfico 6 – Nível de ruído – População do Cenário 3	109
Gráfico 7 – Porcentagem da população e área afetada - antes e depois.....	112
Gráfico 8 – Total da população afetada - antes e depois	113
Gráfico 9 - Comparativo entre os cenários da população afetada.....	115
Gráfico 10 – Comparativo entre os cenários – áreas em km ²	115
Gráfico 11– Área das cabeceiras da pista 18 e 36 – Simulações do INM.....	118
Gráfico 12 – População afetada nas decolagens das cabeceiras da pista 18 e 36 – Simulações do INM	119
Gráfico 13 – Comparativo entre áreas – decolagem cabeceira 36.....	119
Gráfico 14 - Comparativo entre população – decolagem cabeceira 36.....	120
Gráfico 15 – Área das curvas de ruído total em DNL de 55 a 65 dB(A)	121
Gráfico 16 – População aproximada entre as curvas de ruído total em DNL de 55 a 65 dB(A)	121
 Quadro 1 - Velocidades da propagação do som no meio.....	40
Quadro 2 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos em dB(A) .	54
Quadro 3 - Níveis de sons para conforto acústico, segundo a NBR 10.152.....	56

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Frequência padrão de banda de oitava	49
Tabela 2 - Frequência central para 1/3 de oitava de banda	49
Tabela 3 - Relação entre IPR e a reação das comunidades	72
Tabela 4 - Dados coletados pelo IPT	86
Tabela 5 – Dados meteorológicos do dia 15/07/2010 durante um levantamento de dados em campo	88
Tabela 6 – Dados meteorológicos – média do dia	88
Tabela 7 - Dados gerais dos pontos de coleta	89
Tabela 8 – Resultados levantados no campo - USP	90
Tabela 9 – Planilha de dados elaborada pelo autor	99

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
APU	Auxiliary Power Unit
CAEP	Committee on Aviation Environmental Protection
CBA	Código Brasileiro de Aeronáutica
DAC	Departamento de Aviação Civil
DAESP	Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo
DGAC	Departamento Geral de Aviação Civil
dB	Decibel
dB(A)	Decibel A (com ponderação do filtro A)
DNL	Day Night Level
dp	Desvio padrão
ECAC	European Civil Aviation Conference
EESC	Escola de Engenharia de São Carlos
EPA	Environmental Protection Agency
EPIA	Estudos Prévios de Impacto Ambiental
EPN	Effective Perceived Noise
FAA	Federal Aviation Administration
<i>f</i>	Frequência
FICAN	Federal Interagency Committee on Aviation Noise
FICON	Federal Interagency Committee on Noise
GPU	Ground power unit
kHz	Quilo Hertz
km	Kilômetro
Hz	Hertz
I	Intensidade Sonora
IAC	Instituto de Aviação Civil
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAO	International Civil Aviation Organization
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
INM	Integrated Noise Model

IPR	Índice Ponderado de Ruído
ISO	International Standard Organization
LAeq	Nível de Pressão Sonora Equivalente na Curva de Ponderação "A"
LAmáx	Nível de Pressão Sonora Máximo na Curva de Ponderação "A"
Ldn	Nível de Pressão Sonora Equivalente Diurno e Noturno
NPD	Noise vs. Power vs. Distance
NPS	Nível de Pressão Sonora
OACI	Organização da Aviação Civil Internacional
m ²	Metro Quadrado – Área
p	Pressão Sonora
Pa	Pascal
PEZR	Plano Específico de Zoneamento de Ruído
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
RMS	Root Mean Square, Raiz quadrada da média aritmética dos quadrados
s	Segundo – Tempo
SEL	Sound Equivalent Level
SPL	Sound Pressure Level
USP	Universidade de São Paulo
W	Watt – Potência
W/m ²	Watt por Metro Quadrado – Intensidade
ZPA	Zona de Proteção de Aeródromos
ZR	Zoneamento de Ruído

Lista de Símbolos

$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
T	Temperatura
m/s	Metro por segundo
f	Frequência
v	Velocidade
λ	Comprimento de onda
W/cm^2	Watts por centímetro quadrado
I	Intensidade sonora
Log	Logarítmico
L_{eq}	Nível sonoro equivalente
L_{dn}	Nível de exposição sonora
L_{Aeq}	Nível de pressão sonora equivalente
L_i	Nível de pressão sonora
n	Número total de leituras
P_A	Nível de som contínuo no momento A
P_0	Número de leituras
t	tempo
Δ_A	Duração da compensação da elasticidade
L_{AMAX}	Nível máximo de pressão sonora
$^{\circ}$	Grau
'	Minuto
''	Segundo
$^{\circ}\text{F}$	Graus Fahrenheit

Resumo

DINATO, ANTONIO C. Ruído sonoro no entorno de aeroportos. Um estudo de caso no Aeroporto de Ribeirão Preto. 2011. 161 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2011.

Com o aumento do tráfego aéreo no Aeroporto de Ribeirão Preto – SP e o conhecimento de várias reclamações sobre o incômodo sonoro junto ao Ministério Público é apresentada uma análise, através de simulação computacional, de como ficou as curvas de ruído deste aeródromo. O objetivo deste estudo foi verificar como a população, que está no seu entorno, é afetada pela operação das aeronaves e qual o percentual a ser encontrado após a simulação realizada com o programa INM (*Integrated Noise Model*). A simulação indicou que o aumento das operações no Aeroporto Leite Lopes – SBRP não ocasionou um impacto maior na população afetada dentro da área definida pela curva de 65 dB(A), ficando este valor dentro de parâmetros aceitáveis pelas normas adotadas. A velocidade e a direção dos ventos locais contribuem para o aumento do impacto ambiental, sugerindo a necessidade de alterar as rotas das aeronaves conforme ocorrerem estas mudanças meteorológicas. O estudo indicou a necessidade de alteração das rotas de pouso e decolagem. Orientar os pilotos através dos controladores de voo que pousos e decolagens sejam efetuados pela cabeceira da pista 36 (trinta e seis), prolongando o eixo de decolagem em mais 2 milhas náuticas ou 2 km. Para mitigar o efeito do impacto produzido pelas operações das aeronaves no aeroporto, se faz necessário a realização de novos estudos para que possamos orientar o planejamento urbano do entorno utilizando novas rotas de voos com novos levantamentos de campo e simulações.

Palavras-chave: incomodo sonoro; simulação com o INM; ruído aeronáutico; sitio aeroportuário.

Abstract

DINATO, ANTONIO C. Noise in the vicinity of airports. A case study in Ribeirão Preto Airport. 2011. 161 p. Thesis (Ph.D.) - School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, 2011.

With increasing air traffic at the airport of Ribeirão Preto - SP and the knowledge of numerous complaints about noise nuisance with the Public Ministry, it is presented an analysis through computer simulation of how would be the noise curves of this airfield. The objective of this study was to determine how the population, which is in its surroundings, is affected by the operation of aircraft and what percentage to be found after the simulation performed with the program INM (Integrated Noise Model). The simulation indicated that the increase in operations in Leite Lopes Airport - SBRP did not cause increases in the affected population within the area defined by the curve 65 dB(A), with this value within acceptable parameters by the standards adopted. The speed and direction of local winds contribute to the increased environmental impact, suggesting the need to change the routes of aircraft as these weather changes occur. The study indicated the need for change in takeoff and landing routes. Guide the pilots through the flight controllers that takeoffs and landings are made by the end of the runway 36 (thirty six), extending the shaft off at over 2 nautical miles or 2 km. To mitigate the effect of the impact produced by aircraft operations at the airport, it is necessary to carry out further research so we can guide the planning of urban environment using new flight routes with new field surveys and simulations.

Keywords: noise nuisance; simulation with INM; aircraft noise; airport site.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1. O estado da arte¹

A preocupação dos organismos internacionais de aviação civil a respeito do impacto da aviação no meio ambiente teve seu marco inicial em 1944, durante a Convenção de Aviação Civil Internacional de Chicago. Neste período o ruído das aeronaves, que era motivo de preocupação, era apenas o ruído causado pelas hélices. Esta preocupação aumentou com a introdução da primeira geração de aeronaves movidas a reatores no início dos anos 60. Desde então houve o aumento do número de aeronaves e dos serviços de transporte aéreos internacionais (BASTOS; BAUM; DIAS, 2007). No Brasil a norma escrita na Convenção de Chicago foi publicada e colocada em prática pelo Decreto nº 21713, de 27 de agosto de 1946.

De acordo com o CBA – Código Brasileiro de Aeronáutica (Lei Nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986), o uso e a ocupação do solo no sítio aeroportuário e em seu entorno é regido pela legislação aeronáutica relativa à zona de proteção e ruído vigente. A incorporação do Plano Diretor do aeroporto pelo município a torna viável e reduz o nível de impactos sobre a população circunvizinha. Esta incorporação, além de benéfica para o relacionamento com a comunidade, impede que ocupações irregulares criem outros fatores passíveis de danos ao meio ambiente como a destruição da flora e da fauna e a contaminação do solo e de rios.

Segundo Berglund et al., 1999, o ruído aeronáutico é considerado o principal problema ambiental decorrente da atividade aeroportuária, em particular no entorno de aeroportos.

¹ O Estado da Arte é uma das partes mais importantes de todo trabalho científico, uma vez que faz referência ao que já se tem descoberto sobre o assunto pesquisado, evitando que se perca tempo com investigações desnecessárias. Além disso, auxilia na melhoria e desenvolvimento de novos postulados, conceitos e paradigmas (Marques, 2004 – pag. 17).

As operações de pouso, decolagem e teste de motores são os principais geradores de ruído em um aeroporto, entretanto, existem os ruídos decorrentes dos veículos prestadores de serviços de apoio à atividade aérea (APU - *Auxiliary Power Unit*, GPU - *Ground power unit*) que podem ser considerados de maior impacto e que afeta os usuários do aeroporto em virtude da pequena distância da fonte.

Segundo Macedo (2004) o estudo do ruído aeroportuário constitui-se em um procedimento considerado não trivial, pois para que este ocorra devem-se observar diversos elementos que interagem entre si e cujas características estão sempre em transformação dinâmica. Além disso, o diagnóstico ambiental sonoro não pode se limitar unicamente à medida de parâmetros objetivos: existem variáveis subjetivas que influenciam na resposta da população do entorno do aeroporto há um tempo (segundos) de exposição sonora.

Sabe-se que as principais consequências do excesso de exposição ao ruído aeronáutico são os danos causados à saúde física (diminuição da capacidade auditiva) e mental dos seres humanos.

Segundo Damião e Rocha (1998), a ausência de um planejamento adequado da ocupação do entorno do aeródromo irá provocar, a médio e a longo prazo, um conflito previsível entre essa ocupação e a atividade aeronáutica.

O impacto ambiental causado pela aviação civil está ligado diretamente aos problemas decorrentes da operação das aeronaves e à construção e operação dos aeroportos. Os principais problemas são os ruídos aeronáuticos, a emissão de gases provenientes da queima de combustível e os resíduos sólidos e líquidos, danos à flora e fauna e o uso/interferência nos recursos naturais citados também por Horonjeff & McKelvey (1993).

A preocupação com o ruído tem levado alguns países a considerar a possibilidade de proibir a operação de certas aeronaves ruidosas em seus aeroportos. No entanto, as restrições deste tipo podem ter consequências 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 (ICAO, 2004).

Trabalhos científicos relacionados com o ruído ambiental demonstram que uma pessoa só consegue relaxar totalmente durante o sono em níveis de ruído abaixo de 39 dB(A), enquanto a Organização Mundial de Saúde estabelece 55 dB(A) como nível médio de ruído diário para uma pessoa viver bem. Portanto, os ambientes localizados onde o ruído esteja acima dos níveis recomendados necessitam de um isolamento acústico (FERNANDES, 2002).

Acima de 75 dB(A) começa a acontecer o desconforto acústico, ou seja, para qualquer situação ou atividade, o ruído passa a ser um agente de desconforto. Nessas condições há uma perda da inteligibilidade da linguagem, a comunicação fica prejudicada, passando a ocorrer distrações, irritabilidade e diminuição da produtividade no trabalho. Acima de 80 dB(A), as pessoas mais sensíveis podem sofrer perda de audição, o que se generaliza para níveis acima de 85 dB(A) (FERNANDES, 2002) .

Os níveis de ruído e a máxima exposição diária permissível estão descritas na ABNT - NBR 11415 (ABNT, 1990), onde o tempo máximo de exposição para um ruído de 85 dB(A) é de no máximo 8 horas diárias e para um ruído de 115 dB(A) o máximo é de 7 minutos.

Nos EUA, os estudos com o ruído aeronáutico em aeroportos civis iniciaram-se na década de 60, quando as comunidades afetadas pressionaram as autoridades aeroportuárias a estabelecer restrições com relação ao ruído (ICAO, 1970). A FAA - *Federal Aviation Administration*, através da publicação “*Noise Abatement Policy of 1976*”, criou a lei que determinou a Política de Redução de Ruído da Aviação e as responsabilidades compartilhadas para a redução do ruído aeronáutico ao redor dos aeroportos. Após este período, surgiram leis regulamentando fatores ligados ao

ruído, que foram as seguintes: *Quiet Communities Act of 1978 and the Aviation Safety and Noise Abatement Act of 1979* (WERLICH AND KRINSKY, 1981).

Atualmente nos Estados Unidos a lei federal que forma a base para o controle do ruído aeronáutico e o programa de compatibilidade de uso do solo é a elaborada pela *Federal Aviation Regulation*, FAR Part 150 - Noise Compatibility Program (FAA, 2004).

Segundo Souza (2004), no Brasil, a avaliação de impacto ambiental sonoro passou a ser exigida como parte integrante dos Estudos Prévios de Impacto Ambiental (EPIA) e como instrumento de execução da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA).

Na Europa, a aviação é o meio de transporte de maior crescimento, com um aumento de 6% ao ano e com uma projeção de duplicação do tráfego aéreo em 2015. Esse dado se caracteriza em uma preocupação com relação ao aumento da área de alguns dos maiores aeroportos europeus e seu consequente impacto na malha urbana das cidades. No Brasil, este crescimento foi em torno de 8%.

A ocupação irregular, além de gerar danos ao meio ambiente pelo despejo de resíduos sólidos e líquidos, interfere na operação e rotinas do aeroporto nos aspectos operacionais e de segurança (voo e patrimonial), sendo motivo de constante vigilância. Este problema existe em muitos aeroportos administrados pelo Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo - DAESP, pois tanto os vizinhos adentram a área aeroportuária causando danos ao patrimônio como também colocam em risco as operações das aeronaves.

É fato que após a implantação dos aeroportos no Brasil, sempre ocorre uma ocupação desordenada no seu entorno. Isto é devido às várias infraestruturas adicionais que o aeroporto traz para as regiões onde são implantados: sistema viário, energia, água, esgoto. Com isso, deveriam ser anexadas ao plano diretor do município leis que disciplinassem esse crescimento.

O caso mais conhecido desse descaso com a preservação do entorno aeroportuário é o Aeroporto de Congonhas na cidade de São Paulo, criado em 1936, onde hoje existem restrições de operações em vários níveis que vão desde o limite

do horário de operação, cheque de motores etc., inviabilizando por completo a sua ampliação. Hoje, o único instrumento utilizável para preservar um sítio aeroportuário de ocupação irregular é através de projeto de lei disciplinando o uso do solo.

Cabe ressaltar, segundo o Manual de Implementação de Aeroportos do IAC – Instituto de Aviação Civil (2004), que:

[...] a importância da atuação das prefeituras no sentido de preservar a segurança operacional dos aeródromos, inserindo em suas leis de zoneamento, de parcelamento e uso do solo, as restrições impostas pela legislação aeronáutica e de meio ambiente às propriedades vizinhas aos aeródromos, tendo em vista que compete aos municípios promover, no que lhe couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso do solo, do parcelamento e da ocupação do solo urbano, conforme preceitua o inciso VIII do art. 30 da Constituição Federal.

1.2. Definição do problema

Com o ímpeto de desenvolver a aviação no Brasil, aeroportos estão sendo construídos para suprir a demanda de aeronaves e passageiros e, junto com esse desenvolvimento, vêm os problemas advindos das operações cada vez mais constantes dessas aeronaves, aumentando com isso as reclamações da população residente no perímetro dos sítios aeroportuários.

Surgiu com isso a necessidade de aumentar o uso de ferramentas de mitigação do ruído de origem aeronáutica, tomando como base as resoluções do Ministério da Aeronáutica em conjunto com as recomendações da *International Civil Aviation Organization* - ICAO.

Levando em conta as características da rede de aeroportos do DAESP, a proposta para este estudo de caso foi o de utilizar o aeroporto de Ribeirão Preto, por ser de médio porte e possuir as condições ideais para se obter os dados de campo para o desenvolvimento deste projeto de tese.

1.3. Os objetivos da tese

Os objetivos desta pesquisa são:

- Determinação de diretrizes para elaboração de um método que possa auxiliar o mapeamento, acompanhamento e análise do ruído aeronáutico, que auxilie no planejamento urbano e na melhoria da qualidade de vida da população do entorno aeroportuário.
- Propor uma nova abordagem para o estudo do ruído ambiental sonoro produzido pelas aeronaves no entorno aeroportuário, com a utilização do GPS, medidor de nível de pressão sonora e programa de simulação.

A Figura 1 mostra o organograma do desenvolvimento do trabalho onde as fases do projeto são delineadas de forma sequencial onde servirá de embasamento para a conclusão do estudo.

Figura 1 – Organograma do projeto

1.4. A estrutura do texto desta tese

O Capítulo 1 apresenta as considerações iniciais desta tese de doutorado, indicando o problema objeto de estudo, a alternativa para solução do problema levantado, além de trazer um resumo das principais normas da presente pesquisa, o delineamento do método desenvolvido e a organização da apresentação deste texto.

No capítulo 2 é apresentada uma visão geral dos conceitos sobre ruído sonoro. Inicialmente, são discutidos os conceitos básicos e as leis que regem a matéria acerca da caracterização do ruído. Na sequência, são detalhados os procedimentos de medida das propriedades do ruído dB(A).

O capítulo 3 tem por objetivo a apresentação dos métodos atualmente vigentes para a determinação do valor do ruído sonoro das aeronaves no entorno aeroportuário.

O capítulo 4 é destinado à análise dos resultados. Esta análise se deu após as simulações dos cenários onde foram descritos os procedimentos efetuados para cada cenário e finalmente propostos alterações nas rotas de operações das aeronaves no aeródromo.

As conclusões desta tese são apresentadas no capítulo 5, no qual se mostra que é possível determinar uma solução para mitigar as perturbações sonoras causadas nas vizinhanças de um aeroporto, mediante um projeto adequado de levantamento de dados e uso de programas de simulação.

CAPÍTULO 2

O RUÍDO, SEUS CONCEITOS E MÉTODOS

Neste capítulo, é apresentada uma visão geral dos conceitos de ruído sonoro aplicados ao estudo do comportamento humano. Inicialmente, iremos fazer um retrospecto sobre o estado da arte do estudo do ruído e em seguida pontuar os conceitos básicos acerca dos comportamentos dos métodos computacionais.

2.1. O ruído e seus conceitos

Em 1969 a NEPA – *National Environmental Policy Act* começou a discutir ruídos e suas definições.

Em 1971, com o Anexo XVI da ICAO – *International Civil Aviation Organization*, definido no Brasil como OACI – Organização da Aviação Civil Internacional, com o título de *Environmental Protection, Volume I – Aircraft Noise* (1993) foi instituído o primeiro conjunto de normas e práticas recomendadas sobre o ruído de aeronaves. Neste documento figuram todas as disposições relativas aos aspectos da aviação ligados ao ambiente, à certificação acústica de aeronaves (grandes aeronaves subsônicas a jato, aeronaves a pistão e helicópteros) e aos métodos para medir e monitorar o ruído.

Em 1979, a *Federal Aviation Regulation – FAR, Part 150 e a Aviation Safety and Noise Abatement* citado em *Land use compatibility and airports* (FAA, 1998) começaram a desenvolver um sistema simples de controle da medida do ruído em aeroportos. Este sistema era constituído por algumas medidas que deveriam ser adotadas pelos operadores de aeroportos e que consistia no seguinte: desenvolver mapas de exposição ao ruído; programa de compatibilidade ao ruído; levantamento de valores unitários de ruído; método e análise técnica para avaliação de aeroportos; e identificação do uso do solo que são normalmente compatíveis com os vários níveis de ruídos no entorno aeroportuário.

Em 2001, uma assembleia da ICAO aprovou o conceito de abordagem equilibrada (*balanced approach*) para a gestão do ruído aeronáutico (Apêndice C da *Assembly Resolution A33-7*). Esta abordagem identifica o problema do ruído aeroportuário e analisa as várias medidas úteis que visam reduzir o ruído através de quatro variáveis:

- Redução da fonte (aeronaves mais silenciosas)
- Planejamento e gestão do uso do solo no entorno do aeroporto
- Redução de ruído através de procedimentos operacionais e
- Redução de ruído mediante restrição de operação.

No entanto, controlar o ruído ambiental no entorno de aeroportos implica em desenvolver métodos com programas de ações mitigadoras que permitam identificar os elementos que compõem o sistema aeroportuário; delinear no solo, de forma clara, os locais de mesma intensidade de ruído, para permitir a ação dos órgãos reguladores.

Os métodos devem considerar os vários fatores interferentes na resposta humana, de modo a auxiliar efetivamente no planejamento e na elaboração de planos de gestão ambiental urbana, que contribuam efetivamente para a manutenção de um ambiente sonoro adequado ao desenvolvimento sustentável das cidades e, desta forma, servir de apoio à implementação da “Abordagem Equilibrada”.

No Brasil, o Comando da Aeronáutica, através do DAC - Departamento de Aviação Civil publicou os seguintes planos específicos das restrições de uso do solo: ZPA - Planos de Zona de Proteção de Aeródromos e ZR - Zoneamento de Ruído, previstos na Portaria nº 1.141/GM5/87 (embora esta Portaria seja da legislação nacional, a Portaria nº 398/GM5 de 04 de junho de 1999, em seu Art. 1º, aprova a utilização do ANEXO XIV da ICAO à Convenção de Aviação Civil Internacional, Volume I (Aeródromos) e Volume II (Helipontos) e na ASA - Área de Segurança Aeroportuária, definida na Resolução CONAMA nº 4/95.

Os critérios para medição e avaliação do ruído em ambientes internos e externos são fixados pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.

- A. NBR 7731 - Guia para execução de serviços de medição de ruído aéreo e avaliação dos seus efeitos sobre o homem (1983)
- B. NBR 8572 – Fixação de valores de redução de nível de ruído para tratamento acústico de edificações expostas ao ruído aeronáutico (1984)
- C. NBR 10856 (NB-1240) – Determinação do nível efetivo de ruído percebido (EPNL) de sobrevoo de aeronaves (1989)
- D. NBR 11415 (TB-389) – Ruído Aeronáutico (1990)
- E. NBR 12314 – Critérios de ruídos para recintos internos nas edificações submetidas ao ruído aeronáutico (1997)
- F. NBR 10151 - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade (1998)
- G. NBR 10152 (NB-95) - Níveis de ruído para conforto acústico (1999)

2.1.1. Propriedades Físicas do Som

A maioria dos sons que chega aos nossos ouvidos é transmitida pelo ar, que age como meio portador.

O movimento das partículas é dado em função de compressões e rarefações:

- 2. Compressão - lugar onde o ar fica mais denso, pois ocorre um maior agrupamento das partículas.
- 3. Rarefação - lugar onde o ar fica menos denso, pois ocorre um menor agrupamento das partículas.

Em pequenas altitudes os sons são bem audíveis, o que não ocorre em grandes altitudes, onde o ar é menos denso, porque as moléculas estão espaçadas e transmitem menos a energia cinética da onda de uma para a outra, o que faz o ar mais rarefeito e menos transmissor. Os sons não se transmitem no vácuo porque necessitam de um meio material para a sua propagação.

De maneira geral, os sólidos transmitem o som melhor do que os líquidos e os gases. Dependendo do meio em que está sendo transmitido e da temperatura, o som pode assumir valores diferentes de velocidade de propagação (Quadro 1).

A mais antiga tentativa para a determinação da velocidade do som de que se tem notícia foi realizada na França, em 1738, cuja tentativa não foi, entretanto, coroada com êxito. Mas em 1822, pelas experiências conduzidas por uma comissão designada pela academia francesa, chegou-se à conclusão de que a velocidade do som no ar, a uma temperatura de 15,9°C é de 340,94 m/s, e que esta velocidade aumenta de 60 (sessenta) centímetros por segundo para cada aumento de um grau célsius na temperatura (SALIBA, 2001).

Quadro 1 - Velocidades da propagação do som no meio

Velocidades da propagação do som		
MEIO	TEMPERATURA - °C	METRO/SEGUNDO
Ar	0	331,52
Ar	15	340,50
Ar	20	≅ 344,0
Ar	25	346,36
Ar	30	349,25
Ar	35	352,12
Hidrogênio	0	1286
Oxigênio	0	317,2
Água	15	1450
Água	25	1498
Chumbo	20	1230
Alumínio	20	5100
Cobre	20	3560
Ferro	20	5130
Ferro	25	5200
Granito	0	6000
Borracha vulcanizada	0	54
Vidro	25	4540
Dióxido de carbono	0	259
Hélio	0	965
Mercúrio	20	1450
Água doce	20	1482
Etanol	20	1162
Clorofórmio	20	1004

A equação que determina a velocidade do som no ar em função da temperatura é dada por:

$$C = C_{(0^{\circ})} \times \sqrt{1 + T_{(^{\circ}C)} / 273,15} \quad (1)$$

Onde:

$$C_{(0^{\circ})} = 331,52 \text{ m/s} = \text{velocidade do som a } 0^{\circ}\text{C}$$

O som no ar é um fenômeno vibratório resultante de variações da pressão de repouso.

Essas variações de pressão se dão em torno da pressão atmosférica e se propagam longitudinalmente à velocidade de 344 m/s para 20°C.

2.1.2. Frequência

Frequência (f) é o número de oscilações por segundo do movimento vibratório do som. Para uma onda sonora em propagação, é o número de ondas que passam por um determinado referencial em um intervalo de tempo. Chamando de l o comprimento de onda do som e V a velocidade de propagação da onda, pode-se escrever:

$$V = l \cdot f \quad (2)$$

A unidade de frequência (SI) é ciclos por segundo, ou Hertz (Hz). Portanto, um som de 32 Hz tem um comprimento de onda de 10,63 m e um som de 20.000 Hz tem um comprimento de onda de 1,7 cm (FERNANDES, 2002).

O ouvido humano é capaz de captar sons de 20 a 20.000 Hz. Os sons com menos de 20 Hz são chamados de infra-sons e os sons com mais de 20.000 Hz são chamados de ultra-sons. Esta faixa de frequências entre 20 Hz e 20 kHz é definida como faixa audível de frequências ou banda audível (BERANEK, 1989 apud FERNANDES, 2002), Figura 2.

Figura 2 - Faixa audível de frequências

Fonte: Fernandes (2002)

Dentro da faixa audível, verificamos que o ouvido percebe as frequências de uma maneira não linear. Experiências demonstram que o ouvido humano obedece a *Lei de Weber* de estímulo/sensação, ou seja, as sensações como cor, som, odor, dor, etc., variam como o logaritmo dos estímulos que as produzem, Figura 3.

Figura 3 - Sensação da audição das frequências do som

Fonte: Fernandes (2002)

Assim, os intervalos entre os sons de 100 e 200 Hz, 200 e 400 Hz, 400 e 800 Hz parecerão iguais ao nosso ouvido. Portanto, pela Lei de Weber, concluímos que o intervalo entre frequências não se mede pela diferença de frequências, mas pela relação entre elas. Desta maneira, se define uma oitava como sendo o intervalo entre frequências cuja relação seja igual a 2.

$$\frac{200}{100} = \frac{400}{200} = \frac{800}{400} = 2 \Rightarrow 1 \text{ oitava}$$

Esta é a razão pela qual os intervalos entre as notas DÓ sucessivos de um teclado de piano parecem sempre iguais, constituindo o intervalo de uma oitava (Figura 4). Em qualquer representação gráfica (figuras ou gráficos) colocamos a frequência em escala logarítmica por ser a forma que mais se aproxima da sensação do nosso ouvido.

Figura 4 - Frequências do piano

2.1.3. Intensidade

A energia de uma onda sonora é a medida da quantidade de som nela presente. Normalmente o que nos interessa é a quantidade de energia transmitida por unidade de tempo, e não a energia total transferida, que quer dizer o número em joules por segundo (watts) que se propagam.

Som é uma quantidade tridimensional, por isso temos que levar em conta a área quando se fala em transmissão de energia, isto é, temos que definir uma quantidade em termos de watts por unidade de área. Essa quantidade é chamada de intensidade sonora, que nos dá uma medida da densidade da potência de um som propagando em uma direção particular.

A intensidade sonora representa o fluxo de energia por unidade de área. Pode variar em uma escala que é maior que um milhão de milhões (10^{12}). Por esta causa, e pela maneira em que percebemos o volume sonoro, a intensidade é expressa em uma escala logarítmica (LAZZARINI, 1998).

A intensidade de um som pode ser medida através de dois parâmetros:

- ➔ a potência contida no movimento vibratório - W / cm^2
- ➔ a pressão do ar causado pela onda sonora - $BAR = 1dina / cm^2$

Como valor de referência para as medições, fixou-se a menor intensidade sonora audível. Esse valor, obtido da média da população, foi de:

- ❖ Para potência = $(10^{-16})W / cm^2$
- ❖ Para pressão = $(2 \times 10^{-4})BAR$

Como podemos notar, do ponto de vista físico a potência de um fenômeno sonoro é desprezível em relação a outras potências envolvendo o corpo humano. Ao fazermos uma relação entre a intensidade sonora e a audição, novamente nos encontramos com a *Lei de Weber*, ou seja, conforme aumentamos a intensidade sonora o nosso ouvido fica cada vez menos sensível; ou seja, precisamos aumentar

a intensidade de maneira exponencial para que o sistema auditivo "sinta" o som de maneira linear.

Desta maneira, quando escutamos um aparelho de som que esteja reproduzindo 20 Watts de potência elétrica e aumentamos instantaneamente a sua potência para 40 Watts, o som nos parecerá mais intenso. Se quisermos agora, aumentar mais uma vez o som para que o resulte a mesma sensação de aumento terá que passar para 80 Watts.

Portanto, usamos uma escala logarítmica para a intensidade sonora, da mesma maneira que usamos para a frequência.

Para contornar esses problemas lançamos mão da escala logarítmica. Vamos usar apenas o expoente das relações (Figura 6) e dizer que o ruído da rua está 8 BELs acima do limite de audibilidade (com valor de 0 BEL).

Figura 5 - Esquema da escala em decibel

Fonte: Fernandes, 2002.

Agora a escala ficou reduzida em excesso, pois entre o limiar de audibilidade e o ruído da rua existem mais de 8 unidades de sons audíveis. Foi criado, então, o

décimo do BEL, ou seja, o decibel: dizemos agora que o ruído da rua está 80 dB (com o "d" minúsculo e o "B" maiúsculo), acima do valor de referência.

A intensidade sonora medida em decibel é definida como Nível de Intensidade Sonora (*NIS*) ou *Sound Intensity Level* (*SIL*).

Devemos sempre lembrar que:

- Intensidade Sonora em W / cm^2
- Nível de Intensidade Sonora – NIS em decibel (dB)

Assim, o *NIS*, medido em decibel, satisfaz a construção fisiológica do nosso ouvido. Matematicamente podemos escrever:

$$NIS = 10 \cdot \log \frac{I}{I_{ref}} \quad (3)$$

Onde I é a intensidade sonora de um som, e $I_{ref} = (10^{-16}) W / cm^2$

Como ilustração, se utilizarmos como exemplo um aparelho de som com 20 Watts, digamos que o aparelho reproduza 60 dB de nível de intensidade sonora no ambiente; com 40 W, o aparelho reproduzirá 63 dB e com, 80 W 66 dB. Da mesma forma, um avião a jato produz perto de 140 dB de NIS; dois aviões idênticos produzirão 143 dB. Portanto, na escala em decibel, o dobro de 70 dB é 73 dB assim como o dobro de 120 dB é 123 dB e, na razão inversa, a metade de 90 dB é 87 dB assim como a metade de 150 dB é 147 dB (FERNANDES, 2002).

Figura 6 – Exemplo de Níveis de Intensidade Sonora (NIS)

Fonte: Gerges, 2000.

2.1.4. Espectro de Frequência

O matemático francês J. Fourier, no século XVII (1738-1830) provou matematicamente que qualquer forma de onda, independentemente da sua origem, é um somatório de ondas senoidais de diferentes frequências, amplitudes e fases. Foi mostrado por Fourier que, se a forma de onda se repete periodicamente, então as frequências de componentes senoidais são restritas a valores múltiplos da frequência de repetição da forma de onda.

A frequência destas ondas senoidais que formam o espectro guardam uma relação numérica com a frequência mais baixa da série que, por este motivo, é chamada de frequência fundamental (f_0). As demais frequências, que forem múltiplos inteiros da frequência fundamental com valores iguais a $2 f_0$, $3 f_0$, $4 f_0$, $5 f_0$, são os sobretons de f_0 e são conhecidas como tons harmônicos ou frequências harmônicas, sendo registradas por f_1 , f_2 , f_3 , f_n . A Figura 8 ilustra a Análise de Fourier.

Figura 7 – Análise de Fourier

Fonte: adaptado por Fernandes, 2002.

A densidade espectral apresenta a energia do fenômeno vibratório em função da frequência. O gráfico de densidade espectral mostra a energia da onda sonora para cada frequência discreta ou banda de frequência.

2.1.5. Classes spectral na acústica

Nas coletas de dados, os mesmos são apresentados pelo ruído das aeronaves como sendo 1/3 da banda de oitava de alcance (50 Hz a 10 kHz)

medidos no tempo L_{ASmax} e corrigida para a distância de 305 m assumidas no SAE AIR 1845 (1986), do coeficiente de absorção da atmosfera.

Figura 8 - Esquema do cálculo do ruído produzido pela aeronave durante a rolagem para a decolagem e subida

Fonte: SAE AIR 1845

O ponto de partida de muitos modelos empíricos, como o utilizado pelo *Integrated Noise Model* – INM tem como referência uma base de dados. O INM contém um banco de dados que correlaciona ruído, potência e distância - *Noise vs. Power vs. Distance* (NPD), contendo também um banco de dados de recursos espectrais, aplicados apenas no cálculo da absorção sonora atmosférica. Os dados NPD de uma aeronave são divididos em vários níveis de decibéis em função da potência dos motores e a distância entre o observador e a aeronave (OLMSTEAD ET AL., 2002).

Tabela 1 - Frequência padrão de banda de oitava

Frequencia Central (Hz)	Banda Efetiva (Hz)
31.50	22.1 - 44.2
63.00	44.2 - 88.4
125.00	88.4 - 177
250.00	177 - 354
500.00	354 - 707
1.00	707 - 1.414
2.00	1.414 - 2.828
4.00	2.828 - 5.657
8.00	5.657 - 11.314

Tabela 2 - Frequência central para 1/3 de oitava de banda

Frequencia Central (Hz)	Frequencia Central (Hz)	Frequencia Central (Hz)
10	100	1.00
12.5	125	1.25
16	160	1.60
20	200	2.00
25	250	2.50
31.5	315	3.15
40	400	4.00
50	500	5.00
63	630	6.30
80	800	8.00

2.2. Curvas de ponderação

Com o objetivo de corrigir o nível de pressão sonora em decibéis para aproximar os valores medidos àqueles efetivamente percebidos pelo ouvido humano, foram criados os filtros de ponderação, que são ferramentas utilizadas para corrigir os valores medidos. Estas curvas de ponderação são denominadas de filtros: A, B, C e D, sendo que o filtro D foi concebido especificamente para uso aeronáutico (Figura 9). Os níveis de pressão sonora submetidos a este tipo de ponderação são apresentados como dB(A), dB(B), dB(C) e dB(D), sendo o dB(A) o mais utilizado para os levantamentos de ruídos.

Figura 9 - Curvas de ponderação: A, B, C e D

2.3. Parâmetros de avaliação da pressão sonora

Os parâmetros mais utilizados para avaliação da pressão sonora são o Nível Sonoro Contínuo Equivalente L_{eq} (*Equivalent Continuous Sound Level*) e o Nível de Exposição Sonora L_{DN} ou SEL [(*Sound Exposure Level*) (ISO 1996/1-1982 E)].

O L_{eq} leva em consideração que o som é uma fonte de energia e, para se avaliar os danos causados à audição, deve-se considerar não apenas os níveis sonoros, mas também seu tempo de duração.

O nível de exposição sonora, designado como L_{DN} ou SEL , é o ruído total da energia produzida a partir de um único evento acústico e é calculado a partir do dB(A) percebido pelo medidor de nível de pressão sonora (decibelímetro).

No caso de níveis sonoros variáveis, estes devem ser medidos a intervalos de tempo sucessivos e bem definidos. As medições feitas sob essas condições devem oferecer condições para se avaliar o L_{eq} , que corresponde ao nível constante e, possui a mesma quantidade de energia que o conjunto de níveis variáveis da fonte sonora que desejamos medir (NBR 11415, 1990).

2.3.1. Nível de pressão sonora equivalente – $L_{Aeq}^{dB(A)}$

É o nível que, na hipótese de poder ser mantido constante durante o período de medição, acumularia a mesma quantidade de energia acústica que os diversos níveis variáveis acumulam no mesmo período (NBR 10151-1987).

Segundo a NBR 10151 pode ser:

- **ruído com caráter impulsivo:** É todo o ruído que contém impulsos, que são picos de energia acústica com duração menor do que um segundo e que se repete a intervalos maiores do que um segundo, por exemplo, martelagens, bate-estacas, tiros e explosões.
- **ruído com componentes tonais:** É o ruído que contém apitos, chiados ou zumbidos.
- **nível de ruído ambiente:** É o nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A”, no local e horário considerados, na ausência do ruído gerado pela fonte sonora em questão.

Nesse método de medição, obtemos um nível de ruído contínuo que possui a mesma energia acústica que os níveis flutuantes originais durante um período de tempo. O princípio da mesma energia assegura a precisão do método para avaliação dos efeitos do ruído sobre o aparelho auditivo, sendo adotado pela Norma ISO e muitas normas nacionais. A figura 10 ilustra o $L_{Aeq}^{dB(A)}$ graficamente.

Figura 10 – Nível de som equivalente contínuo $L_{Aeq}^{dB(A)}$

Fonte: adaptado por Fernandes, 2002

2.3.2. Tipos de ruído e sua medição

De um modo geral, os ruídos podem ser classificados em 03 tipos:

Ruídos contínuos: são aqueles cuja variação de nível de intensidade sonora é muito pequena em função do tempo. São ruídos característicos de bombas de líquidos, motores elétricos, engrenagens, etc. (Figura 11).

Figura 11 – Ruído do tipo contínuo
Fonte: Brüel & Kjaer, 2001.

Ruídos flutuantes: são aqueles que apresentam grandes variações de nível em função do tempo. São geradores desse tipo de ruído os trabalhos manuais, afiação de ferramentas, soldagem, o trânsito de veículos, aviões etc. São os ruídos mais comuns nos sons diários (Figura 12).

Figura 12 – Ruído do tipo flutuante
Fonte: Brüel & Kjaer, 2001.

Ruídos impulsivos ou de impacto: apresentam altos níveis de intensidade sonora, num intervalo de tempo muito pequeno. São os ruídos provenientes de explosões e impactos. São ruídos característicos de rebidadeiras, impressoras automáticas, britadeiras, prensas, etc. (Figura 13).

Figura 13 – Ruído do tipo impulsivo
Fonte: Brüel & Kjaer, 2001.

A medição dos níveis de som é a principal atividade para avaliação dos efeitos do ruído em um ambiente.

➤ **Correções para ruídos com características especiais**

O Nível Corrigido L_c para ruído sem caráter impulsivo e sem componentes tonais é determinado pelo Nível de Pressão Sonora Equivalente, $L_{Aeq}^{dB(A)}$. Caso o equipamento não execute medição automática do $L_{Aeq}^{dB(A)}$, deve ser utilizado o procedimento descrito na Equação 4.

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (4)$$

Onde: L_i é o nível de pressão sonora, em dB(A), lido em resposta rápida (fast) a cada 10 (dez) segundos, durante pelo menos cinco minutos; n é o número total de leituras.

- O Nível Corrigido L_c para ruído com características impulsivas ou de impacto é determinado pelo valor máximo medido com o medidor de nível de pressão sonora ajustado para resposta rápida (fast), acrescido de 5 dB(A).
- O Nível Corrigido L_c para ruído com componentes tonais é determinado pelo $L_{Aeq}^{dB(A)}$ acrescido de 5 dB(A).

O Nível Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos está indicado no Quadro 2.

Quadro 2- Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos em dB(A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: NBR 10.151, 2000

Na hipótese de que os parâmetros estejam em concordância com a realidade geoclimática local, considera-se que um $L_{Aeq} = 55$ dB(A) (Nível Sonoro Dia e Noite) é mais adequado para a avaliação do ambiente sonoro no entorno de aeroportos situados em clima tropical úmido do que o $L_{Aeq} = 65$ dB(A) utilizado como parâmetro

pela Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC e pela Empresa de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO (MACEDO, 2004) .

Tendo em vista o clima local, é usual traçar curvas com um L_{Aeq} (Nível Sonoro Dia e Noite) menor ou igual a 55 dB(A), pois a atenuação sonora proporcionada pelas fachadas é inferior à comumente encontrada em regiões frias, dada a frequência com que as janelas permanecem abertas e a baixa inércia térmica das paredes (sintetiza a atenuação e o retardo do fluxo térmico que atravessa um material). Entretanto, em dias de temperatura elevada, a resistência do ar é maior e os aviões atingem menor velocidade. Assim, os pilotos necessitam dar mais potência ao motor, aumentando o nível sonoro produzido (MACEDO, 2004).

Observa-se, ainda, que a “*Environmental Protection Agency*” (EPA) e a *World Health Organization* (WHO, 1995) recomendam a adoção de um $L_{Aeq} = 55$ dB(A), a fim de garantir a saúde e qualidade de vida da população. Já a ACNUSA (2002), Autoridade Francesa de Controle dos Incômodos Sonoros, recomenda que a ajuda relativa ao isolamento sonoro de edificações deve ser concedida às edificações situadas no entorno de aeroportos inseridas na curva $L_{Aeq} = 55$ dB(A) (Nível Sonoro Dia, Tarde e Noite) (MACEDO, 2004).

Embora a Portaria 1141/GM5 (1987) não determine os níveis de ruído para o traçado das curvas isofônicas, na prática o Instituto de Aviação Civil (IAC) considera um L_{DN} mínimo igual 65 dB(A) quando as projeta. Deste modo, as áreas I ($L_{DN} > 75$ dB(A)) e II (65 dB(A) $< L_{DN} < 75$ dB(A)) são consideradas críticas e para elas são estabelecidas restrições e permissões de uso do solo (MACEDO, 2004).

Para a área III ($L_{DN} < 65$ dB(A)), a legislação aeronáutica relativa ao ruído não impõe restrições ao uso e ocupação do solo, a menos que exista um plano específico de zoneamento de ruído.

O nível de ruído ambiente - L_{ra} (é o nível de pressão sonora equivalente, em dB(A), no local e horário considerados, na ausência do ruído gerado por fonte sonora interferente) e deve ser o resultado da média aritmética dos valores medidos em, pelo menos, três posições distintas, sempre que possível afastada entre si de,

maior que 0,50m. O Quadro 3 retirado da NBR 10.152 nos da alguns valores admissíveis em alguns locais.

Quadro 3 - Níveis de sons para conforto acústico, segundo a NBR 10.152.

Locais	<i>dB(A)</i>	<i>Lra</i>
Hospital Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros Cirúrgicos	35-45	30-40
Escolas Salas de Aula, Laboratórios	40-50	35-45
Residências Dormitórios Salas de Estar	35-45 40-50	30-40 35-45
Escritórios Salas de Projeto e de Administração Salas de Computadores	35-40 45-65	30-40 40-60

Com níveis acima de 75 dB(A) começa a acontecer o desconforto acústico, ou seja, para qualquer situação ou atividade, o ruído passa a ser um agente de desconforto. Nessas condições há uma perda da inteligibilidade da linguagem, a comunicação fica prejudicada, passando a ocorrer distrações, irritabilidade e diminuição da produtividade no trabalho. Acima de 80 dB(A), as pessoas mais sensíveis podem sofrer perda de audição, o que se generaliza para níveis acima de 85 dB(A).

A atenuação do som na propagação (FERNANDES, 2002):

- É diretamente proporcional a frequência, ou seja, o som agudo se atenua em poucos metros, enquanto que o som grave pode-se ouvir a quilômetros de distância;
- É inversamente proporcional a temperatura;
- É inversamente proporcional a umidade;
- A poluição do ar, principalmente o monóxido e dióxido de carbono, são muito absorventes, atenuando bastante o som;
- Não sofre influência da pressão atmosférica.

A velocidade do som na propagação:

- É diretamente proporcional a temperatura;

- É diretamente proporcional a umidade;
- Não sofre influência da pressão atmosférica;
- Não varia com a frequência.

2.3.3. Precauções durante as medições

Alguns cuidados devem ser tomados quando medimos os níveis de ruído de um ambiente:

Os principais são (FERNANDES, 2002):

- O medidor deve ser colocado na altura de 1.50 m do solo;
- Deve ser evitada a interferência do vento no microfone do medidor. Para anular esse efeito, existe um dispositivo denominado "*windscreen*" que evita o "sopro" sobre o microfone;
- A distância do medidor à fonte de ruído deve estar de acordo com as Normas ISO 1999, ISO 1966/1 e as recomendações ISO R 131, R 266 e R 495;
- Devem ser evitadas superfícies refletoras, que não sejam comuns ao ambiente. Assim, deve-se evitar que o corpo da pessoa que faz a medição não interfira nas medidas;
- Recomenda-se fazer pelo menos cinco medições em cada local.

2.3.4. Determinação do nível de incomodo sonoro - L_{DN}

O L_{DN} é o nível de incomodo sonoro (Método Day-Night Sound Level) em dB(A) que permanece um segundo, fração de tempo, o qual representaria o evento real como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Nível de exposição ao ruído $t = 1 \text{ s}$

O valor do L_{DN} é definido pelo nível sonoro em decibel.

O L_{DN} é calculado pela expressão (5) extraída do Anexo XVI da ICAO.

$$L_{DN} = 10 \log \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \quad (5)$$

Onde:

L_{DN} = nível de exposição sonora

$T_0 = 1 \text{ s}$ para manter o argumento da dimensionalidade para logarítmico

P_A = nível de som contínuo no momento A

P_0 = número de leituras

$t = 0,5 \text{ s}$

Esta mesma equação pode ser escrita de uma forma mais direta, para melhor interpretar (expressão (6)).

$$L_{DN} = 10 \log \frac{1}{T_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{L_A(t)}{10}} dt \quad (6)$$

Onde:

$L_A^{(t)}$ = é a variação do tempo do nível do som

A integração de $(t_2 - t_1)$ na prática pode ser o intervalo de tempo que ocorre o evento $L_A^{(t)}$ primeiro acima de 10 dB(A) do valor máximo L_{AMAX} e após subir mais 10 dB(A) desse valor máximo.

Portanto, o L_{DN} pode ser definido como descrito na expressão (7).

$$L_{DN} = L_{AMAX} + \Delta A \quad (7)$$

Onde:

ΔA = é a duração da compensação da elasticidade determinada por $\Delta A = 10 \log_{10} \tau$ onde $\tau = (t_2 - t_1) / 2$.

L_{AMAX} = é definido pelo nível máximo, em decibéis da pressão sonora A (resposta lenta) com referência a uma área padrão de pressão sonora P_0 .

2.4. Determinação do nível efetivo de ruído percebido – *Effective Perceived Noise Level - EPNL*

O EPNL avalia as três propriedades básicas do ruído: nível de pressão sonora, distribuição de frequência e variação no tempo (NBR 10856, AGO/1989). Para a obtenção do EPNL, os valores instantâneos de pressão sonora das 24 bandas de terço de oitava de 50 Hz a 10 kHz devem ser coletados para cada incremento de, no máximo, 0,5 s na duração do sobrevoo.

1. Nível de pressão sonora (NPS) em dB(A)

Equivale a 20 vezes o logaritmo decimal da relação entre a pressão sonora P considerada e a pressão sonora de referência P_0 calculada pela expressão:

$$NPS = 20 \log_{10} P / P_0 \quad (8)$$

onde :

$$P_0 = 2.10^{-5} Pa(Pascal)$$

2. Nível de ruído percebido (PNL)

Resultado do cálculo dos contornos de igual índice de ruidosidade, de frequência de banda larga e tipos de ruído produzidos por aeronaves, a pistão ou a jato, no pouso e decolagem convencionais. No cálculo, consideram-se campo sonoro difuso e inexistência de irregularidades pronunciadas no espectro.

Calcula-se da seguinte forma:

$$PNL = 40 + ((10 \log N) / (\log 2)) PNdB \quad (9)$$

Onde:

N = ruidosidade total em Noys (é a unidade percebida de um ruído cujo PNL é de 40 $PNdB$).

Para o cálculo do EPNL avaliam-se as três propriedades básicas do ruído: nível de pressão sonora, distribuição de frequência e variação no tempo.

✓ O procedimento de cálculo consiste nos seguintes passos:

- Os valores de pressão sonora das 24 bandas de terço de oitava são convertidos para valores de ruidosidade percebida. Os valores de ruidosidade são combinados e convertidos para níveis de ruído percebido (PNL) instantâneo;
- Uma correção de tom (C) é calculada para cada espectro, para se levar em consideração a presença de irregularidades espectrais;
- O valor de correção de tom é adicionado ao nível de ruído percebido, para obtenção do nível de ruído percebido com correção de tom (PNLT);

$$PNLT = PNL + C \quad (10)$$

- Um fator de correção de duração (D) é computado pela integração sob a curva PNLT x tempo; e,
- O nível efetivo de ruído percebido (EPNL) é determinado pela soma algébrica do máximo nível de ruído percebido, com correção de tom (PNLTM) e o fator de correção de duração:

$$EPNL = PNLTM + D \quad (11)$$

✓ Condição específica para o cálculo do EPNL

1. Cálculo do PNL

Etapa 1

O nível de pressão sonora de cada banda de terço de oitava é convertido para um valor de ruídosidade percebida (η), através de uma das seguintes formas:

Utilizando-se a Tabela 1 (Anexo incluso na NBR 10856 de AGO/1989), entra-se com os valores de nível de pressão sonora (L) e a frequência central de cada banda.

Utilizam-se as seguintes equações:

$$\eta = 10^{m(L-L_0)} \quad \text{para } \eta \geq 1$$

$$\eta = 0,1 \cdot 10^{m(L-L_0)} \quad \text{para } 0,1 \leq \eta < 0,3$$

$$\eta = 10^{m(L-L_0)} \quad \text{para } 0,3 \leq \eta < 1$$

Onde:

L_0 e m , dependem da frequência central da banda e são fornecidos nas Tabelas 2 e 3 do Anexo incluso na NBR 10856 de AGO/1989.

Etapa 2

Os valores de ruídosidade (η), obtidos na Etapa 1, são combinados para obter-se a ruídosidade total (N) pela equação:

$$N = \eta_{máx} + 0,15[(Y\eta) - \eta_{máx}] \quad (12)$$

Onde:

$\eta_{máx}$ = maior valor de η

$Y\eta$ = soma dos valores de ruídosidade de todas as bandas

Etapa 3

N é convertido em nível de ruído percebido (PNL) pela equação:

$$PNL = 40 + (10 \log_{10} N / \log_{10} 2) \quad (13)$$

3. Cálculo do nível de ruído percebido com correção de tom (PNLT)

Deve ser verificada a existência de irregularidades pronunciadas, como componentes tonais, nos espectros através do procedimento de cálculo descrito a seguir, devendo ser somado um fator de correção (C) ao valor de PNL do espectro.

Etapa 1

Calcular D_i onde i é o número da banda de terço de oitava.

$$D_i = L_i - L_{i-1} \quad (14)$$

Onde:

L_i = nível de pressão sonora na i -ésima banda de frequências.

Etapa 2

Assinalar na Tabela 4 (Anexo incluso na NBR 10856 de AGO/1989) os valores de D_i onde:

$$|D_i - D_{i-1}| > 5dB \quad (15)$$

Etapa 3

Se o D_i assinalado é positivo e algebricamente maior que D_{i-1} , assinalar L_i .

Se o D_i assinalado é zero ou negativo e D_{i-1} é positivo, assinalar L_{i-1} .

Etapa 4

L'_i são todos os valores não assinalados de L_i . Fazer $L'_i = L_i$.

Para os valores assinalados de L_i , fazer L'_i igual à média aritmética entre L_{i-1} e L_{i+1} .

Se o nível de pressão sonora da banda $i = 24$ está assinalado fazer $L'_{24} = L_{23} + D_{23}$.

Etapa 5

Calcular D_i onde D'_i é a diferença aritmética entre os níveis L_i e L'_{i-1} .

Fazer $D'_3 - D'_4$. Incluir a 25ª banda imaginária, fazendo $D'_{25} = D'_{24}$.

Etapa 6

Calcular $\overline{D'_i}$ como a média aritmética de D'_i , D'_{i+1} e D'_{i+2} .

$$\overline{D'_i} = \frac{D'_i + D'_{i+1} + D'_{i+2}}{3} \quad (16)$$

Etapa 7

Fazer $\overline{L}_i$ igual a L_i e calcular todos os outros valores de $\overline{L}_i$ sendo:

$$\overline{L} = \overline{L}_{i-1} + \overline{D'_{i-1}} \quad (17)$$

Etapa 8

Calcular F_i , onde $F_i = L_i - \overline{L}_i > 0$

Etapa 9

Determinar a correção de tom (C), através das seguintes equações:

$$C = \frac{F}{3} \text{ se } 0 \leq F < 20$$

$$C = 6,7 \text{ se } F \geq 20$$

Para bandas de terço de oitava, entre 500 Hz e 5 kHz inclusive.

$$C = \frac{F}{6} \text{ se } 0 \leq F < 20$$

$$C = 3,3 \text{ se } F \geq 20$$

Para bandas de terço de oitava, entre 50 Hz e 10 kHz inclusive, mas fora de intervalo de 500 Hz e 5 kHz inclusive.

Etapa 10

O valor máximo de (C) determinado na etapa 9 define a correção de tom a ser adicionado ao valor do nível de ruído percebido (PNL), obtendo o nível PNLT:

$$PNLT = PNL + C \quad (18)$$

✓ Obtenção de nível máximo de ruído percebido com correção de tom (PNLTM)

O valor de PNLTM correspondente ao valor máximo de todos os valores de PNLT, obtidos segundo os procedimentos descritos, para os valores instantâneos de

pressão sonora das 24 bandas de terço de oitava de 50 Hz a 10 kHz, coletadas para cada incremento de, no máximo, 0,5 s.

- Cálculo do fator de correção de duração (D):

$$D = 10 \log \left\{ \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{d/\Delta t} \left(\Delta t \cdot 10^{\frac{PNLT(k)}{10}} \right) \right\} - PNL T \quad (19)$$

Onde:

Δt = duração dos incrementos de tempo para os quais $PNLT(k)$ é calculado

$T = 10$ s

d = intervalo de tempo no qual $PNLT(k)$ permanece maior ou igual a $PNLT - 10$

k = k-ésimo intervalo de tempo, menor ou igual a 0,5 s no qual $PNLT(k)$ é calculado.

4. Obtenção do EPNL

$$EPNL = PNLTM + D \quad (20)$$

2.5. Determinação do L_{DN} ou DNL (*Day-night average sound level*)

A média anual do nível sonoro é definida pela FAR Part 150 Sec. A150.205(c) como sendo: a média dos 365 dias do ano, em decibéis, média do nível sonoro no período diurno e noturno.

Segundo a norma A150.205(c) o cálculo é executado de acordo com as seguintes formulações matemáticas:

- A. O nível médio do som deve ser computado de acordo com a expressão 21:

$$L_T = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{L_A(t)/10} dt \right] \quad (21)$$

Onde:

T = é o período de tempo, em segundos, quando é feita a média;

$L_A(t)$ = é o tempo instantâneo no momento A-medido durante o período de tempo T .

Quando em um ambiente existem vários tipos de ruído pode ser calculado pela expressão 22 no período de tempo T :

$$L_T = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n 10^{L_{AEi}/10} \right] \quad (22)$$

Onde:

L_{AEi} = é o nível de exposição sonora do evento i^{th} eventos, na série de n eventos, no período T em segundos.

O nível médio sonoro dia/noite individual deve ser computado de acordo com a expressão 23:

$$L_{dn} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{86400} \left(\int_{0000}^{0700} 10^{[L_A(T)+10]/10} dt + \int_{0700}^{2200} 10^{L_A(t)/10} dt + \int_{2200}^{2400} 10^{[L_A(T)+10]/10} dt \right) \right] \quad (23)$$

O nível médio sonoro anual dia/noite é calculado pela expressão 24:

$$L_{dn} = 10 \log_{10} \frac{1}{365} \sum_{i=1}^{365} 10^{L_{dni}/10} \quad (24)$$

Onde:

L_{dni} = é o som médio dia/noite para i^{th} fora de um ano.

O nível de exposição sonora deve ser computado pela expressão 25:

$$L_{DN} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L_A(t)/10} dt \right] \quad (25)$$

Onde:

t_0 = é em segundo e $L_A(t)$ é a variação do tempo de peso A do nível do som no intervalo de tempo t_1 e t_2 .

Outra expressão para calcular o L_{dn} segundo Horonjeff & McKelvey (1993) é definido pela fórmula da expressão 26.

$$L_{dn} = 10 \log \left(\frac{1}{86400} \sum_{i=1}^N 10^{\frac{[L_{A,i} + w_i]}{10}} \Delta t \right) \quad (26)$$

Onde:

L_{dn} = média do nível sonoro dia/noite para 1 dia

$L_{A,i}$ = pressão do nível sonoro instantânea medida no intervalo de 0,5s

86400 = numero de segundos em 1 dia

w_i = é à hora exata quando ocorreu o evento – entre 7h e 22h o valor a acrescentar é de 0 dB e entre 22h e 7h haverá um incremento de 10 dB

Δt = 0,5s ou menor

$N = 86400/\Delta t$

Para o calculo do L_{dn} segue, conforme demonstrado nas expressões 26 e 27, também elaborada por Horonjeff (1993).

$$L_{dn} = 10 \log \left(\frac{1}{86400} [10^{SEL_1/10} + 10^{SEL_2/10} + + 10^{SEL_N/10}] \Delta t \right) \quad (27)$$

Ou:

$$L_{dn(i,j)} = SEL + 10 \log_{10}(N_d + 10N_n) - 49.4$$

Onde:

SEL = nível médio de exposição sonora

N_d = número de operações entre 0700 e 2200hs (28)

N_n = número de operações entre 2200 e 0700hs

i = tipo de aeronave

j = modo de operação

A média anual diária definida será a que melhor represente um dia típico do aeroporto. Nesta média inclui-se a condição do número e do tipo de operação, a rota das operações, configuração das pistas, peso da aeronave, temperatura e vento.

A Norma SAE AIR*1845 (1986) define o DNL pela fórmula da expressão 29 no período de tempo T :

$$L_T = 10 \log \left[\left(\frac{1}{T} \right) \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{AE}(i)} \right] \quad (29)$$

Onde:

$L_{AE}(i)$ = é o som do nível exposto no i^{th} evento, na série de n eventos no período de tempo T , em segundos.

Para um evento individual, o nível de som médio e o nível de exposição ao som são mostrados na expressão 30.

$$L_T = L_{AE} - 10 \log(T/t_0) \quad (30)$$

Onde T é igual a 86.400 segundos nas 24 horas do dia, representando o nível de som médio diário. Substituindo estes valores na equação 31 temos:

$$L_{24} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{AE}(i)} \right] - 49,4 \quad (31)$$

Onde a constante 49,4 obteve-se através do cálculo de $10 \log \left(\frac{1}{86.400} \right)$

Substituindo os valores na expressão 31 temos:

$$L_{dn} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{AE}(i)} + \sum_{j=1}^m 10^{0,1[10+L_{AE}(j)]} \right] - 49,4 \quad (32)$$

Para a média anual do nível sonoro dia/noite é definido pela expressão 33.

Onde:

n = é a somatória dos voos diurnos

m = para voos noturnos.

$$L_{dny} = 10 \log \left[(1/365) \sum_{i=1}^{365} 10^{0,1L_{dn}(i)} \right] \quad (33)$$

Onde:

$L_{dn}(i)$ = é a média do nível sonoro dia/noite no i^{th} dia típico de um ano.

2.6. Índices ponderados 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 similar ao WECPNL - *Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level* com algumas características do NEF - *Noise Exposure Forecast*. Foram mantidos os pesos diferenciados para voos diurnos e noturnos e o período de referência foi restringido para um dia, com a exclusão do ajuste sazonal.

É a medida em IPR (Índice Ponderado de Ruído), cumulativa, em escala logarítmica, do incômodo causado pelo ruído gerado pela operação de aeronaves em um aeroporto (DECRETO Nº 89.431, DE 08 DE MARÇO DE 1984).

$$WECPNL = L_A + 10 \log N - 27$$

$$\text{onde: } N = N_2 + 3N_3 + 10(N_1 + N_4)$$
(34)

L_A = Nível médio do pico de potencia do ruído da aeronave de 10 dB adicional ao ruído de fundo.

N = Número de aeronaves decolando por hora no período compreendido entre:

$$N_1 = 24h - 07h$$

$$N_2 = 07h - 19h$$

$$N_3 = 19h - 22h$$

$$N_4 = 22h - 24h$$

O CNEL – *Community noise equivalent level* (nível equivalente de ruído na comunidade) é um termo usado na Califórnia e quase igual ao DNL – *day-night average sound level*, exceto que o CNEL inclui uma penalização de 5 dB no anoitecer compreendido no período de 19h – 22h.

$$CNEL = SENEL + 10 \log_{10}(N_D + 3N_E + 10N_N) - 49.4(dB)$$
(35)

Onde:

$$SENEL = NL_{m\acute{a}x} + 10 \log_{10} t_{ea} (dB)$$
(36)

N_D , N_E e N_N = número de voos durante o dia (07h – 19h), no anoitecer (19h – 22h) e noturno (22h – 07h).

$NL_{m\acute{a}x}$ = nível de ruído máximo em dB

t_{ea} = duração do tempo efetivo em segundos e é aproximadamente igual à metade da duração no qual o nível de ruído é de 10 dB no máximo.

A fórmula do NEF para efeito comparativo é a seguinte:

$$NEF = [EPNL + 10 \log_{10}(N_D + 16,7N_N) - 88](dB)$$
(37)

Onde:

N_D e N_N são o número de aeronaves nos voos compreendidos no período de 07h as 22h e 22h as 07h.

O fator 16,7 representa na expressão um acréscimo de 10 para 1 no peso dos voos noturnos com relação ao período diurno.

Segundo a NBR 11415 (1990) a unidade de avaliação do incomodo sonoro, calculada a partir dos dados operacionais do aeródromo e das aeronaves que o utilizam é obtida pela expressão 38:

$$IPR = 10 \log \sum_{ij} \sum_k 10^{(IPR_{(i,j,k)} / 10)} \quad (38)$$

Onde:

$IPR_{(i,j,k)}$ = número das aeronaves i, que percorrem a trajetória j, durante o período do dia k.

Substituindo os valores do $IPR_{(i,j,k)}$ na equação 38 temos:

$$IPR_{(i,j,k)} = EPNL_{(i,j,k)} + 10 \log (P_{(k)} N_{(i,j,k)}) - 68 \quad (39)$$

Onde:

$P_{(k)}$ = fator de ponderação em função do período do dia: $p(1) = 1$ para o período diurno e (de 07h as 22h); $p(2) = 10$ para o período noturno (de 22h as 07h).

Tem-se, então, que o IPR é expresso por:

$$IPR = 10 \log \left(\sum_i \sum_j \sum_k 10^{(IPR_{(i,j,k)} / 10)} \right) \quad (40)$$

As autoridades aeronáuticas no Brasil consideram que o fator de maior peso não é o incômodo sentido pelas pessoas, e sim a forma como elas reagem ao incômodo e apontam uma forte relação entre a reação ao ruído, 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. Desta forma, foi elaborada uma tabela (Tabela 3), no qual estão relacionados valores de IPR e a reação esperada da comunidade.

Tabela 3 - Relação entre IPR e a reação das comunidades

VALOR DO IPR – dB(A)	REAÇÃO DAS COMUNIDADES
Menor que 65 - Área III	Nenhuma reclamação é esperada. Ambiente pouco ruidoso.
Entre 65 e 75 - Área II	Ambiente medianamente ruidoso. É esperado grande volume de reclamações por parte dos residentes.
Maior que 75 - Área I	Ambiente extremamente ruidoso. São esperadas reclamações generalizadas por parte dos residentes. É possível ação comunitária contra o aeroporto.

2.7. As curvas isofônicas

No âmbito internacional, o controle de ruído baseia-se no estabelecimento de um sistema que estima o nível sonoro e determina a exposição humana, com base no traçado de curvas de igual nível de incômodo sonoro (isofônicas) (NBR – 11415 de 1990), em sistemas de monitoramento de ruído e na identificação da compatibilidade do uso do solo. Estes procedimentos auxiliam na adoção de medidas mitigadoras que visam controlar o ruído ambiental.

As curvas de igual nível de incômodo sonoro (isofônicas) estão entre as principais ferramentas auxiliares no controle do uso do solo no entorno de aeroportos. A maior parte dos países faz uso de programas de acústica que traçam estas curvas, no cálculo do ruído emitido por um avião, e que leva em consideração a potência do aparelho (um mesmo tipo de avião pode ter motores diferentes), a potência do motor, a reversão do fluxo dos reatores durante a aterrissagem e o ruído emitido durante os testes de certificação.

Em geral, cada trajetória é considerada como uma sequência de seguimentos retilíneos e arcos de circunferência. Todos os aviões que seguem a mesma trajetória vão representar uma pequena parcela da trajetória e o conjunto de trajetórias vai formar um “corredor”. A dispersão das trajetórias no interior desse “corredor” é calculada através de fórmulas teóricas ou de observações por radar. Alguns métodos de cálculo consideram as condições meteorológicas (a velocidade do vento, a umidade do ar, a variação da temperatura com a altitude, assim como a natureza do solo). O modelo suíço e o britânico consideram a direção do ruído e o modelo francês considera as irregularidades topográficas (VALLET, 2002).

No Brasil, as curvas de ruído são traçadas pelo *Integrated Noise Model* (INM) e o *Heliport Noise Model* (HNM) produzidos pela U.S. FAA (*Federal Aviation Administration*). O INM é usado para avaliar o impacto sonoro resultante da ampliação ou construção de novas pistas de pouso e decolagem, novas demandas de tráfego e composição das frotas de aeronaves, revisão de rotas e estruturas aeroespaciais, alternativas de perfis de voo e modificação de outros procedimentos operacionais (FAA, 1997).

No INM, os perfis de aeronaves e os algoritmos de cálculo são baseados na metodologia proposta pelos documentos SAE-AIR-1845 – *Procedure for the Calculation of Airplane Noise in the Vicinity of Airports* (SAE,1986), SAE - AIR - 1751, *Prediction Method for Lateral Attenuation of Airplane Noise During Takeoff and Landing* (SAE,1991) e SAE-ARP-866A – *Standard Values of Atmospheric Absorption as a Function of Temperature and Humidity*.

O programa INM não modela os perfis de temperatura, gradiente de vento, efeitos da umidade, absorção do solo, a trajetória individual de cada aeronave e difração em torno do solo, barreiras e edifícios. Ele baseia-se nos valores médios e é projetado para estimar os efeitos de longo prazo (valores médios anuais). Por este motivo, algumas diferenças entre os valores previstos e medidos podem ocorrer, pois é possível que variáveis acústicas locais importantes não sejam consideradas.

CAPÍTULO 3

DELINEAMENTO DO MÉTODO E CENÁRIOS PROPOSTOS

Este capítulo tem por objetivo a apresentação dos métodos atualmente vigentes para a determinação do valor do ruído sonoro das aeronaves no entorno aeroportuário. Será feito uma demonstração do funcionamento do programa *Integrated Noise Model* – INM, da utilização do GPS e do medidor de nível de pressão sonora (decibelímetro) no estudo proposto para traçar curvas de igual nível de incômodo sonoro (isofônicas).

3.1. Sítio aeroportuário: escolha e coleta dos dados

O Aeroporto Estadual de Ribeirão Preto - SBRP (código ICAO – *International Civil Aviation Organization*) está localizado a 7 km do centro da cidade, com pista de pouso e decolagem de 2100 x 45 m, altitude de 550 m, coordenadas geodésicas definidas pelo ICA (Instituto de Cartografia da Aeronáutica) 21° 28' 11"S e 47° 46' 36"W. Sua área patrimonial é de 161,52 ha.

O Aeroporto Dr. Leite Lopes, no município de Ribeirão Preto, foi construído pela Prefeitura Municipal, tendo sido nele instalado o Aeroclube local em 1939. Em 27 de agosto de 1980, através da Portaria nº 1.019/GM5, é celebrado o convênio do Ministério da Aeronáutica com o Governo do Estado de São Paulo para a administração do Aeroporto Leite Lopes².

O Aeroporto sempre possuiu característica predominantemente regional, tendo um crescente desenvolvimento a partir das décadas de 1970 e 1980, quando passou a expandir seus horizontes para o mercado doméstico.

² Dados retirados do documento nº T-04036/L-T01- RT-00-IA00-002 – Relatório de Impacto de Meio Ambiente, Figueiredo Ferraz de 10/08/05.

Na década de 1980 houve alguns investimentos, sendo: construção do atual Terminal de Passageiros, ampliação do pátio nº 02 e construção da Torre de Controle. Já na década de 90 foi executada a construção do pátio nº 01 e pista auxiliar de rolagem.

De lá pra cá, o mesmo sofreu ampliações, resultando na configuração descrita nos itens a seguir (visualizada nas Figuras 15 e 16).

Nota-se que o município de Ribeirão Preto possui um vínculo particular com a história da aviação. Nele se estabeleceu, em 1879, Henrique Dumont, próspero cafeicultor, e pai de Alberto Santos Dumont (1873-1932), que ali viveu sua juventude.

No início do século XX, já na França, Alberto Santos Dumont realizou diversos experimentos aeronáuticos que culminaram, em 23 de outubro de 1906, na realização do “primeiro voo oficial do mais pesado que o ar” com o aparelho denominado 14-Bis. Para aqueles experimentos o município de Ribeirão Preto também colaborou através da Lei nº 100, de 4 de novembro de 1903, concedendo a quantia de um conto de réis “ao aeronauta Alberto Santos Dumont para auxiliar a continuação de suas experiências sobre o aproveitamento da dirigibilidade dos balões como meio de transporte”.

Por meio de documentação existente no APHRP - Arquivo Público e Histórico de Ribeirão Preto, percebe-se a constância com que se fazia a troca de correspondência entre a Prefeitura e o então Departamento de Aeronáutica Civil, bem como a VASP - Viação Aérea São Paulo, empresa estatal que à época desbravava mercados no interior do país. Versavam estes documentos sobre o aeroporto e suas instalações, face ao desenvolvimento das operações aéreas.

No tocante à questão do planejamento urbano, em particular no que diz respeito ao aeroporto, podem-se identificar dois momentos no processo de desenvolvimento urbano de Ribeirão Preto.

O primeiro diz respeito ao Plano Diretor, elaborado em 1945 pelo Eng.º José de Oliveira Reis (1903-1994), por solicitação do prefeito Alcides Sampaio. Este Plano Diretor refletia uma visão urbanística em perspectiva que considerava na evolução

futura da cidade, a própria evolução do transporte aéreo e, por extensão, sua influência para com a expansão física do aeroporto local. Sob este aspecto, a cidade é aqui refletida de forma mais abrangente. Infelizmente nenhuma diretriz deste plano foi implementada.

Ressalta-se que na Lei n. 3.346, de 28 de setembro de 1977, ao dispor sobre o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado - organização territorial, loteamento, reloteamentos, arruamento e abertura de imóveis em geral não constam dispositivos sobre o aeroporto Leite Lopes, não se tratando de um Plano Diretor propriamente dito, mas sim, tal como a sua ementa, indica um conjunto de normas de loteamentos.

Quanto ao segundo momento, uma avaliação da Lei Complementar nº 501, de 31 de outubro de 1995, que instituiu o Plano Diretor de Ribeirão Preto ora em vigor, indica uma falta de clareza quanto ao papel que o aeroporto possui no espaço urbano.

Com isso, a partir de 2005, a população que se instalou no seu entorno, atraída pelas facilidades implantadas, decidiu entrar com uma ação no Ministério Público. Esta resultou em projetos de medição do nível de ruído solicitados à Empresa GROM – Automação & Vibração em 2006 e, após, ao IPT em 2010/11. Os resultados mostraram que, segundo o Ministério Público, o aeroporto deveria deixar de se desenvolver e não mais absorver voos regulares nos patamares que vinham se desenvolvendo.

Figura 15 - Mapa da cidade de Ribeirão Preto realçando o Aeroporto Leite Lopes
 Fonte: www.fcfrp.usp.br/Mapa-RP.html - Apud Figueiredo Ferraz, 2005.

Figura 16 - Planta detalhada do Aeroporto Leite Lopes
 Fonte: Plano Diretor DAESP, apud Figueiredo Ferraz, 2005.

3.2. Ferramentas: Programas computacionais

Serão utilizados neste estudo os seguintes programas computacionais e equipamentos para a coleta dos dados: INM – *Integrated Noise Model* versão 6.0 - DAESP, SvanPc+ - IPT, AutoCAD - USP e Transcad – USP, GPS - *Global Positioning System*, Medidor de nível de pressão sonora (Decibelímetro), Medidor de velocidade e direção do vento, pressão atmosférica, temperatura do ar e umidade relativa.

3.2.1. INM – *Integrated Noise Model* ou Modelo Integrado de ruído

A justificativa para adoção do INM é pelo seu largo uso nos estudos de ruídos provenientes da atividade aeroportuária, inclusive recomendado pela FAA – *Federal Aviation Agency*.

Em 1978³, as reclamações dos ruídos emitidos pelas aeronaves nos aeroportos dos Estados Unidos motivaram o desenvolvimento de um modelo computacional que permitiu gerar uma indicação dos locais de mesma intensidade de ruído durante o pouso e decolagem das aeronaves.

Denominado de INM, foi desenvolvido pela FAA – *Federal Aviation Administration, Office of Environment and Energy* (FAA, AEE-100) com suporte da *John A. Volpe National Transportation Systems Center, Acoustic Facility* (Volpe Center) (OLMSTEAD ET AL., 2002). Atualmente o INM está na versão 7.0b para plataforma Windows (setembro de 2009).

O modelo utiliza informações das rotas das aeronaves, o mix de operação da frota (tipos de aeronaves), procedimentos de perfis padrão ou definido pelo usuário, e entrada do relevo da área aeroportuária. Podem ser introduzidos ainda dados do censo populacional e plantas do projeto do aeroporto. O modelo suporta 16 curvas de ruído pré-definidas pelo programa, que inclui a exposição ao ruído de forma cumulativa para cada tipo de aeronave e seus respectivos motores, como demonstrado na figura 16.

³ <http://airportnoiselaw.org/inm.html>

Figura 17 – Gráfico da curva de ruído na decolagem de um A320 – motor CFM565

A média anual do nível sonoro é definida pela FAR Part 150 Sec. A150.205(c) como sendo: a média dos 365 dias do ano, em decibéis, média do nível sonoro no período diurno e noturno. O período a ser considerado é o seguinte: diurno das 07h-22h e noturno das 22h-07h (horário local).

A média anual diária definida será a que melhor represente um dia típico do aeroporto. Nesta média inclui-se a condição do número e do tipo de operação, a rota das operações, configuração das pistas, peso da aeronave, a temperatura e a velocidade e direção do vento.

3.2.1.1. Tipos de dados a serem inseridos no INM

Abaixo se apresenta uma lista de tipos de dados necessários para alimentar o programa INM, para permitir a simulação das curvas de ruído nas distintas condições:

a) Informação do aeroporto

- A latitude e longitude é o ponto de referência do aeroporto e pode ser obtida nas cartas do ICA (Instituto de Cartografia da Aeronáutica).
- As posições das pistas e altitude podem ser encontradas nas publicações do DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo).
- A temperatura, velocidade do vento, umidade relativa e pressão barométrica devem ser obtidas diretamente no campo através de uma estação meteorológica.

b) Informação sobre a aeronave

- Tipo da aeronave, motor, peso, configuração e potência do motor. Como o programa INM contém os dados em seu banco, não há necessidade de obtê-los nos manuais dos fabricantes das aeronaves.
- Número de movimentos, tipo de operação e trajetórias dos voos são obtidos nos HOTRANS (Horários de Transporte) e nas publicações do DECEA (para aviação regular os outros tipos de voos (não regulares) junto à administração aeroportuária).

c) Composição do cálculo do ruído

- Geometria da pista, que no caso foi definida com as coordenadas geodésicas, determinadas por meio de receptor GPS.
- Os dados da população foram obtidos pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2000).

3.2.2. GPS - *Global Positioning System*

Este sistema é constituído por uma rede de satélites operada pelo Departamento de Defesa dos EUA. Os satélites circundam a Terra em uma órbita inclinada de 55 graus em relação ao plano do Equador, durante um período de 12

horas siderais. Emitem sinais de rádio na faixa de micro-ondas, carregando informações sobre a sua órbita e marcações temporais. O usuário, munido de um receptor dedicado e com informações simultâneas de um mínimo de quatro satélites, determina as coordenadas geográficas (latitude, longitude e altura geométrica) de um local na superfície terrestre.

O valor das coordenadas depende do Elipsóide de Referência e da precisão dos pontos de coleta do entorno onde o equipamento está recebendo os sinais. Em campo aberto a precisão da longitude e da latitude, para um desvio padrão, é 3 metros e para a altura é 10 metros. A relação da altura geométrica com a altitude em relação ao nível do mar depende da ondulação geoidal local (WELLS,1986). O referencial mais usual é o WGS-84, também usado nas cartas aeronáuticas publicadas pelo Ministério da Aeronáutica - DECEA.

O GPS é uma ferramenta fundamental para o desenvolvimento do estudo, pois, com a leitura das coordenadas dos pontos locados no terreno que serão utilizados para a entrada dos dados no programa INM para traçar as curvas de igual nível de incômodo sonoro do Aeroporto de Ribeirão Preto.

Para a geração destes pontos foram efetuados levantamentos de campo com a utilização do GPS, onde foram observadas e coletadas as coordenadas geográficas (Latitude e Longitude) pelo receptor Garmin GPSMAP 60CSx (Figura 18). Os pontos foram gerados através do programa *MapSource Trip & Waypoint Manager* Versão 4.00 da Garmin mostrados na Figura 19 (as bandeiras na cor vermelha são as cabeceiras da pista).

Figura 18 – Garmin GPSMAP 60CSx

Figura 19 - Localização dos pontos de coleta de dados elaborado pelo MapSource Trip & Waypoint Manager

3.2.3. Medidor de nível de pressão sonora - Decibelímetro

Medidor de nível de pressão sonora digital utilizado para realizar medições de ruído. Os equipamentos digitais são capazes de medir ruído de 30 dB a 130 dB e em frequências de 20Hz a 20kHz.

Foram utilizados dois equipamentos nos levantamentos: 1 – Um da marca ICEL DL-4100 é um medidor de nível de pressão sonora digital, e conta com software e conexão USB (ICEL, 2008); 2 – Svan 945 A da Svantek. Usando o poder computacional do seu processador de sinal digital da SVAN 945A, pode executar análise em tempo real 1/1 e 1/3 de oitava, incluindo cálculos estatísticos. Os dois equipamentos são mostrados na Figura 20.

Figura 20 - Medidores de nível de pressão sonora da marca ICEL DL4100 e SVAN 945A

3.3. Curvas de ruídos projetadas para o Aeroporto de Ribeirão Preto - 1984

A CECIA (Comissão de Estudos e Coordenação da Infraestrutura Aeronáutica) em 1984 fez estudos em vários aeroportos, onde identificou as curvas de ruído para projetos futuros. A de Ribeirão Preto é mostrada na Figura 21.

Figura 21 - Curvas de ruído do Aeroporto de Ribeirão Preto

Fonte: CECIA

A Decisão nº 133/ANAC, de 08 de junho de 2007 da Agência Nacional de Aviação Civil aprova a configuração final do Aeroporto Leite Lopes (SBRP) e as respectivas curvas de nível de ruído 1 e 2 para o universo de 2025 mostrada na Figura 22.

Figura 22 - Curvas de ruído de SBRP aprovada pela ANAC para o ano de 2025 configurações final da pista ampliada. Fonte: DAESP

3.4. Coleta dos dados

Após analisar os estudos elaborados pela GROM e pelo IPT, foram definidos que os dados a serem utilizados seriam os levantados pelo IPT para darmos sequência ao trabalho de elaboração desta tese. Estes dados foram coletados no aeroporto de Ribeirão Preto e estão inclusos no Anexo B.

Os dados do IPT foram utilizados no estudo porque desde o início dos levantamentos participei efetivamente da elaboração da escolha dos pontos de coleta e assim conseguimos utilizar estes dados para o início dos nossos trabalhos de simulação.

Os dados do IPT foram simulados pelo autor no programa INM e após uma análise criteriosa nos resultados obtidos formulamos a segunda parte do estudo foi analisar os resultados processados pela simulação e após uma análise foi elaborada uma nova tabela de valores as quais são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 - Dados coletados pelo IPT

PONTO	LATITUDE - GPS	LONGITUDE - GPS	dB(A) - INM	dB(A) - Campo IPT
PTO 1	21.129250	47.774361	69.50	90.42
PTO 2	21.123611	47.777500	67.30	96.66
PTO 3	21.145000	47.770556	68.00	91.10
PTO 4	21.136000	47.772790	72.40	94.49
PTO 5	21.134580	47.773190	71.70	95.84
PTO 6	21.121940	47.777260	62.60	89.76
PTO 7	21.122295	47.779168	62.60	87.34
PTO 8	21.120207	47.779168	64.10	85.48
PTO 9	21.150257	47.768385	63.70	87.80
PTO 10	21.155327	47.767486	61.30	83.81

A Tabela 4 foi montada com os dados extraídos da Figura 24 dos pontos considerados de maior relevância pelo autor e onde as coordenadas geográficas coincidiam com as do levantamento do IPT e a partir daí, deu-se o início do trabalho de campo.

A Figura 23 mostra os pontos de coleta do levantamento de campo efetuado pelo IPT.

Figura 23 - Localização dos pontos levantados pelo IPT

Figura 24 – Escolha dos pontos de leitura em DNL [dB(A)]

Fonte: Autor

A Torre de Controle do Aeroporto Leite Lopes fornecia, a cada momento do levantamento, os dados meteorológicos. Como o trabalho de campo, de acordo com as normas, não pode ser efetuado com umidade relativa acima de 95%, os mesmos tiveram que ser interrompidos onde os intervalos estão destacados em amarelo na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados meteorológicos do dia 15/07/2010 durante um levantamento de dados em campo

Data	Mensagem (METAR_SPECI)		
15/07/2010	SBRP	150900Z	15005KT 8000 OVC005 19/18 Q1019=
15/07/2010	SBRP	150940Z	15006KT 3000 BR OVC005 18/18 Q1019=
15/07/2010	SBRP	151000Z	17006KT 3000 BR SCT003 OVC005 18/18 Q1019=
15/07/2010	SBRP	151100Z	15006KT 3000 BR FEW003 OVC005 19/18 Q1020=
15/07/2010	SBRP	151200Z	15007KT 3000 BR FEW003 OVC005 19/18 Q1021=
15/07/2010	SBRP	151230Z	13006KT 3000 BR FEW004 OVC007 20/18 Q1021=
15/07/2010	SBRP	151300Z	15004KT 3000 BR FEW004 OVC007 20/18 Q1021=
15/07/2010	SBRP	151330Z	11006KT 5000 BR BKN010 SCT070 22/19 Q1021=
15/07/2010	SBRP	151400Z	13008KT 7000 FEW010 SCT070 23/19 Q1020=
15/07/2010	SBRP	151500Z	14007KT 9000 NSC 26/19 Q1019=
15/07/2010	SBRP	151600Z	12005KT 9000 FEW035 29/20 Q1018=
15/07/2010	SBRP	151700Z	10003KT 9999 FEW035 31/20 Q1017=
15/07/2010	SBRP	151800Z	33003KT 9999 SCT035 FEW040TCU 31/19 Q1016=
15/07/2010	SBRP	151900Z	14009KT 9999 BKN035 FEW040TCU 31/20 Q1016=
15/07/2010	SBRP	152000Z	12009KT 9999 SCT035 FEW040TCU 27/18 Q1017=
15/07/2010	SBRP	152035Z	12008KT 9999 TS VCSH BKN035 FEW040CB 26/18 Q1017=

Para serem lançados no INM os dados da Tabela 6 foram calculados através da média dos dados encontrados.

Tabela 6 – Dados meteorológicos – média do dia

	VEL (kt)	TEMP (°C)	UMID REL	PRESSÃO (in-Hg)
1	3	26	74	29.97
2	4	21	94	29.97
3	3	23	83	29.88
4	2.4	23	94	29.83
5	4	29	62	29.85
6	3	29	66	29.83
7	6	22	89	29.91
8	6	30	55	29.94
9	6	21	83	29.94
10	6	21	83	29.94
PI	3	21	78	30.03

A Tabela 7 foi elaborada com a finalidade de termos os dados para a locação dos pontos para a coleta dos dados EESC/USP.

Tabela 7 - Dados gerais dos pontos de coleta

DADOS GERAIS DOS PONTOS DE COLETA E DAS CABECEIRAS DAS PISTAS DE SBRP						
		COORD. WGS-84	COORD. DECIMAL	ALTITUDE	DIST.	RUMO
COORD REFER.	LAT	21º 08' 11" S	-21.136389	549,00		
	LONG	47º 46' 36" W	-47.771389			
CAB 18	LAT	21º 07' 37" S	-21.126944	546,83		
	LONG	47º 46' 36" w	-47.776667			
					1807,45	342,34º
CAB 36	LAT	21º 08' 33" S	-21.1425	549,03		
	LONG	47º 46' 17" W	-47.771389			
PTO 01	LAT	21º 07' 45.3" S	-21.12925	547,00		
	LONG	47º 46' 27.7" W	-47.774361			
					350,04	316,82º
CAB 18	LAT	21º 07' 37" S	-21.126944	546,83		
	LONG	47º 46' 36" w	-47.776667			
PTO 01	LAT	21º 07' 45.3" S	-21.12925	547,00		
	LONG	47º 46' 17" W	-47.774361			
					1499,17	168,12º
CAB 36	LAT	21º 08' 33" S	-21.1425	549,03		
	LONG	47º 46' 17" W	-47.771389			
PTO 02	LAT	21º 07' 25" S	-21.123611	549,00		
	LONG	47º 46' 39" W	-47.7775			
					379,08	166,80º
CAB 18	LAT	21º 07' 37" S	-21.126944	546,83		
	LONG	47º 46' 36" w	-47.776667			
PTO 02	LAT	21º 07' 25" S	-21.123611	549,00		
	LONG	47º 46' 39" W	-47.7775			
					2185,59	163,12º
CAB 36	LAT	21º 08' 33" S	-21.1425	549,03		
	LONG	47º 46' 17" W	-47.771389			
PTO 03	LAT	21º 08' 42" S	-21.145	549,00		
	LONG	47º 46' 14" W	-47.770556			
					290,02	342,63º
CAB 36	LAT	21º 08' 33" S	-21.1425	549,03		
	LONG	47º 46' 17" W	-47.771389			
PTO 03	LAT	21º 08' 42" S	-21.145	549,00		
	LONG	47º 46' 14" W	-47.770556			
					2097,46	342,38º
CAB 18	LAT	21º 07' 37" S	-21.126944	546,83		
	LONG	47º 46' 36" w	-47.776667			
CAB 36	LAT	21º 08' 33" S	-21.1425	549,03		
	LONG	47º 46' 17" W	-47.771389			
					100,00	342,34º
CAB 36R	LAT	21º 08' 29.90" S	-21.141639	549,80		
	LONG	47º 46' 18.05" W	-47.771681			
CAB 18	LAT	21º 07' 37" S	-21.126944	546,83		
	LONG	47º 46' 36" w	-47.776667			
					200,00	162,34º
CAB 18R	LAT	21º 07' 43.20" S	-21.128667	546,60		
	LONG	47º 46' 33.90" w	-47.776083			

Após a coleta dos dados, os mesmos serão analisados e tratados para que possam ser inseridos no modelo computacional INM, e posteriormente feita uma análise estatística desses dados. As observações de campo serão feitas pelo medidor de nível de pressão sonora (decibelímetro) e GPS de mão. Foi feito uso da estação total para determinação das altitudes das cabeceiras da pista como também

para fazer a locação dos pontos obtidos pelo INM e verificado “in loco” com a utilização desses equipamentos.

A Tabela 8 foi elaborada com os dados obtidos no levantamento de campo efetuado pela equipe da USP e após os cálculos dos índices de ruído foram processados para serem inseridos no INM para uma nova simulação.

Tabela 8 – Resultados levantados no campo - USP

PONTO	LATITUDE - GPS	LONGITUDE - GPS	d(B)A - INM	d(B)A-Campo
cab18	21.125099	47.777035		
cab18rec	21.126820	47.776481		
cab36	21.143250	47.771220		
cab36rec	21.142385	47.771498		
ref sc	21.139344	47.774537	64.70	90.87
P 2	21.125910	47.778630	67.70	86.79
P 2.1	21.124730	47.776960	80.70	91.59
P 3.3	21.128889	47.776764	74.30	85.64
P 3.1	21.128890	47.774680	70.40	87.00
P 4	21.135190	47.775120	66.50	80.94
P 4.1	21.135180	47.772380	67.00	84.00
P 5	21.139310	47.774560	64.70	90.87
P 5.1	21.139310	47.770980	64.00	79.64
P 6	21.143510	47.774500	60.60	71.66
P 6.1	21.143460	47.770020	71.00	82.93

As normas não preveem o número de medições a serem feitas no trabalho de campo, mas seguindo normas do Ministério do Trabalho e Emprego – MTE foi verificado se a quantidade de pontos levantados pode ser aceita para esta pesquisa. Existe uma norma Francesa, a NFS 31-084 (*méthode de mesure des niveaux sonores en milieu de travail, envue de l'évaluation du niveau d'exposition sonore quotidienne des travailleurs*), que estabelece procedimentos de avaliação do ruído e tratamento específico dos dados (Paris, 1987). Este método foi o que mais se aproximou do que queremos demonstrar, porém ele calcula o L_{eq} , que é o ruído médio de várias leituras do mesmo local e o SEL , ruído de um único evento. Analogamente, identificam a mesma leitura em decibel.

Com os dados da Tabela 8 calculamos a média, o desvio padrão e o limite de confiabilidade destas medições.

A média encontrada no levantamento foi de 84,72 dB(A) com um desvio padrão de 5,90 dB(A) e o limite de confiabilidade de 95% foi de 4 dB(A).

Portanto, o nível de exposição ao ruído com um limite de confiança de 95% foi igual a $SEL = 84,72dB(A) \pm 4dB(A)$. Como as medidas foram efetuadas com um medidor de nível de pressão sonora do Tipo 2, a imprecisão deste instrumento é de ± 1 dB(A), resultando em um intervalo global de 3 dB(A). Assim o valor $SEL = 84,72dB(A) \pm 3dB(A)$ sendo, o levantamento validado para este projeto de estudo.

Aplicando o mesmo critério para os pontos levantados pelo IPT, temos os seguintes valores (Tabela 4, pag. 74):

A média encontrada no levantamento foi de 90,27 dB(A) com um desvio padrão de 4,35 dB(A) e o limite de confiabilidade de 95% foi de 3 dB(A).

Portanto, o nível de exposição ao ruído com um limite de confiança de 95% foi igual a $SEL = 90,27dB(A) \pm 4,35dB(A)$. Como as medidas foram efetuadas com um medidor de nível de pressão sonora do Tipo 2, a imprecisão deste instrumento é de ± 1 dB(A), resultando em um intervalo global de 3,35 dB(A). Assim o valor $SEL = 90,27dB(A) \pm 3,35dB(A)$ sendo, o levantamento validado para o levantamento de dados do IPT.

3.5. Delineamento do processo

As simulações de ruído aeronáutico apresentadas neste estudo foram feitas a partir de modelos computacionais elaborados com o programa INM. Para a elaboração do mapa das curvas de mesmo nível de ruído, é necessário que se defina um grande número de dados para que o programa possa ter uma correlação com a realidade que se pretende simular.

Estes dados foram obtidos através de levantamentos de campo com o uso dos equipamentos descritos acima, onde teremos os dados necessários para que possamos dar início nas simulações.

Para cada caso, foram definidas as condições meteorológicas predominantes e um conjunto de operações de pousos e decolagens. Cada operação é definida pelo seu tipo (pouso ou decolagem), modelo da aeronave, seu peso, o procedimento específico, o perfil de navegação vertical e o horário do dia em que ocorre, além de possuir um extenso banco de dados com informações padronizadas sobre o ruído de diversas aeronaves e procedimentos de pouso e decolagem. O INM permite que se ajustem manualmente diversos parâmetros, possibilitando ao usuário adequar o modelo às condições específicas de cada caso.

O software deve ser alimentado com todas essas informações, para que possa então calcular os níveis de ruído na região de interesse e gerar as curvas específicas de ruído para cada métrica escolhida. O conjunto de operações usado em um estudo pode ser definido de duas formas distintas: individualmente para cada modelo ou de forma agrupada. No caso do estudo exposto, será feito da forma agrupada e individualmente por aeronave.

Independentemente de como se define o conjunto de operações, o importante é que se tenham todas as operações relevantes que representem da melhor forma possível um dia médio de operação do aeroporto. Por melhor que seja a determinação do conjunto de operações que compõem um dia típico, só isto não é garantia de uma amostragem consistente. Além das operações diárias corretamente distribuídas entre os tipos de aeronaves a serem simuladas, é necessário também definir quais os procedimentos utilizados para os pousos e decolagens.

Conforme as cartas do Ministério da Aeronáutica consultadas, existem para o aeroporto de Ribeirão Preto (SBRP), 6 procedimentos padrão de decolagem (ALVA, BOFE, FRANCA, LAMU, MARA e ULAM), dois de pouso (NORTE e SUL) e dois de pouso RNAV (GNSS) (Anexo A).

Uma vez definido o conjunto de operações que representa um dia típico de operação no aeroporto e os procedimentos de pouso e decolagem, é necessário que se determine o perfil de navegação vertical bem como o peso médio de cada categoria de aeronave. Estas informações serão executadas pelas especificações padrão de cada aeronave existente no banco de dados do INM.

A partir das curvas de ruído geradas com o programa INM para as operações de pouso e decolagem de cada tipo de aeronave individualmente, calcula-se o nível de ruído no ponto onde se encontravam os medidores no momento em que ocorrerá o evento. A métrica utilizada para se fazer essa comparação é o L_{DN} – nível de incômodo sonoro de um único evento (NBR – 11415 de 1990).

3.6. Definição dos Cenários

3.4.1. Cenário 1

Os dados para a montagem do cenário 1 foram levantados pela empresa GROM Acústica & Automação – Estudo Complementar de Ruído elaborado para o Aeroporto de Ribeirão Preto. O levantamento foi efetuado entre os dias 24 a 31 de maio de 2006.

O ideal, para avaliações de ruído de aeroportos, é que o monitoramento da pressão sonora seja feito sem interrupções por um período de no mínimo uma semana, pois só assim é possível registrar de forma estatisticamente representativa as operações regulares deste aeroporto. O número de pontos considerado ideal depende de diversos fatores, como número e comprimento das pistas do aeroporto, topologia da região, distribuição da população no entorno e a presença de receptores sensíveis (hospitais, escolas, igrejas e afins) em áreas próximas a ele.

Os equipamentos foram configurados para registrar o nível equivalente de pressão sonora a cada segundo. Esse registro detalhado permite a visualização de cada evento, facilitando a identificação das operações das aeronaves, além de facilitar o cálculo posterior de diversos parâmetros estatísticos relativos ao ruído ambiente nos pontos de medição.

Por questões operacionais, segundo a GROM, a campanha se iniciou com os equipamentos posicionados em pontos de fácil acesso, nos quais foi possível posicionar os equipamentos sem a necessidade de qualquer autorização. Na extensão da cabeceira 36, o primeiro ponto monitorado (Ponto A-01) distante 1.900 m da cabeceira (Figura 25) (Fonte: GROM, 2006).

Já na extensão da cabeceira 18, o equipamento foi posicionado em um terreno baldio na Rua Egydio Pedreschi (Ponto A-03) a 920 metros ao norte da cabeceira 18. Esses dois pontos foram monitorados nos dias 24 e 25, enquanto se buscava novos pontos onde os equipamentos de medição pudessem ser posicionados com segurança para permanecerem desacompanhados (Figura 26) (Fonte: GROM, 2006).

Os valores de ruído medidos durante a campanha de medição foram posteriormente processados para que se pudessem distinguir, entre os diversos eventos sonoros, aqueles devidos às operações de aeronaves.

Figura 25 - Localização dos pontos de controle na cab 36

Figura 26 - Localização dos pontos de controle na cab 18

3.4.2. Cenário 2

3.4.2.1. Localização dos pontos de coleta

Esta coleta de dados foi feita pelo IPT, contratado pelo Departamento Aeroviário do Estado de São Paulo – DAESP, para o estudo da curva de ruído do Aeroporto de Ribeirão Preto – SP. Os trabalhos de campo se estenderam no período de novembro de 2009 a outubro de 2010 em 3 fases.

A seguir, vamos demonstrar as localizações dos pontos de coleta. O ponto 01 foi posicionado a 350,04 m da cabeceira 18 no rumo 43° NE (sendo o eixo da pista o ponto de partida através de uma placa de metal fixada pelo ICA - Instituto de Cartografia da Aeronáutica) como mostrado nas Figuras 27 e 28.

Figura 27 - Equipamento efetuando leitura (Foto: IPT)

Figura 28 - Ponto 01 de coleta de dados (Foto: IPT)

O ponto 02, localizado próximo à cabeceira 18 foi deslocado 25° NW do eixo da pista e afastado 379,08 m, como mostrado nas Figuras 29 e 30.

Figura 29 - Localização do ponto 02 (Foto: IPT)

Figura 30 - Pouso do A320 da TAM (Foto: IPT)

O ponto 03, de coleta estava localizado próximo à cabeceira 36 no rumo 17° SW com uma distância de 290,02 m, como ilustrado nas Figuras 31 e 32.

Figura 31 - Localização do ponto 03 (Foto: IPT)

Figura 32 - Decolagem de um A320 (Foto: IPT)

3.4.3. Cenário 3

3.4.3.1. Localização dos pontos de coleta

O cenário 3 foi elaborado para servir como um comparativo com os levantamentos anteriores, mas com uma sistemática diferente, partindo da fase de simulação do INM (cenário 2) para os dados reais de campo. O início dos trabalhos de campo foi no ponto de referência como mostra a Figura 33.

Figura 33 – Ponto de referência e equipe de trabalho

Os pontos definidos pelo INM na simulação foram colocados em uma tabela (Tabela 9) e posteriormente foi obtida a sua localização no campo e executado o levantamento com o medidor de nível de pressão sonora. No Capítulo 4 será feita uma análise estatística destes dados comparativos entre simulação x campo.

Com o auxílio da Estação Total, foram locados os pontos P2 a P6.1 e feitas novas medições pelo medidor de nível de pressão sonora e verificadas as coordenadas com o GPS.

As Figuras 34, 35 e 36 mostram os pontos de coleta P6 e P6.1.

Tabela 9 – Planilha de dados elaborada pelo autor

PONTO	LATITUDE	LONGITUDE	LATITUDE - GPS	LONGITUDE - GPS	DISTANCIA	ÂNGULO	d(B)A - INM	d(B)A-Campo	COTA(m)	COTA (ft)
cab18	21.125099	47.777035	21.125099	47.777035	1599.33	213° 48' 57"			548.08	1798.16
cab18rec	21.126820	47.776481	21.126820	47.776481	1401.22	214° 52' 02"			547.04	1794.75
cab36	21.143250	47.771220	21.143250	47.771220	552.95	04° 37' 06"			550.31	1805.47
cab36rec	21.142385	47.771498	21.142385	47.771498	461.54	0			550.02	1804.52
ref sc	21.139344	47.774537	21.139344	47.774537	0	0	64.7	90.87	549.23	1801.93
P 2	21.124708	47.778992	21.12591	47.77863	1685.23	207° 52' 56"	67.7	86.79	545.60	1790.02
P 2.1	21.124708	47.776764	21.12473	47.77696	1636.86	215° 00' 19"	80.7	91.59	546.31	1792.35
P 3.3	21.128889	47.776764	21.128889	47.776764	673.73	207° 58' 12"	74.3	85.64	546.77	1793.86
P 3.1	21.128889	47.774536	21.12889	47.77468	1157.51	223° 08' 04"	70.4		545.53	1789.79
P 4	21.135162	47.772308	21.135162	47.772308	466.21	216° 21' 53"	66.5	80.94	546.34	1792.45
P 4.1	21.135162	47.775065	21.13518	47.77238	517.62	249° 41' 51"	67		543.15	1781.98
P 5	21.139343	47.774536	21.13931	47.77456	0	0	64.7	90.87	549.23	1801.93
P 5.1	21.139343	47.770882	21.13931	47.77098	379.61	313° 08' 07"	64	79.64	545.47	1789.60
P 6	21.143526	47.774536	21.14351	47.7745	463.14	43° 08' 4"	60.6	71.66	551.74	1810.17
P 6.1	21.143526	47.770081	21.14346	47.77002	654.7	358° 09' 33"	71	82.93	548.20	1798.55

Figura 34 – Localização dos pontos P6 e P6.1 próximos a cabeceira 35

Figura 35 – Medidor de nível de pressão sonora posicionado no ponto 6

Foto: Autor

Figura 36 – Medidor de nível de pressão sonora posicionado no ponto 6.1

Foto: Autor

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esse capítulo é destinado à apresentação dos resultados obtidos nos Cenários.

4.1. Processamento dos dados

4.1.1. Resultados obtidos para o Cenário 1 - GROM

Os dados foram indexados ao programa INM e processados. Estes dados serão mostrados através de tabelas, figuras e gráficos apresentados a seguir. A Figura 37 é o resultado da introdução das rotas das cartas de navegação na simulação do INM.

Figura 37 – Rotas de chegadas e saídas com as curvas de ruído de SBRP elaboradas pelo INM. Fonte: Autor

A Figura 38 mostra a curva de ruído produzida pelo número total de voos no Aeroporto de Ribeirão Preto, as curvas de ruído de 55 a 75 dB(a), a população atingida e suas áreas em km².

SEL dB(A)	55.00	57.50	60.00	62.50	65.00	67.50	70.00	72.50	75.00
Pop.	1033	0	0	0	0	0	0	0	0
Área km ²	1.405	0.774	0.465	0.296	0.180	0.098	0.055	0.031	0.017
Cor									

Figura 38 – Curvas de ruído total geradas pelo INM – Cenário 1

Gráfico 1 – Área total em km² nas curvas de ruído de 55 a 75 dB(A)

4.1.2. Resultados obtidos para o Cenário 2 - IPT

Os dados coletados foram utilizados para os cálculos do SEL, EPNL, Ldn e IPR. Os valores calculados e utilizados no INM estão contidos nas tabelas do Anexo B. Com os cálculos efetuados procede-se, após isso, a entrada dos dados no INM.

A entrada dos dados para cálculo do INM é manual e de difícil compreensão para iniciantes. Há a necessidade de se entender muito bem os procedimentos de operação do aeroporto como também os princípios de voo das aeronaves envolvidas. A Figura 39 ilustra as curvas de decolagem e pouso para o Cenário 2.

Figura 39 - Curvas das cartas de subida e descida do Aeroporto de Ribeirão Preto elaboradas pelo IPT. Fonte: Autor

A Figura 40 mostra a curva de ruído produzida pelo número total de voos no Aeroporto de Ribeirão Preto, as curvas de ruído de 55 a 75 dB(a), a população atingida e suas áreas em km².

SEL dB(A)	55	57.5	60	62.5	65	67.5	70	72.5	75
Pop.	4.259	2.812	2.115	0	0	0	0	0	0
Área km ²	4.23	2.76	1.82	1.21	0.82	0.56	0.41	0.30	0.20
Cor									

Figura 40 - Curvas de ruído em DNL gerada pelo INM – Cenário 2 – IPT

Gráfico 2 – Área total em km² das curvas de ruído de 55 a 75 dB(A)

4.1.3. Resultados obtidos para o Cenário 3 - USP

Da mesma forma foram inseridos os dados referentes ao levantamento elaborado pelo autor e denominado USP como mostra a Figura 41. Os dados estão no Anexo B.

SEL dB(A)	55	57.5	60	62.5	65	67.5	70	72.5	75
Pop.	6.314	4.806	2.812	1.033	0	0	0	0	0
Área km ²	7.209	4.508	2.853	1.822	1.177	0.780	0.525	0.373	0.265
Cor									

Figura 41 - Curvas de ruído em DNL total gerada pelo INM – Cenário 3

Gráfico 3 – Área total em km² das curvas de ruído de 55 a 75 dB(A)

4.2. Análise dos resultados obtidos para os Cenários do estudo de caso

4.2.1. Cenário 1 - GROM

Com os dados processados pelo INM, vamos fazer uma análise mais detalhada sobre as projeções sobrepostas na planta da cidade de Ribeirão Preto.

Como podemos observar, as curvas de ruído foram processadas em intervalos de 2,5 dB(A) entre as curvas de 55 dB(A) a 75 dB(A). Na Figura 42 as curvas limites de até 55 dB(A) uma população aproximada de 1.000 pessoas (Gráfico 4) .

Gráfico 4 – Nível de ruído – População do Cenário 1

Figura 42 - Curvas de ruído em DNL total gerada pelo INM – Cenário 1

4.2.2. Cenário 2 - IPT

Os processos são semelhantes ao do Cenário 1. As curvas de ruído da Figura 43 foram processadas em intervalos de 2,5 dB(A) entre as curvas de 55 dB(A) a 75 dB(A). O Gráfico 5 mostra o total aproximado da população afetada no contorno de cada curva de ruído. A população afetada dentro da curva de ruído de até 60 dB(A) é aproximadamente de 9.000 pessoas.

Gráfico 5 – Nível de ruído – População do Cenário 2

Figura 43- Curvas de ruído em DNL total gerada pelo INM – Cenário 2

4.2.3. Cenário 3 - USP

Os processos são semelhantes aos dos Cenários 1 e 2. As curvas de ruído da Figura 44 foram processadas em intervalos de 2,5 dB(A) entre as curvas de 55 dB(A) a 75 dB(A). O Gráfico 6 mostra que o total aproximado da população afetada dentro da curva de até 62,5 dB(A) é de 15.000 pessoas.

Gráfico 6 – Nível de ruído – População do Cenário 3

Figura 44 - Curvas de ruído em DNL total gerada pelo INM – Cenário 3

4.3. Análise dos resultados obtidos para os 3 Cenários

A Figura 45 identifica as áreas onde as curvas se projetam nas quadras povoadas pelos bairros adjacentes ao aeroporto. Mesmo a curva USP (em azul), que está ocupando uma área populacional maior, a projeção ainda assim não afetaria as pessoas que habitam no entorno, pois estaria dentro da norma que é de 65 dB(A).

Figura 45 – Comparativo entre as curvas dos 3 Cenários

4.4. Análise dos resultados simulados obtidos para a movimentação atual do aeroporto

A fim de sabermos se o aumento introduzido no aeroporto, com o começo das operações de outra empresa, de aeronaves B737-300/400, foi feita uma simulação com os voos e assim pudemos ver, em termos comparativos, como ficaram as curvas de ruído atual. A Figura 46 nos dá este indicativo.

Figura 46 – Comparativo entre as curvas do movimento atual – Padrão e 30°C

A Figura 47 e os Gráficos 7 e 8 comparam o movimento atual e mostram o aumento da área atingida pelas curvas de ruído como a porcentagem das áreas e da população, proporcionado com a inclusão de mais 24 movimentos diários no aeroporto. A população aproximada é de 26.877 e a área de 22.71 km².

Este movimento está distribuído em vários horários do dia, entre 07h e 22h, e da noite, das 22h a 07h.

Figura 47 – Comparativo entre as curvas do movimento atual e anterior

Gráfico 7 – Porcentagem da população e área afetada - antes e depois

Gráfico 8 – Total da população afetada - antes e depois

4.5. Análise estatística dos resultados

Uma breve análise estatística é apresentada a fim de avaliar os resultados obtidos neste estudo e os obtidos no estudo do IPT em comparação com os valores estimados. As Figuras 48 e 49 apresentam histogramas das diferenças relativas entre os valores medidos e os previstos pelo modelo. Quanto maior a diferença relativa, maior o distanciamento entre os valores medidos e os previstos pelo modelo. Tais valores podem ser usados para comparar os dois conjuntos de dados e, em assim sendo, o conjunto mais confiável seria aquele que apresenta menores diferenças relativas.

A comparação entre os dois histogramas permite concluir que:

- a faixa de diferenças relativas obtida neste estudo é mais ampla que a faixa obtida no estudo do IPT, o que permite observar a existência de diferenças relativas menores e que não ocorrem no estudo do IPT;
- em termos de diferenças relativas máximas, ambos os conjuntos de dados apresentam diferenças que chegam a 30%; as frequências de ocorrência de diferenças relativas desta magnitude são maiores para os dados obtidos

neste estudo; o estudo do IPT se destaca pela obtenção de uma menor frequência de ocorrência de diferenças relativas altas;

- em termos de diferenças relativas mínimas, o conjunto de dados obtidos neste estudo apresenta valores da ordem de 12%, ao passo que o conjunto de dados obtidos pelo IPT apresenta valores da ordem de 24%;
- a comparação dos dois histogramas não distingue claramente a superioridade de um conjunto de dados sobre o outro, porém destaca a ocorrência de menores diferenças relativas para o conjunto de dados obtido neste estudo.

Figura 48 - Histograma da análise estatística dos dados do IPT

Figura 49 - Histograma da análise estatística dos dados da USP

O Gráfico 9 nos mostra o comparativo da população entre os três cenários do estudo na faixa entre 55 a 75 dB(A).

Gráfico 9 - Comparativo entre os cenários da população afetada

O Gráfico 10 mostra o comparativo entre os três cenários da área ocupada entre as curvas de ruído de 55 a 75 dB(A).

Gráfico 10 – Comparativo entre os cenários – áreas em km²

4.6. Análise da operação com aeronave A320 na decolagem – Área x Pop

A Figura 50 mostra a simulação feita pelo INM da operação de decolagem de um Airbus 320 com temperatura de 83,5 °F (28.6 °C) e vento de 4,3 Kt (desconsiderando a direção do vento pois, o programa não aceita a introdução de outros dados meteorológicos) decolando da cabeceira 18 do Aeroporto de Ribeirão Preto nas curvas de ruído para DNL 55 dB(A) a 65 dB(A).

Figura 50 – Curva de ruído da aeronave A320 decolando da cabeceira 18 DNL entre 55 e 65 dB(A)

A Figura 51 mostra a simulação feita pelo INM da operação de decolagem de um Airbus 320 com temperatura de 83,5 °F (28.6 °C) e vento de 4,3 Kt, decolando da cabeceira 36 do Aeroporto de Ribeirão Preto nas curvas de ruído para DNL 55 dB(A) a 65 dB(A).

Figura 51 – Área de contorno de ruído da aeronave A320 decolando da cabeceira 36 DNL entre 55 e 65 dB(A)

Analisando os Gráficos 11 e 12, observamos claramente que as decolagens efetuadas na cabeceira 36 são mais críticas, pois a curva de saída é para a esquerda (curva padrão) passando sobre o bairro (mostrado também na Figura 52).

Na Figura 52, foi feita simulação alterando a rota padrão passando de 2,16 nmi (4 km) para 3,24 nmi (6 km). Esta distancia corresponde a um ponto no espaço onde na decolagem a aeronave permanece em rota de subida por mais 2 km e após começa a fazer a curva à esquerda no sentido da subida Alva (ver Anexo A). Esta curva esta demonstrada na cor preta.

Figura 52 – Alteração de rota de decolagem com aumento na distância de subida na decolagem

Gráfico 11– Área das cabeceiras da pista 18 e 36 – Simulações do INM

Gráfico 12 – População afetada nas decolagens das cabeceiras da pista 18 e 36 – Simulações do INM

Os Gráficos 13 e 14 mostram o comparativo entre as duas curvas simuladas das Figuras 51 e 52. Observamos que houve uma diminuição pequena na área, mas quanto à população atingida, houve um decréscimo de aproximadamente 69% dentro da curva de DNL 55 dB(A).

Gráfico 13 – Comparativo entre áreas – decolagem cabeceira 36

Gráfico 14 - Comparativo entre população – decolagem cabeceira 36

4.7. Cálculo total das operações em DNL com alteração de rota - USP

Para fazermos uma análise com a alteração de rota das operações do aeroporto foi introduzido nesta simulação um acréscimo na rota de decolagem em ambas as cabeceiras da pista de 2.16 nmi (4 km) para 3,24 nmi (6 km) (Figura 53).

Figura 53 – Rota alterada com curvas de ruído em DNL de 55 a 65 dB(A)

Com esta alteração de rota proposta a população afetada era de aproximadamente 14.000 pessoas passando para 6.000 pessoas e área no entorno do sítio aeroportuário que era de 13 km² para pouco menos de 6 km², como demonstrado nos Gráficos 15 e 16. Houve um decréscimo de 46% tanto na população quanto na área.

Gráfico 15 – Área das curvas de ruído total em DNL de 55 a 65 dB(A)

Gráfico 16 – População aproximada entre as curvas de ruído total em DNL de 55 a 65 dB(A)

4.8. Análise de espectro de onda em aeronaves do estudo proposto

As aeronaves produzem diferentes tipos de frequências. Geralmente, os aviões militares produzem os mais altos níveis de som nas frequências entre 200 e 1000 Hz, aeronaves civis normalmente produzem altos níveis sonoros nas frequências de 50 a 400 Hz, os aviões a hélice de 60 a 250 Hz e helicópteros de 10 Hz a 80 Hz (EHRlich AT AL., 2005).

Mesmo o ruído sonoro sendo de baixa frequência nos aviões a hélice, helicópteros e aviões civis, os ruídos nestes tipos de aeronaves pode mais facilmente penetrar em uma residência do que o ruído que parte das turbinas dos aviões militares. O ruído gerado por essas aeronaves é mais difícil de atenuar do que o ruído das aeronaves militares que tem uma frequência de maior intensidade (EHRlich AT AL., 2005).

O Airbus 320 - 111 é um jato com duas turbinas modelo CFM56-5A1 e está definido para operação no Capítulo 3 (Figura 54), que são as aeronaves menos ruidosas. Como foi definido na Figura 55 página, o pico111 o nível máximo de ruído foi de 89.2 dB, ficando na faixa de 125 Hz.

Figura 54 – Classificação por Capítulos. Fonte: Slama (Grupo GERA)

Figura 55 – Frequências de onda do A320

Analisando a operação do ATR42, que é uma aeronave turboélice dois motores modelo PRATT&WHITNEY PW 127E tipo HAMILTON STD 568F e opera no Capítulo 3. O pico máximo na operação foi 86,8 dB na faixa de 125 Hz, Figura 56.

Figura 56 – Frequências de onda do ATR42

Analisando a operação do E120, que é uma aeronave turboélice dois motores modelo PRATT&WHITNEY PW 115 tipo HAMILTON STD 14RF9 e opera no Capítulo 3, o pico máximo na operação foi de 90 dB na faixa de 125 Hz, Figura 57.

Figura 57 – Frequências de onda do E120

4.9. Uso ilustrativo de programas alternativos

Com o uso de programas alternativos desenvolvidos neste estudo também podemos demonstrar graficamente o comportamento das curvas de ruído. Isto está demonstrado nas figuras a seguir.

Estas figuras são ilustrativas, entretanto se pararmos para analisá-las pode-se retirar informações de grande relevância para o trabalho, pois como podemos observar na Figura 61 os pontos de maior incidência de ruído que são posicionados próximos às cabeceiras da pista estão definidos e destacados em relevo.

As Figuras 58 a 61 ilustram as curvas de 55 a 75 dB(A).

Figura 58 – Perspectiva de uma curva de ruído - Fonte: Autor

Figura 59– Projeção em 3D das curvas de ruído - Fonte: Autor

Estas curvas podem ser visualizadas também no plano topográfico como mostram as Figuras 60 e 61.

Figura 60 – Curvas em DNL – Fonte: Autor

Figura 61 – Posição das cabeceiras da pista onde a concentração de ruído sonoro é maior - Fonte: Autor

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

5.1. Considerações gerais

Através desta tese, foi apresentado um estudo de caso para verificar a situação sonora especificamente do Aeroporto Estadual de Ribeirão Preto (SBRP), que pertence a rede de aeroportos do DAESP e, para tanto, foram utilizadas algumas abordagens alternativas; além do uso do INM, foram incorporadas outras ferramentas como o Transcad e o Autocad para estudar as variantes apresentadas durante o estudo.

Os resultados obtidos indicaram que os fatores mais relevantes do incômodo sonoro deste aeroporto se deve ao fato do mesmo estar localizado entre áreas residenciais e que, com a alteração dos ventos e a alta temperatura, favorecem o deslocamento de ar e conseqüentemente a propagação do ruído nestas áreas.

O objetivo de identificar e analisar as formas de mitigação do ruído aeronáutico foi atingido uma vez que, ao simular a aplicação de algumas das alternativas propostas para o aeroporto do estudo de caso foi possível visualizar, pelo programa INM e pelas outras ferramentas, o impacto sonoro correspondente.

O estudo demonstrou uma visão geral sobre as formas de suavizar o transtorno causado pelas operações de determinadas aeronaves no aeroporto, cabendo aos responsáveis pelo aeródromo julgar pela adoção ou não dos novos procedimentos de redução do ruído e, junto com o órgão de tráfego aéreo local, implantar estas medidas e com isso modificar o impacto causado pelo ruído aeronáutico. Estas medidas sugeridas para a redução do nível de ruído são de baixo custo e não requerem investimentos.

Algumas restrições operacionais nos procedimentos de pouso e decolagem devem ser implantadas diretamente nas torres de controle onde através de um simples

gráfico da direção e velocidade do vento, poderemos saber se é possível que uma determinada aeronave opere na cabeceira A ou B.

No caso do aeroporto que fez parte do estudo, não se justificaria um controle de ruído mais específico, sendo que hoje as aeronaves que o utilizam, em sua grande maioria são dotadas de turbinas mais silenciosas, não causando impacto significativo nas comunidades residentes no entorno aeroportuário.

5.2. Conclusões finais e recomendações

- Uma das opções para se mitigar os efeitos sonoros produzidos na população seria inverter a operação das aeronaves, passando a utilizar a cabeceira 36 para pousos e decolagens. Isso pode ser feito porque os registros históricos dos ventos de través são de baixa velocidade.
- A introdução de mudanças nos perfis de pouso e decolagem permitiria atenuar os incômodos causados pelos ruídos oriundos dos motores das aeronaves, assim proporcionando melhor qualidade de vida aos residentes no entorno aeroportuário.
- Com a temperatura padrão e vento calmo, a curva de ruído é maior do que a curva com temperatura de 30°C e vento de 13Kt (24 km/h). Isto é verdade porque com a temperatura mais alta o ar se torna menos denso dificultando a propagação do ruído.
- A população incluída dentro da curva de ruído de 65 dB(A) teve um acréscimo de 105% quando o aeroporto estiver operando com temperatura baixa e vento calmo.
- Por meio de estudos “*in-loco*”, cidades com o mesmo perfil de uso deste aeroporto devem incluir no seu plano diretor o direcionamento de crescimento dos seus bairros e distritos industriais, para evitar futuros transtornos.
- As novas curvas nos mostram que, com a introdução de mais voos no aeroporto, geraram um aumento no quantitativo de área e pessoas afetadas, mas ficando dentro dos parâmetros normais da curva de 65 dB(A).
- Novos testes com operação GNSS – *Global Navigation Satellite System*.

REFERÊNCIAS

AFNOR, standard S31.084:1984 Acoustique – Méthode de mesurage des niveaux sonores en milieu de travail en vue de l'évaluation du niveau d'exposition sonore quotidien des travailleurs (Measurement method for noise levels at the workplace for the assessment of the noise exposure level of workers), Paris, 1987.

AIRMOD. Methodology for computing noise contours around civil airports. Applications guide, volume 1, Draft version 5.0. European Civil Aviation Conference, ECAC.CEAC, document 29R. 2003. V1, 97 p.

AIRMOD. Methodology for computing noise contours around civil airports. Technical guide, volume 2, Draft version 5.0. European Civil Aviation Conference, ECAC.CEAC, document 29R. 2003. V1 97 p. V2, 119 p.

AIRSERVICES AUSTRÁLIA. Sydney Airport: N433 Australian noise exposure index – Report nº EO 03-137. Canberra City, 2003. 30 p.

ANDRADE, STELLA M. M. Metodologia para avaliação de impacto ambiental sonoro da construção civil no meio urbano. Rio de Janeiro, 2004. 253 p.

AREZEZ, PEDRO M. F. MARTINS. Percepção do risco de exposição ocupacional ao ruído. Guimarães, Portugal, 2002. 225 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 08572: Fixação de valores de nível de ruído para tratamento acústico de edificações expostas ao ruído aeronáutico: procedimentos. Rio de Janeiro, 1989. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7731: Guia para execução de serviços de medição de ruído aéreo e avaliação dos seus efeitos sobre o homem: procedimentos. Rio de Janeiro, 1990. 11 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11415: Ruído aeronáutico: procedimentos. Rio de Janeiro, 1990. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12314: Critério de ruídos para recintos internos nas edificações submetidas ao ruído aeronáutico: procedimentos. Rio de Janeiro, 1997. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10152: Avaliação do ruído ambiente em recintos de edificações visando o conforto dos usuários: procedimentos. Rio de Janeiro, 1999. 5 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade: procedimentos. Rio de Janeiro, 2000. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10856: Determinação do nível efetivo de ruído percebido (EPNL) de sobrevoo de aeronaves: procedimentos. Rio de Janeiro, 2000. 9 p.

BASTOS, BAUM e DIAS. Ruídos e emissões no transporte aéreo. Documento de Trabalho N. 016 – Acervo Científico do Núcleo de Estudos em Competição e Regulação do Transporte Aéreo (NECTAR). São José dos Campos, SP. Disponível em www.nectar.ita.br 2007. 30 p.

BERANEK, L. Noise reduction. 1ª ed. New York, Toronto, London: McGraw-Hill. 1989. 750 p.

BERGLUND, BIRGITTA; LINDVALL, THOMAS; SCHWELA, DIETRICH H. Guidelines for community noise: Prepared for the WORLD HEALTH ORGANIZATION, London, 1999. 161 p.

BRASIL. Ministério da Aeronáutica: Manual de implementação de aeroportos. Instituto de Aviação Civil. Rio de Janeiro, 2004. 65 p.

BRASIL. Ministério da Aeronáutica: Manual de gerenciamento do uso do solo no entorno de aeródromos. Instituto de Aviação Civil. Rio de Janeiro, 2004. 65 p.

BRÜEL & KJAER SOUND & VIBRATION MEASUREMENT A/S. Environmental noise, 2001. 69 p.

CBA - Código Brasileiro de Aeronáutica (Lei Nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986).

CETESB. Norma técnica L11033. Ruído, processo prático para calcular o nível de ruído equivalente contínuo: procedimento. São Paulo, 1992. 5 p.

COMANDO DA AERONÁUTICA. ROTAER: Manual auxiliar de rotas aéreas. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Instituto de Cartografia Aeronáutica. Rio de Janeiro. Atualização em 12 de março de 2009. 797 p.

CORDINA, E. Aviation and the environment. A study on ways to limit the environmental harm caused by engine emissions and an assessment of future environmentally friendly aircraft technologies (2002).

DAC – DEPARTAMENTO DE AVIAÇÃO CIVIL. Portaria nº 1.141/GM5/87. 1987.

DAMIÃO, DARCTON P. e ROCHA, ALEXANDRE DA. Utilização de dados de sensoriamento remoto no planejamento urbano do entorno de aeródromos: Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, 1998, p. 897-905.

DECRETO-LEI n.º 293/2003 de 19.11.2003. Diário da República 1ª Série A Pag. 7895/7899, MOPTH. Brasília, 2003.

DECRETO Nº 21713, 27 AGOSTO DE 1946. Convenção de Chicago. Diário da República. 1946.

DECRETO Nº 89.431, DE 08 DE MARÇO DE 1984. 1984.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Instrução Normativa nº 72. Edição nº 161 de 22/08/2005. Brasília, 2005.

EHRLICH, GARY et al. Guidelines for sound insulation of residences exposed to aircraft operations. Department of the Navy – Naval Facilities Engineering Command. Washington, DC, 2005. 146 p.

ELLER, ROGÉRIA DE ARANTES GOMES. O ruído aeronáutico como fator de perda do valor dos imóveis residenciais: o caso do Aeroporto Internacional de São Paulo. São José dos Campos, 2000. 113 p.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. <http://www.epa.gov/lawsregs/>.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Public health and welfare criteria for noise. Washington, 1973. 198 p.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Land use compatibility and airports. U. S. Department of Transportation, Washington, 1998. 141 p.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Airport noise compatibility planning, Part C – Mathematical Descriptions. Sec A150.205. U. S. Department of Transportation, Washington, 2004. 2 p.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Airport master plans and 150/5300-13, Airport design. U. S. Department of Transportation, Washington, 1989. 324 p.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Noise abatement policy of 1976. <http://airportnoiselaw.org/faanap-1.html>.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Noise control and compatibility planning for airports. Advisory circular AC150-5020-1, U. S. Department of Transportation, Washington, 1983. 72 p.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Part 150 Noise compatibility program. 2004.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Noise levels for U. S. certificated and foreign aircraft. Advisory Circular AC nº 36-1H. U. S. Department of Transportation, Washington, 2001. 246 p.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Estimated airplane noise levels in A – Weighted Decibels. Advisory Circular AC nº 36-3H U. S. Department of Transportation, Washington, 2002. 127 p.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA) Airport master plans as specified in Advisory Circulars (AC) 150/5070-6B. Washington, 2007. 144 p.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). Spectral classes for FAA'S integrated noise model version 6.0. John A. Volpe National Transportation Systems Center, Acoustics facility, Cambridge, MA 02142-1093, 1999. 101 p.

FERNANDES, JOÃO CANDIDO. Acústica e ruído. Bauru, 2002. 98 p.

FIGUEIREDO FERRAZ – Consultoria e Engenharia de Projetos Ltda. Estudo de impacto ambiental. Ribeirão Preto, 2005. 549 p.

GROM Acústica & Vibração. Estudo complementar de ruído. Ribeirão Preto, 2006. 85 p.

HARDESTY, MARK; CONNER, DAVID; SMITH, CHARLES; TERRELL, WILLIAM. The use of GPS tracking and guidance systems for the Chicken Little joint project's "acoustic week" flight test program. Baltimore, American Helicopter Society International, 2004. 18 p.

HORONJEFF, R and McKELVEY, F. Planning and a design of airports. Forth edition, McGrawHill, 1993.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2000.

IAC – INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL. Índice ponderado de ruído. 1981.

ICAO - INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. CAN - Committee on aircraft noise. 1970.

ICAO - INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Environmental protection, Annex 16, volume 1: aircraft noise, Third edition, Montreal, 1993. 229 p.

ICAO - INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Environmental technical manual on the use of procedures in the noise certification of aircraft Doc 9501 AN/929 - Third Edition. Quebec, 2004. 108 p.

ICAO - INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Guidance on the balanced approach to aircraft noise management. Document 9829. 2004. 85 p.

ICAO - INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Apêndice C da A33-7: Consolidated statement of continuing ICAO policies and practices related to environmental protection. 2001. Página 15-17.

INM 6.0. User's guide. U.S. Department of Transportation FAA-AEE-100, 1980. 312 p.

INM 6.0c. Software Update. FAA-AEE-100, 2001. 8 p.

IPT - Relatório Técnico nº 81.767-205-2/8. São Paulo, 2005.

KRYTER, KARL D. Scaling human reactions to the sound from airport. Massachusetts, 1959. 15 p.

LAZZARINI, VITOR E. P. Elementos de acústica, Music Department, National University of Ireland, Maynooth, 1998. 47 p.

LAWTON, BEM WILLIAM. The noisiness of low-frequency one-third octave bands of noise. Washington, 1975. 32 p.

MACEDO, MARTA RIBEIRO VALLE. Avaliação pós-ocupação acústica: um instrumento de apoio ao planejamento e gestão ambiental na circunvizinhança de pequenos aeroportos. Rio de Janeiro, 2004. 421 p.

MARQUES, CYNTIA TAVARES. Potencialidades e limitações da aplicação simultânea de aromas e de pigmentos sensíveis ao calor e à luz em artigos de moda praia. Guimarães - Portugal, 2004. 141 p.

MIRAFLORES, RAYMOND M. C. Integrating a noise modeling capability with simulation environments. California, 2002. 7 p.

NAGEM, MÍRIAM POMPEU. Mapeamento e análise do ruído ambiental: Diretrizes e metodologia. Campinas, 2004. 133 p.

_____. NR-15 ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES (115.000-6).

NUNES, MARIA FERNANDA DE OLIVEIRA, SATTTLER, MIGUEL ALOYSIO. Percepção do ruído aeronáutico em escolas da zona I do PEZR no Aeroporto Internacional Salgado Filho. Porto Alegre, 2004. 20 p.

OLLERHEAD, J. B. The CAA aircraft noise contour model: ANCON version 1. DORA report 9120. Department of Transport, London, 1992. 40 p.

OLIVEIRA, GENEROSO NIEDERAUER. Metodologia para cálculo do ruído externo de aeronaves. São José dos Campos, 2005. 151 p.

OLMSTEAD et al. Integrated noise model. FAA-AEE-02-01. 2002. 100 p.

PORTARIA Nº 1.141/GM5, DE 8 DE DEZEMBRO DE 1987. 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. 1987. 66 p.

PRAKASH, AMIT; JOUTE, KAPROSANG; JAIN, V. K. An estimation of annoyance due to various public modes of transport in Delhi. New Delhi, 2006. 7 p.

RICKLEY, EDWARD J.; FLEMING, GREGG G. Computing the absorption of sound by the atmosphere and its applicability to aircraft noise certification. John A. Volpe National Transportation Systems Center Acoustics Facility. Cambridge, MA 02142-1093, 1998. 59 p.

ROSENBLITH, W., STEVENS, K. N. Handbook of acoustic noise control, *noise and man*, WADC Technical Report 52-204, Wright Air Development Center, OH, v.2, 1953.

SALIBA, T. M. Manual prático de avaliação e controle do ruído, São Paulo: LTR, 5ª Edição, 2009. 144 p.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS – SAE-AIR-1751 – Prediction method for material attenuation of airplane noise during takeoff and landing. 1991.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS – SAE-ARP-866A – Standard values of atmospheric absorption as a function of temperature and humidity. 1991.

SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS – SAE AIR 1845. Procedure for calculation of airplane noise in the vicinity of airports. Warrendale, 1986. 84 p.

SILVA, CARLOS AUGUSTO UCHÔA DA. Um método para estimar observáveis GPS usando redes neurais artificiais. São Carlos, 2003. 128 p.

SLAMA R. et al.. Estudos em ruído aeroportuário do Grupo de Acústica Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004. 6 p.

SOUSA, DENISE DA SILVA DE. Instrumentos de gestão de poluição sonora para a sustentabilidade das cidades brasileiras. Rio de Janeiro, 2004. 643 p.

STEVENS, S. S. Calculation of the loudness of complex noise. Psycho-acoustic laboratory, Harvard University, Cambridge, Massachusetts. 1956. 26 p.

STOTER, JANTIEN. Noise prediction models and geographic information systems, a sound combination. Dunedin, 1999. 11 p.

VALLET, M. Vallet, Sleep disturbance by noise, recent orientations, *Proceedings of International Congress on Noise as a Public Health Problems*, Vol. 2, 1998, pp. 421–426.

VALLET, M. La gene due bruit autour des aéroports. In *acoustique & techniques*. Dossier: Spécial bruit et santé. 1^{er} trimestre, n° 28, 2002. Pp. 26-33.

VALIM, FERNANDA CAIXETA. Análise das diferentes formas de atenuação do ruído aeronáutico. Brasília, 2006. 174 p.

WELLS, D. et al.. Guide to GPS positioning. Canadian GPS Associates. Fredericton. 1986. 600 p.

WERLICH, JOHN M. AND KRINSKY, RICHARD P. The Aviation noise abatement controversy: Magnificent laws, noisy machines, and the legal liability shuffle, published in *Loyola of Los Angeles Law Review*, vol. 15, pages 69-102 (1981).

VISSER, H.G. and WIJNEN, R.A.A. Optimization of noise abatement arrival trajectories. Faculty of Aerospace Engineering Delft University of Technology Delft, The Netherlands. Sem data. 20 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Community noise. Stockholm, Center for Sensory Research, 1995, 195 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Guide lines for community noise. London, Stockholm University and Karolinska Institute, 1999.

ZHAO, YONGJUN. Design and development of prototype airport noise information system – A case study of Split Airport, Croatia. Master of Science in Geoinformatics (GFM.2). International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, Netherlands, 2002.

ANEXOS

A

Anexo A - Figura 1 – Carta de subida de SBRP

Anexo A - Figura 2 – Carta de descida de SBRP

Anexo A - Figura 3 – Carta de descida operação instrumento cabeceira 18

Anexo A - Figura 4 – Carta de descida operação instrumento cabeceira 36

ANEXOS

B

1. CENÁRIO 1

1.1. Equipamentos Utilizados pela GROM

Foram utilizados os equipamentos abaixo discriminados, os quais estão em conformidade com as normas IEC 60651, IEC 60804, IEC 61260 e IEC 60942:

1. Medidor de Nível Sonoro tipo 1 Larson Davis modelo 824 s/n 1333;
2. Microfone free field PCB modelo 3777A02 s/n 40235 com adaptador de correção para incidência aleatória;
3. Pré-amplificador Larson Davis modelo PRM902 s/n 1784;
4. Analisador de Nível Sonoro tipo 1 Larson Davis modelo 2900B s/n 961;
5. Microfone free field BSWA modelo 201 s/n 412068 com adaptador de correção para incidência aleatória;
6. Microfone random incidence Larson Davis modelo 2559 s/n 2560;
7. Pré-amplificador BSWA modelo MA211 s/n 41016;
8. Pré-amplificador Larson Davis modelo PRM900C s/n 028;
9. Calibrador Acústico Larson Davis modelo CAL200 s/n 3231 e,
10. Proteção ambiental para microfones externos com espuma repelente a chuva, espetos repelentes para aves e dissecante de sílica gel.

1.2. Dados meteorológicos

Todos os equipamentos da lista possuem certificados de calibração válidos, reconhecidos pelo INMETRO ou rastreáveis a padrões do NIST ou da RBC.

As condições meteorológicas durante os dias de medição também são importantes para a construção de um modelo consistente. Os dados meteorológicos foram fornecidos pela INFRAERO que coleta registros de hora em hora. Os valores médios desses registros estão listados na Tabela 1 a seguir.

Anexo B - Tabela 1 - Dados meteorológicos no período de 24 a 31 de maio de 2006

	T	UR	Vento			Pressão
	(°C)	(%)	Direção (°)	vel (nós)	vel (km/h)	(hPa)
Média	20.56	78.83	115.42	2.94	5.44	954.83
Min.	12.4	27	0	0	0	951.4
Máx.	30.9	100	360	12	22.22	958.5
Desvio Pad.	5.1	23.4	82.93	2.29	4.23	1.48

1.3. Composição dos voos de um dia típico

Foram contabilizadas 580 operações com registros válidos nos boletins do DAESP, igualmente distribuídas entre pousos e decolagens durante os oito dias de medição. Nem todas essas operações, porém são consideradas relevantes para a simulação do ruído atual. A escolha das operações representadas na simulação segue critérios técnicos de relevância. Por exemplo, algumas aeronaves de pequeno porte (mono-motor) e os ultraleves não são consideradas por gerarem ruídos de baixo nível de pressão sonora.

Os registros oficiais do DAESP foram consolidados, eliminando-se os voos com registros eventualmente duplicados ou com qualquer informação incongruente. A partir do registro consolidado, os dados das operações foram filtrados visando agrupá-las de forma sistematizada, separando-as por tipo, cabeceira, modelo de aeronave, categoria, etc.

O principal parâmetro usado para agrupar as diferentes operações foi à categoria das aeronaves, conforme a classificação da ICAO, que codifica as aeronaves pelo seu tipo, classe de peso e tipo de motor.

Entre os dias 24 e 31 de Maio foram observadas operações de aeronaves pertencendo a 9 categorias distintas. A categoria L2J-L, no entanto (aeronaves leves para pouso terrestre com dois motores a jato) foi dividida em duas, pois existem nessa categoria voos da aeronave LearJet 25 que é classificada como Capítulo 2 (classe mais ruidosa).

Nas Tabelas 2, 3, e 4 é mostrada o total diário de pousos e decolagens das diversas operações efetuadas durante o período de 24 a 31 de maio de 2006.

Anexo B - Tabela 2 - Total de pousos por categoria ICAO

DATA	CÓDIGO ICAO -										
	L1P-L	L1T-L	L2J-L	L2J-L*	2J-M	L2P-L	L2T-L	L2T-M	H1T-L	ULAC	TOTAL
24/05/2006	7	3	1	0	7	7	3	5	12	1	46
25/05/2006	5	5	1	0	7	4	2	5	15	2	46
26/05/2006	10	3	0	2	7	5	0	5	6	1	39
27/05/2006	2	1	3	0	4	3	3	3	12	2	33
28/05/2006	7	0	0	0	7	4	1	5	3	2	29
29/05/2006	6	2	0	0	9	3	0	5	3	1	29
30/05/2006	9	1	0	1	7	4	2	6	7	1	38
31/05/2006	6	2	3	0	6	6	1	3	2	1	30
TOTAL	56	17	8	3	54	36	12	37	60	11	290

Anexo B - Tabela 3 - Total de decolagens por categoria ICAO

DATA	CÓDIGO ICAO -										
	L1P-L	L1T-L	L2J-L	L2J-L*	2J-M	L2P-L	L2T-L	L2T-M	H1T-L	ULAC	TOTAL
24/05/2006	8	3	1	0	7	6	4	5	13	0	47
25/05/2006	6	5	1	0	7	2	2	5	16	2	46
26/05/2006	8	2	0	0	7	6	2	5	6	1	37
27/05/2006	3	1	1	0	5	2	1	3	14	3	33
28/05/2006	6	1	2	0	5	3	1	5	3	1	27
29/05/2006	7	2	0	0	10	2	0	5	2	1	29
30/05/2006	10	1	0	1	7	4	3	6	7	1	40
31/05/2006	5	2	4	1	6	6	1	3	2	1	31
TOTAL	53	17	9	2	54	31	14	37	63	10	290

Anexo B - Tabela 4 - Total de pousos e decolagens por cabeceira

COD ICAO	PISTA		TOTAL
	18	36	
L1P-L	42	11	53
L1T-L	15	2	17
L2J-L	7	2	9
L2J-L*	1	1	2
L2J-M	41	13	54
L2P-L	21	10	31
L2T-L	7	7	14
2T-M	24	13	37
H1T-L	52	11	63
ULAC	5	5	10
TOTAL	215	75	290

Das 9 categorias registradas, apenas 5 foram consideradas relevantes para o estudo. Duas delas (L2J-L e L2J-M) foram divididas em subgrupos por conterem modelos de aeronaves cuja relevância torna conveniente que se as analise separadamente.

As Tabelas 5 e 6 mostram a média diária de operações por tipo de aeronave, pista utilizada e período do dia em que ocorreu. Esses são os critérios básicos

usados para se definir o dia típico de operação no aeroporto. Para cada categoria de aeronave foi escolhido um modelo específico (existente no banco de dados do INM) que representa de forma aproximada a média do nível de ruído gerado pelas demais aeronaves da mesma categoria, observadas durante as medições. Essa escolha foi feita com base nos valores medidos do SEL (Sound Exposure Level) para as operações identificadas nos dias típicos.

Anexo B - Tabela 5 - Média diária dos pousos/Aeronaves consideradas na modelagem

COD ICAO	MODELO	DIURNO		NOTURNO	
		CAB18	CAB36	CAB18	CAB36
L1P-L	C206	4.875	1.500	0.125	0.000
L2J-L	C500	0.250	0.375	0.250	0.125
L2J-L	LJ25	0.000	0.250	0.000	0.125
L2J-M	A319	2.250	0.875	0.875	0.125
L2J-M	B734	0.375	0.375	0.125	0.000
L2J-M	B737	1.500	0.250	0.000	0.000
L2P-L	PA31	3.000	1.250	0.000	0.250
L2T-L	DHC6	0.500	0.625	0.000	0.375
2T-M	E120	0.875	1.250	1.625	0.875

Anexo B - Tabela 6 - Média diária das decolagens/Aeronaves consideradas na modelagem

COD ICAO	MODELO	DIURNO		NOTURNO	
		CAB18	CAB36	CAB18	CAB36
L1P-L	C206	5.250	1.375	0.000	0.000
L2J-L	C500	0.875	0.250	0.000	0.000
L2J-L	LJ25	0.125	0.000	0.000	0.125
L2J-M	A319	2.250	0.875	1.125	0.000
L2J-M	B734	0.500	0.250	0.000	0.125
L2J-M	B737	1.250	0.375	0.000	0.000
L2P-L	PA31	2.500	1.250	0.125	0.000
L2T-L	DHC6	0.875	0.875	0.000	0.000
2T-M	E120	1.500	0.750	1.500	0.875

A companhia TAM, que opera voos regulares em Ribeirão Preto informou alguns dados sobre seus procedimentos padrão de pouso e decolagem. Essas informações são importantes para que se possam ajustar os parâmetros operacionais dos vôos na simulação. Os dados fornecidos por essa companhia encontram-se na Tabela 7.

Anexo B - Tabela 7 - Dados operacionais das aeronaves da TAM

INFORMAÇÕES DOS PROCEDIMENTOS DE DECOLAGEM	UNIDADE	TAM
Peso de decolagem	ton	59
Velocidade de referencia	Km/h	244
Posição de rotação (a partir da cabeceira 18)	m	1550
Altitude de aceleração (QNH)	m	305
Posição na 1ª curva (cabeceira oposta)	m	2778
Altitude na 1ª curva (QNH)	m	305
Velocidade na 1ª curva - IAS	Km/h	278
Altitude final na 1ª curva (QNH)	m	457
Velocidade final na 1ª curva - IAS	Km/h	333
Razão de subida até V2 + 10 KT	ft/min	N.D.

2. CENÁRIO 2

Os levantamentos foram efetuados de acordo com a norma estabelecida no Annex 16 – Environmental protection - Aircraft noise (ICAO, 1993) e pelo Environmental technical manual on the use of procedures in the noise certification of aircraft (ICAO, 2000). As Tabelas 8, 9 e 10 elaboradas pelo IPT mostra a coleta de dados utilizadas para a simulação do INM.

Anexo B - Tabela 8 - Valores de LAE e EPNL calculados para cada uma das operações monitoradas no ponto 1 – Fonte: IPT

PONTO 1: Levantamento efetuado em 04-11-2008					
TIPO DE ARNV	HORÁRIO	OPERAÇÃO	CABECEIRA UTILIZADA	L _{AE} dB(A)	EPNL dB
A320	07:33	POUSO	18	85,90	91,10
PA34	07:35	DECOL.	18	86,20	93,10
BE20	07:37	DECOL.	18	86,80	94,10
C208	07:40	DECOL.	18	82,40	87,50
C208	07:50	DECOL.	36	83,40	90,00
P28A	08:01	DECOL.	36	84,90	90,10
P28A	08:07	DECOL.	36	82,80	88,50
PA34	08:09	DECOL.	36	85,30	90,50
P28A	08:14	DECOL.	36	85,50	90,60
P28A	08:21	DECOL.	36	86,00	91,50
A320	08:26	DECOL.	18	96,60	103,30
E120	08:40	POUSO	18	87,20	94,20
E120	08:43	POUSO	18	83,80	91,20
E120	09:03	DECOL.	18	85,30	93,70
AT43	09:10	POUSO	18	90,00	96,40
AT43	09:14	POUSO	36	88,60	93,80
E120	09:17	DECOL.	18	85,80	93,70
AB11	09:24	DECOL.	36	80,30	85,50
AT43	09:27	DECOL.	36	87,40	94,40
C152	09:30	DECOL.	36	80,30	86,20
AT43	09:32	DECOL.	36	85,90	92,30
AB11	09:40	DECOL.	36	84,80	89,10
BE20	10:00	DECOL.	36	86,00	92,70
C210	12:56	POUSO	36	72,00	76,20
A320	13:37	DECOL.	18	98,00	104,20

Anexo B - Tabela 9 - Valores de LAE e EPNL calculados para cada uma das operações monitoradas no ponto 2 – Fonte IPT

PONTO 2: Levantamento efetuado em 05-11-2008					
TIPO DE ARNV	HORÁRIO	OPERAÇÃO	CABECEIRA UTILIZADA	L _{AE} dB(A)	EPNL dB
A320	07:33	POUSO	18	96,50	101,50
C208	07:50	DECOL.	36	85,90	91,70
BE58	07:54	DECOL.	36	100,90	105,60
BE58	08:29	POUSO	18	86,90	94,40
AT43	08:47	POUSO	18	101,50	107,10
P28A	08:50	POUSO	18	69,80	74,40
E120	08:53	POUSO	18	96,50	103,30
E120	08:56	POUSO	18	97,60	103,80
AT43	09:03	DECOL.	18	98,00	103,00
AT43	09:08	POUSO	18	99,00	105,10
AB11	09:32	POUSO	18	78,70	85,60
E120	09:36	DECOL.	36	93,10	99,80
AB11	09:39	POUSO	18	79,00	85,50
AB11	09:44	POUSO	18	75,90	81,00
AB11	09:49	POUSO	18	77,10	84,50
AB11	09:55	POUSO	18	75,60	81,20
E120	09:58	POUSO	18	97,80	104,00
AB11	09:59	POUSO	18	73,90	79,00
E120	10:23	DECOL.	36	89,20	95,60
PA34	12:38	DECOL.	36	85,70	91,40
A320	12:59	POUSO	18	98,70	103,10
H25B	13:08	DECOL.	36	98,20	102,20
E120	13:30	POUSO	18	97,70	104,60
A320	13:33	DECOL.	18	76,80	82,90
TUCA	15:37	DECOL.	36	87,80	94,30
PA34	15:39	DECOL.	36	83,10	88,50
H25B	15:44	POUSO	18	95,00	101,80
E120	15:51	DECOL.	36	89,60	96,30
P28A	16:00	DECOL.	36	82,10	87,00
P28A	16:05	DECOL.	36	85,40	90,50

Anexo B - Tabela 10 - Valores de LAE e EPNL calculados para cada uma das operações monitoradas no ponto 3 – Fonte: IPT

PONTO 3: Levantamento efetuado em 06-11-2008					
TIPO DE ARNV	HORÁRIO	OPERAÇÃO	CABECEIRA UTILIZADA	L _{AE} dB(A)	EPNL dB
E120	07:30	DECOL.	18	85,50	92,50
P28A	07:33	DECOL.	18	86,90	91,80
P28A	07:39	DECOL.	18	85,90	91,10
P28A	07:45	DECOL.	18	84,90	90,20
P28A	07:50	DECOL.	18	88,30	93,60
P28A	07:55	DECOL.	18	88,90	94,00
P28A	08:06	DECOL.	18	87,50	92,70
BE9L	08:14	DECOL.	18	81,90	88,90
P28T	08:18	DECOL.	18	82,50	90,00
A320	08:27	DECOL.	18	98,60	104,30
H25B	08:35	DECOL.	18	98,60	103,00
E120	09:00	DECOL.	18	90,90	97,90
AT43	09:08	DECOL.	18	87,40	94,40
E120	09:13	DECOL.	18	90,00	96,30
AB11	09:14	DECOL.	18	78,90	83,90
AB11	09:20	DECOL.	18	82,00	88,10
AB11	09:26	DECOL.	18	79,90	85,90
AB11	09:44	DECOL.	18	88,00	95,20
BE9L	10:24	POUSO	36	96,50	101,00
E120	10:32	POUSO	36	95,30	101,90
A320	12:51	POUSO	36	96,30	101,20
BE30	13:14	DECOL.	18	85,30	91,20

As Tabelas 11, 12 e 13 também foram utilizadas para a elaboração da simulação.

Anexo B - Tabela 11 - Número de operações de cada aeronave da aviação regular consideradas para o cálculo dos índices de Ldn e IPR – Fonte: DAESP

MALHA DE VOOS CONSIDERADAS PARA O CÁLCULO DO Ldn e IPR				
TIPO DE AERONAVE	PERÍODO DIURNO (7h as 22h)		PERÍODO NOTURNO (22h as 7h)	
	POUSO	DECOL.	POUSO	DECOL.
A320	4	4	0	0
E120	14	14	5	5
ATR42	4	4	0	0

Anexo B - Tabela 12 - Número de operações de cada aeronave da aviação regular consideradas para o cálculo dos índices de Ldn e IPR

VALORES CALCULADOS DOS ÍNDICES Ldn e IPR		
PONTO DE MEDIÇÃO	Ldn em dB (A)	IPR em dB
1	60	48
2	69	56
3	66	54

A Tabela 13 é a composição das rotas e a porcentagem utilizada pelo MIX de aeronaves que operaram no período da coleta de dados utilizada na decolagem.

Anexo B - Tabela 13 - Distribuição estatística das operações de decolagem – Fonte COMAER e INFRAERO

DISTRIBUIÇÃO ESTATÍSTICA DAS OPERAÇÕES DE DECOLAGEM EM SBRP - COMAER		
DESTINO	ROTAS	PORCENTAGEM DE USO DA ROTA %
BRASILIA - SBBR	MARA	85
	BOFE	10
	FRANCA	5
UBERABA - SBUR	MARA	85
	BOFE	10
	FRANCA	5
UBERLÂNDIA - SBUL	MARA	85
	BOFE	10
	FRANCA	5
SÃO PAULO - SBCG	ALVA	80
	ULAM	20
SÃO PAULO - SBGR	ULAM	80
	LAMU	20
RIO DE JANEIRO - SBRJ	ULAM	80
	LAMU	20
BELO HORIZONTE - SBBH	LAMU	100

As Tabelas 14, 15 e 16 são os levantamentos de campo efetuados pelo IPT.

Anexo B - Tabela 14 – Planilha do levantamento de campo – Fonte: IPT

PLANILHA DE DADOS REFERENTES AS OPERAÇÕES DE POUSO E DECOLAGEM NO AEROPORTO LEITE LOPES - SBRP - DAESP																
PONTO Nº: 01				LAT: -21º 07' 45.3" S		DEC: -21.12925		LONG: -47º 46' 27.7" W			DEC: -47.774361			ALT: 547m		
DATA	HORA	ARNV	VOO	OPERAÇÃO		CABECEIRA		DESCIDA	SUBIDA	DADOS METEOROLÓGICOS					SEL	ARQ
				POUSO	DECOL	18	36			TEMP(°C)	UMIDADE(%)	PRESSÃO(Pa)	VEL VENTO (KT)	DIR.(º)		
04/11/2008	07:33	A320	3270	X		X		S		22	90	760,56	3	90	92,50	1
	07:35	PA34	EXE		X	X			S						92,50	1
	07:37	BE20	EXE		X	X			S						92,50	1
	07:40	C208	MALOTE	X		X		S							83,30	2
	07:50	C208	MALOTE		X	X			FRANCA						84,00	3
	08:01	P28A	DES		X		X		N	23	88	761,31	3	50	85,40	4
	08:07	P28A	DES		X		X		N						83,70	5
	08:09	PA34	EXE		X		X		N						85,90	6
	08:14	P28A	DES		X		X		N						85,80	7
	08:21	P28A	DES		X		X		N						86,40	8
	08:26	A320	3271		X	X			ALVA						97,20	9
	08:40	E120	1487	X		X		S							87,80	10
	08:43	E120	1478	X		X		S							84,70	11
	09:03	E120	1487		X	X			ULAM	24	78	761,31	5	80	86,30	13
	09:10	AT43	5580	X		X		S							90,70	14
	09:14	AT43	5423	X			X	N							88,90	15
	09:17	E120	1453		X	X			ULAM						86,70	16
	09:24	AB11	DES		X		X		N						80,80	17
	09:27	AT43	5580		X		X		ULAM						87,90	18
	09:30	C152	DES		X		X		N						80,80	19
	09:32	AT43	5423		X		X		LAMU						86,50	20
	09:40	AB11	DES		X		X		N						85,30	21
	10:00	BE20	EXE		X		X		BOFE	26	74	761,31	3	100	86,60	22
	10:34	E120	1453	X			X	N							78,20	23
	12:56			X		X		S							73,90	24
	13:37	A320	3271		X	X			ALVA						98,50	25

Anexo B - Tabela 15 – Planilha do levantamento de campo – Fonte: IPT

PLANILHA DE DADOS REFERENTES AS OPERAÇÕES DE POUSO E DECOLAGEM NO AEROPORTO LEITE LOPES - SBRP - DAESP															
PONTO Nº: 02				LAT: -21° 07' 25" S				DEC: -21.123611		LONG: -47° 46' 46.39" W		DEC: -47.7775		ALT: 547m	
DATA	HORA	ARNV	VOO	OPERAÇÃO	CABECEIRA		DESCIDA	SUBIDA	METEOROLÓGICOS					SEL	ARQ
				POUSO	DECOL.	18	36		TEMP(°C)	UMIDADE(%)	PRESSAO(Pa)	VEL VENTO (KT)	DIR.(°)		
05/11/2008	07:43	A320	3270	X		X		S	21	94	760,56	2	120	97,00	1
	07:50	C208	MALOTE		X		X	FRANCA						86,60	2
	07:54	BE58	EXE		X		X	ALVA						101,40	3
	08:29	BE58	EXE	X		X		S	21	94	761,31	4	150	87,90	5
	08:30	A320	3277		X	X		ALVA						90,00	6
	08:47	AT43	5423	X		X		S						102,20	7
	08:48	BE58	EXE		X	X		ALVA						76,90	8
	08:50	P28A	DES	X		X		S						72,30	9
	08:53	E120	1487	X		X		S						96,90	10
	08:56	E120	1478	X		X		S						98,00	11
	09:01	LJ31	EXE	X		X		S	24	78	761,31	5	100	98,90	12
	09:03	AT43	5580		X	X		LAMU						98,90	12
	09:04	P28A	DES	X		X		S						98,90	12
	09:08	AT43	5423	X		X		S						99,70	13
	09:25	E120	1487		X	X		ULAM						88,90	14
	09:32	AB11	DES	X		X		S						79,40	15
	09:36	E120	1480		X		X	ULAM						93,50	16
	09:39	AB11	DES	X		X		S						79,60	17
	09:44	AB11	DES	X		X		S						79,60	18
	09:49	AB11	DES	X		X		S						77,80	19
	09:55	AB11	DES	X		X		S						77,70	20
	09:58	E120	1469	X		X		S						98,20	21
	09:59	AB11	DES	X		X		S						74,70	22
	10:23	E120	1471		X		X	FRANCA	26	69	760,56	3	150	89,60	23
	12:25	E120	1489		X	X		LAMU	29	58	759,81	3	140	75,70	24
	12:38	PA34	EXE		X		X	ULAM						86,30	26
	12:52	E120	1472		X	X		ULAM						74,70	27
	12:59	A320	3274	X		X		S	31	46	759,81	3	300	99,40	28
	13:08	H25B	MIL		X		X	N						98,80	29
	13:30	E120	1471	X		X		S						98,20	30
	13:33	A320	3271		X	X		ALVA						77,70	31
	15:17	E120	1473	X			X	N	33	44	758,31	2	290	71,60	32
	15:37	T25	MIL		X		X	LAMU						88,40	33
	15:39	PA34	EXE	X			X	N						84,00	34
	15:41	E120	1490	X			X	N						72,80	35
	15:44	H25B	MIL	X		X		S						95,70	36
	15:51	E120	1474		X		X	MARA						90,10	38
	16:00	P28A	DES		X		X	N	32	43	757,56	6	300	82,80	39
	16:06	E120	1491		X	X		ULAM						75,20	41

Anexo B - Tabela 16 – Planilha do levantamento de campo – Fonte: IPT

PLANILHA DE DADOS REFERENTES AS OPERAÇÕES DE POUSO E DECOLAGEM NO AEROPORTO LEITE LOPES - SBRP - DAESP																
PONTO Nº: 03				LAT: -21º 08' 42" S		DEC: -21.145		LONG: -47º 46' 14" W			DEC: -47.770556			ALT: 549m		
DATA	HORA	ARNV	VOO	OPERAÇÃO		CABECEIRA		DESCIDA	SUBIDA	DADOS METEOROLÓGICOS					SEL	ARQ
				POUSO	DECOL.	18	36			TEMP(°C)	UMIDADE(%)	PRESSAO(Pa)	VEL VENTO (KT)	DIR.(º)		
06/11/2008	07:30	E120	1469		X	X			ULAM	21	94	758,31	1	210	86,10	2
	07:33	P28A	DES		X	X			S						87,60	3
	07:39	P28A	DES		X	X			S						86,60	4
	07:45	P28A	DES		X	X			S						85,50	5
	07:50	P28A	DES	X		X		S							89,40	6
	07:51	BE58	EXE		X		X		MARA						79,90	7
	07:53	P28A	DES	X		X		S							90,10	8
	08:06	P28A	DES		X	X		S		23	83	759,06	3	130	88,20	9
	08:14	BE9L	EXE		X	X			ALVA						83,00	10
	08:18	P28T	EXE		X	X			S						83,70	11
	08:27	A320	3277		X	X			ALVA						99,00	12
	08:28	E120	1487	X		X		S							77,50	13
	08:35	H25B	MIL		X	X			ULAM						99,30	14
	08:41	E120	1478	X		X		S							77,20	15
	08:48	AT43	5580	X		X		S							89,60	16
	09:00	E120	1487		X	X			ULAM	23	78	759,81	2	30	91,60	18
	09:08	AT43	5080		X	X			LAMU						91,60	19
	09:13	E120	1480		X	X			ALVA						90,70	20
	09:14	AB11	DES		X	X			S						80,30	21
	09:18	AT43	5423	X		X		S							76,10	22
	09:20	AB11	DES		X	X			S						83,10	23
	09:26	AB11	DES		X	X			S						81,60	24
	09:33	AT43	5423		X		X		LAMU						80,20	25
	09:42	C500	EXE	X		X		S							75,70	26
	09:44	BE20	EXE		X	X			ALVA						88,90	27
	10:24	BE30	EXE	X			X	N		27	65	758,31	5	360	86,30	28
	10:32	E120	1453	X			X	N							95,80	29
	12:49	E120	1472		X		X		ULAM	32	49	757,56	9	300	84,80	32
	12:51	A320	3274	X			X	N		32	49	757,56	9	300	96,80	33
	13:01	BE9L	EXE		X		X		ULAM	32	49	757,56	9	300	84,70	34
	13:14	BE30	EXE		X	X			ULAM						85,90	35
	13:20	C550	EXE		X		X		LAMU						83,40	36
	13:31	A320	3271		X		X		ALVA						87,60	37

A Tabela 17 se refere aos destinos dos voos com saídas e destinos para Ribeirão Preto.

Anexo B - Tabela 17 – Planilha de voos saindo de SBRP – Fonte: DAESP

MALHA DE VOO DA AVIAÇÃO REGULAR - OUTUBRO DE 2008 - SBRP				
	EMPRESA	TIPO DE AERONAVE	CIDADE/DESTINO	HORÁRIO
1	PASSAREDO	E120	BELO HORIZONTE - SBBH	
2	PASSAREDO	E120	GUARULHOS - SBGR	
3	PASSAREDO	E120	RIO DE JANEIRO - SBRJ	
4	PASSAREDO	E120	BRASÍLIA - SBBR	
5	PASSAREDO	E120	GUARULHOS - SBGR	
6	PASSAREDO	E120	CURITIBA - SBCT	
7	PASSAREDO	E120	BRASÍLIA - SBBR	
8	PASSAREDO	E120	UBERLÂNDIA - SBUL	
9	PASSAREDO	E120	RIO DE JANEIRO - SBRJ	
10	PASSAREDO	E120	GUARULHOS - SBGR	
11	PASSAREDO	E120	CURITIBA - SBCT	
12	PASSAREDO	E120	BRASÍLIA - SBBR	
13	PASSAREDO	E120	GUARULHOS - SBGR	
14	PASSAREDO	E120	RIO DE JANEIRO - SBRJ	
15	PASSAREDO	E120	UBERLÂNDIA - SBUL	
16	PASSAREDO	E120	GUARULHOS - SBGR	
17	PASSAREDO	E120	BELO HORIZONTE - SBBH	
18	PASSAREDO	E120	FRANCA - SIMK	
19	PASSAREDO	E120	FRANCA - SIMK	
20	PASSAREDO	E120	SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SBSR	
21	PASSAREDO	E120	SÃO JOSÉ DO RIO PRETO - SBSR	
22	TAM	A319/320	SÃO PAULO - SBCG	
23	TAM	A319/320	SÃO PAULO - SBCG	
24	TAM	A319/320	SÃO PAULO - SBCG	
25	TRIP/TOTAL	AT42	UBERLÂNDIA - SBUL	
26	TRIP/TOTAL	AT42	UBERLÂNDIA - SBUL	
27	TRIP/TOTAL	AT42	RIO DE JANEIRO - SBRJ	
28	TRIP/TOTAL	AT42	RIO DE JANEIRO - SBRJ	

A Tabela 18 se refere às porcentagens por tipo de aeronave que operaram no período do levantamento de campo.

Anexo B - Tabela 18 – Planilha do mix de aeronaves por rota – Fonte: IPT

MIX FUTURO DE AERONAVES POR ROTA - SBRP		
FABRICANTE - CÓDIGO ICAO	ROTA	PORCENTAGEM DE USO DA ROTA %
AIRBUS - A320	ALVA	24,30
	ULAM	2,90
AEROSPATIALE - ATR42-500	ULAM	40,00
	LAMU	10,00
	MARA	50,00
EMBRAER - EMB120	MARA	24,30
	BOFE	2,90
	FRANCA	1,40
	ULAM	45,70
	LAMU	25,70
AERONAVES EXECUTIVAS - GRUPO II - 1900D, CNA55B, FAL20, HS748A	ALVA	26,70
	BOFE	0,90
	FRANCA	0,50
	LAMU	11,90
	MARA	24,80
	ULAM	35,20

Os dados observados pela estação meteorológica da INFRAERO estão computados e codificados de acordo com os padrões do Ministério da Aeronáutica na Tabela 19.

Tabela 19 – Dados meteorológicos de SBRP			
03/11/2008	SBRP	030000	20003KT CAVOK 26/20 Q1016=
03/11/2008	SBRP	030100	20004KT CAVOK 25/20 Q1017=
03/11/2008	SBRP	030200	18005KT CAVOK 25/20 Q1018=
03/11/2008	SBRP	030300	18002KT CAVOK 24/19 Q1017=
03/11/2008	SBRP	030400	05002KT CAVOK 24/20 Q1016=
03/11/2008	SBRP	030500	36001KT CAVOK 23/20 Q1015=
03/11/2008	SBRP	030600	31003KT CAVOK 23/20 Q1014=
03/11/2008	SBRP	030700	29003KT CAVOK 23/20 Q1013=
03/11/2008	SBRP	030800	25003KT CAVOK 23/20 Q1014=
03/11/2008	SBRP	030900	23002KT CAVOK 23/20 Q1015=
03/11/2008	SBRP	031000	31002KT CAVOK 25/20 Q1016=
03/11/2008	SBRP	031100	00000KT 8000 NSC 27/20 Q1016=
03/11/2008	SBRP	031200	26003KT CAVOK 28/20 Q1017=
03/11/2008	SBRP	031300	26005KT 9999 FEW035 BKN300 30/19 Q1017=
03/11/2008	SBRP	031400	20005KT 9999 SCT035 BKN300 31/18 Q1016=
03/11/2008	SBRP	031500	24006KT 9999 SCT035 SCT100 BKN300 32/18

			Q1015=
03/11/2008	SBRP	031600	24006KT 9999 SCT035 BKN100 BKN300 31/18 Q1015=
03/11/2008	SBRP	031700	22006KT 9999 SCT035 SCT100 BKN300 32/19 Q1014=
03/11/2008	SBRP	031800	23008KT 9999 SCT035 FEW040TCU SCT300 33/18 Q1013=
03/11/2008	SBRP	031900	26008KT 9999 SCT035 FEW040TCU SCT300 33/18 Q1013=
03/11/2008	SBRP	032000	01008KT 9999 SCT035 FEW040TCU SCT300 29/19 Q1013=
03/11/2008	SBRP	032040	31012KT 3000 SHRA BKN035 FEW040TCU 26/20 Q1015=
03/11/2008	SBRP	032100	34005KT 5000 -RA BKN035 FEW040TCU 24/21 Q1015 RESHRA=
03/11/2008	SBRP	032200	07003KT 8000 SCT035 SCT080 23/22 Q1015=
03/11/2008	SBRP	032300	12002KT 9999 SCT035 SCT080 23/22 Q1016=
04/11/2008	SBRP	040000	19003KT 9000 -RA SCT035 BKN080 24/22 Q1016=
04/11/2008	SBRP	040100	16005KT 9999 FEW035 BKN080 24/22 Q1016=
04/11/2008	SBRP	040200	11003KT CAVOK 23/21 Q1016=
04/11/2008	SBRP	040300	12003KT CAVOK 23/21 Q1016=
04/11/2008	SBRP	040400	14004KT CAVOK 22/21 Q1015=
04/11/2008	SBRP	040500	13002KT CAVOK 22/21 Q1014=
04/11/2008	SBRP	040600	07002KT 9000 NSC 22/21 Q1014=
04/11/2008	SBRP	040700	14003KT 9000 NSC 21/21 Q1014=
04/11/2008	SBRP	040800	13004KT 6000 NSC 21/21 Q1014=
04/11/2008	SBRP	040900	12004KT 7000 NSC 21/20 Q1015=
04/11/2008	SBRP	041000	05003KT CAVOK 23/21 Q1015=
04/11/2008	SBRP	041100	08005KT 9999 FEW015 SCT300 24/21 Q1015=
04/11/2008	SBRP	041200	10003KT CAVOK 26/21 Q1015=
04/11/2008	SBRP	041300	11004KT 9999 FEW020 SCT300 29/22 Q1015=
04/11/2008	SBRP	041400	26004KT 9999 FEW030 BKN300 31/22 Q1014=
04/11/2008	SBRP	041500	32005KT 9999 SCT035 SCT300 32/20 Q1013=
04/11/2008	SBRP	041600	27004KT 9999 SCT035 SCT300 33/20 Q1013=
04/11/2008	SBRP	041700	31006KT 9999 SCT035 SCT300 33/20 Q1011=
04/11/2008	SBRP	041800	19008KT 9999 SCT035 FEW040TCU SCT300 33/19 Q1009=
04/11/2008	SBRP	041832	19003KT 9999 3000E -TSRA SCT035 FEW040CB BKN300 31/20 Q1009=
04/11/2008	SBRP	041850	08025G43KT 1000 TSRA GR SCT035 BKN040CB 21/18 Q1012=
04/11/2008	SBRP	041900	35020G43KT 0500 +TSGRRA SCT030 BKN035CB OVC080 21/19 Q1014=
04/11/2008	SBRP	041943	10008KT 3000 TSRA BKN030 SCT035CB OVC080 20/19 Q1012 REGR=
04/11/2008	SBRP	042000	10006KT 3000 -TSRA SCT030 SCT035CB OVC080 20/20 Q1012 REGRRA=
04/11/2008	SBRP	042035	27003KT 9000 4000NW -TSRA BKN030 SCT035CB OVC080 21/20 Q1013=
04/11/2008	SBRP	042100	20001KT 9999 5000NW -TSRA BKN030 FEW035CB OVC080 21/21 Q1014=
04/11/2008	SBRP	042200	15002KT 9999 -RA BKN030 FEW040TCU OVC080 22/21 Q1013 RETS=
04/11/2008	SBRP	042300	03001KT 8000 -TSRA SCT030 FEW040CB OVC080 22/21 Q1015=
04/11/2008	SBRP	042340	02005KT 9999 -RA BKN030 FEW040TCU OVC080 21/21 Q1017 RETS=
05/11/2008	SBRP	050000	03003KT 8000 -RA BKN030 FEW040TCU 21/21 Q1017 RETS=
05/11/2008	SBRP	050100	15001KT 8000 -RA FEW014 BKN030 21/20 Q1017=
05/11/2008	SBRP	050200	07005KT 9999 -RA SCT030 21/20 Q1015=

05/11/2008	SBRP	050300	12004KT 9999 FEW020 21/20 Q1013=
05/11/2008	SBRP	050400	10004KT CAVOK 21/20 Q1013=
05/11/2008	SBRP	050500	09002KT CAVOK 21/20 Q1013=
05/11/2008	SBRP	050600	11003KT 9999 FEW020 21/20 Q1013=
05/11/2008	SBRP	050700	05002KT 9999 FEW020 21/20 Q1014=
05/11/2008	SBRP	050800	15002KT CAVOK 20/20 Q1014=
05/11/2008	SBRP	050900	12002KT CAVOK 21/20 Q1014=
05/11/2008	SBRP	051000	15004KT CAVOK 21/20 Q1015=
05/11/2008	SBRP	051100	10005KT CAVOK 24/20 Q1015=
05/11/2008	SBRP	051200	15003KT CAVOK 26/20 Q1014=
05/11/2008	SBRP	051300	13004KT CAVOK 28/20 Q1014=
05/11/2008	SBRP	051400	14003KT CAVOK 29/20 Q1013=
05/11/2008	SBRP	051500	30003KT CAVOK 31/18 Q1013=
05/11/2008	SBRP	051600	35003KT 9999 FEW040 33/19 Q1012=
05/11/2008	SBRP	051700	29002KT 9999 FEW040 33/19 Q1011=
05/11/2008	SBRP	051800	30006KT 9999 FEW040 32/18 Q1010=
05/11/2008	SBRP	051900	19006KT 9999 FEW040 33/19 Q1010=
05/11/2008	SBRP	052000	18007KT 9999 VCSH FEW040 30/19 Q1011=
05/11/2008	SBRP	052100	17005KT CAVOK 29/20 Q1011=
05/11/2008	SBRP	052200	07003KT CAVOK 28/20 Q1011=
05/11/2008	SBRP	052300	05002KT CAVOK 27/21 Q1012=
06/11/2008	SBRP	060000	00000KT CAVOK 26/20 Q1012=