UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Departamento de Engenharia Mecânica

DEM/POLI/UFRJ

IMPACTO AMBIENTAL SONORO DA AVIAÇÃO REGULAR EM GRANDES AEROPORTOS COM ÊNFASE NO AEROPORTO DE GUARULHOS

Thamíris de Oliveira Barreto

Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira Mecânica.

Orientador: Jules Ghislain Slama.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Departamento de Engenharia Mecânica

DEM/POLI/UFRJ

IMPACTO AMBIENTAL SONORO DA AVIAÇÃO REGULAR EM GRANDES AEROPORTOS COM ÊNFASE NO AEROPORTO DE GUARULHOS

Thamíris de Oliveira Barreto

PROJETO FINAL SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRA MECÂNICA.

Aprovado por:

_____

Prof. Jules Ghislain Slama, D. Sc. - Orientador

_____

Prof. Fernando Augusto de Noronha Castro Pinto, Dr. Ing.

_____

Prof. Thiago Gamboa Ritto, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2015

Oliveira Barreto, Thamíris de.

Impacto ambiental sonoro da aviação regular em grandes aeroportos, com ênfase no aeroporto de Guarulhos / Thamíris de Oliveira Barreto – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2015.

xii, 81 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Jules Ghislain Slama.

Projeto de Graduação – UFRJ/ POLI/ Engenharia Mecânica, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 73.

1. Ruído Aeroportuário. 2. Hotran. 3. Impacto Ambiental Sonoro. 4. Aeroporto de Guarulhos. I. Ghislain Slama, Jules. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Engenharia Mecânica. III. Impacto ambiental sonoro da aviação regular em grandes aeroportos, com ênfase no aeroporto de Guarulhos.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer aos meus pais, Ana Valéria de Oliveira Barreto e Braulio Nunes Barreto Filho, por todo subsídio me dado até hoje. Foi a base para chegar até aqui e o início de toda a caminhada. Agradeço por todo sacrifício e pela confiança e credibilidade no meu potencial.

Agradeço ao meu namorado, Vinicius Gonçalves de Moura, presente dado pelo "Fundão". Com certeza fez com que todos esses anos de esforço se tornassem mais bonitos e mais leves.

Agradeço ao meu orientador Jules Ghislain Slama por todo suporte dado a mim até hoje, desde 2012, quando me proporcionou a primeira oportunidade de trabalho, a Iniciação Científica no LAVI. Foi o primeiro passo para minha carreira. Muito obrigada por sempre depositar muita confiança em mim e no meu trabalho.

Agradeço a todo pessoal do LAVI, em especial ao Filippe, pela atenção e apoio dados a mim, essenciais para a realização deste projeto.

Agradeço também a todos os professores que da Mecânica, por compartilharem o saber com tanta dedicação e por darem essa contribuição importantíssima na minha vida de Engenheira, em especial aos professores Fernando Augusto de Noronha Castro Pinto e Thiago Gamboa Ritto, por fazerem parte da minha banca de avaliação.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado ao DEM/UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheira Mecânica.

IMPACTO AMBIENTAL SONORO DA AVIAÇÃO REGULAR EM GRANDES AEROPORTOS COM ÊNFASE NO AEROPORTO DE GUARULHOS

Thamíris de Oliveira Barreto

Março/2015

Orientador: Jules Ghislain Slama

Curso: Engenharia Mecânica

Dentre os impactos ambientais mais sérios que estão relacionados com a operação de aeroportos estão o ruído aeronáutico, colisões com aves, risco de contaminação do solo, grande consumo nominal de água e energia, entre outros. De acordo com o Relatório Ambiental 2003/2004 da Infraero, o ruído aeronáutico é um dos principais impactos ambientais resultantes da atividade aeroportuária e apresenta-se como um dos mais complexos e de difícil mitigação (INFRAERO, 2004). Isto interfere não só nas atividades da área do aeroporto, como também afeta diretamente a qualidade de vida da população no seu entorno. Este trabalho irá focar no impacto gerado pelo ruído aeronáutico nas áreas no entorno de aeroportos, com especial atenção para o Aeroporto de Guarulhos. Diante da demanda por instrumentos destinados a compreender a problemática de cada aeroporto do ponto de vista do ruído, e visando a tomada de decisão pelos vários atores envolvidos (como prefeituras e órgãos ambientais responsáveis), o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de diagnóstico do ruído aeroportuário e uma metodologia para a monitoração sonora detalhada da aviação regular em aeroportos. Para isto, utiliza-se a caracterização do impacto ambiental sonoro deste tipo de aviação sobre o entorno do aeroporto de Guarulhos, a partir do levantamento de dados recentes de movimentos de aeronaves utilizando-se o Hotran (Horário de Transporte).

Abstract of Undergraduate Project present to DEM/UFRJ as a part of fulfillment of the requirements for the degree of Mechanical Engineer.

ENVIRONMENTAL NOISE IMPACT OF REGULAR AVIATION IN MAJOR AIRPORTS WITH EMPHASIS ON GUARULHOS AIRPORT

Thamíris de Oliveira Barreto

March/2015

Advisor: Jules Ghislain Slama

Course: Mechanical Engineering

The most serious environmental impacts related to airport operation are aircraft noise, collisions with birds, risk of soil contamination, large nominal consumption of water and energy and others. According to the Infraero's 2003/2004 Environmental Report, aircraft noise is one of the main environmental impacts of airport activity, and one of the most complex and difficult to mitigate (INFRAERO, 2004). It directly affects people's activities inside the airport area, as well as their quality of life in its surroundings. The focus of this work is on the impact generated by aircraft noise in areas near airports, with special attention to Guarulhos Airport. Motivated by the demand for tools to understand the case of each airport from a noise perspective, and aimed at decision-making by the various stakeholders (such as local governments and environmental agencies), this paper aims to develop a systematic approach for diagnosing airport noise and a methodology for detailed sound monitoring of regular aviation at airports. In order to achieve that, it characterizes the environmental impacts of sound generated by regular aviation on the Guarulhos airport environment, based on recent aircraft movements data extracted from Hotran (Transport Time).

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 1
1.1. Considerações iniciais 1
1.2. Objetivo e metodologia 3
2. MÉTRICAS DE RUÍDO 6
2.1. Nível de pressão sonora equivalente (LAeq) 6
2.1.1. LAeqD 6
2.1.2. LAeqN 7
2.1.3. LAeq1H 7
2.2. Day-Night Level (DNL): Nível Sonoro Dia-Noite 7
2.3. Nível de Exposição Sonora (SEL – *Sound Exposure Level*) 8
3. O RUÍDO E O HOMEM 9
3.1. O aparelho auditivo humano 9
3.2. Som X Ruído 11
3.3. Conforto Acústico 11
3.4. Efeitos do ruído no homem 12
3.4.1. Efeitos não auditivos do ruído 14
3.4.1.1. Interferência na comunicação 14
3.4.1.2. Interferência no sono 15
3.4.1.3. Incômodo sonoro 17
3.4.1.4. Outros efeitos 18
4. O RUIDO AEROPORTUÁRIO 20
4.1. Ruído aerodinâmico e ruído de propulsão 22
4.2. A evolução dos aviões a jato 24
4.3. Classificação de aeronaves 27
5. NORMAS E LEGISLAÇÃO 29
5.1. Norma NBR 10151- “Acústica -Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento” 29
5.2. Norma NBR 10152- “Níveis de ruído para conforto acústico” 30
5.3. Norma NBR 13.368 – “Ruído gerado por aeronaves – Monitoração” 31
5.4. RBAC Nº 161 32
5.5. O papel da ICAO e a Abordagem Equilibrada 37
5.5.2.1. Redução na fonte de ruído gerado por aeronaves 39
5.5.2.2. Medidas de ordenamento e gestão de território 39
5.5.2.3. Procedimentos operacionais de redução de ruído 40

5.5.2.4. Restrições de operações 41
6. INM (INTEGRATED NOISE MODEL) COMO FERRAMENTA COMPUTACIONAL 42
6.1. Aplicações 42
6.2. Dados de entrada 43
6.3. Dados de saída 44
6.4. Cálculos 45
7. ESTUDO DE CASO – DIAGNÓSTICO DO RUÍDO PARA O AEROPORTO DE GUARULHOS 47
7.1. Aeroporto de Guarulhos 47
7.1.1. Características do aeroporto 50
7.1.1.1. Dados físicos 50
7.1.1.2. Dados operacionais 52
7.1.2. Característica do entorno e zoneamento urbano da região 54
7.2. Simulações de ruído no entorno do aeroporto 56
7.3. Quantificação do número de pessoas altamente incomodadas 58
7.4. Incompatibilidade entre o PZR e a NBR 10.151 60
7.5. Avaliação do nível de ruído em pontos críticos escolhidos 63
7.5.1.1. Levantamento dos pontos críticos 63
7.5.1.2. Níveis de ruído calculados nos receptores críticos levantados 65
7.5.1.3. Avaliação do nível de ruído nos receptores críticos levantados 66
7.5.1.4. Avaliação de hora em hora nos receptores críticos 68
8. Conclusão 71
9. BIBLIOGRAFIA 73
ANEXO A – AVALIAÇÃO DE HORA EM HORA NOS RECEPTORES CRÍTICOS 75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	*Airport Display Chart*
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNL	*Day-Night Level*
ECAC	*European Civil Aviation Conference*
FAA	*Federal Aviation Administration*
FICAN	*Federal Interagency Committee on Aviation Noise*
GERA	Grupo de Estudos em Ruído Aeroportuário
HOTRAN	Horário de Transportes
IAC	*Instrument Approach Chart*
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICAO	*International Civil Administration Organization*
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
INM	*Integrated Noise Model*
LAEQ	Nível de Pressão Sonora Equivalente
LAEQD	Nível de Pressão Sonora Equivalente
LAEQN	Nível de Pressão Sonora Equivalente Noturno
NCA	Nível Critério de Avaliação
NNC	*Non-Noise Certificate*
NPD	*Noise, Power, Distance*
OECD	*Organization for Economic Cooperation and Development*
OMS	Organização Mundial da Saúde
PBZR	Plano Básico de Zoneamento de Ruído
PEZR	Plano Específico de Zoneamento de Ruído
PZR	Plano de Zoneamento de Ruído
RBAC	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil
RR	Redução de Ruído
SAE	*Socienty of Automotive Engenieers*
SEL	Sound Exposure Level
SID	*Standard Instrument Departure*
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIGMA	Sistema Integrado de Gestão de Movimentos Aéreos

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução da quantidade de voos – mercados doméstico e internacional, 2003-2012. 2

Figura 2: Fonte, Caminho e Receptor. 9

Figura 3: Detalhes de parte do ouvido. 10

Figura 4: Níveis Internos de Conforto e aceitabilidade acústica durante a passagem de um avião para uma sala de aula. 11

Figura 5: Representação da projeção em níveis de ruído máximos (LAmax) na decolagem de aeronaves SCATOLINI (2006, Apud VALIM, 2006). 13

Figura 6: Distancia máxima em ambientes abertos a qual a conversação é inteligível. 15

Figura 7: Percentual da população despertada durante o sono devido à exposição sonora durante um evento de pouso ou decolagem. 16

Figura 8: Percentual de pessoas altamente incomodadas. 17

Figura 9: Danos à saúde causados por ruídos. 18

Figura 10: Footprints gerados por uma aterrissagem e uma decolagem de diversas aeronaves. 22

Figura 11: Distribuição do ruído (Adaptado de ICAO, Environmental Report, 2007). 22

Figura 12: Principais fontes de ruído aerodinâmico de um avião. 23

Figura 13: Contribuição típica dos componentes de uma turbina. 24

Figura 14: Nível de redução de ruído (Adaptado de ICAO, Environmental Report, 2007). 24

Figura 15: Comparação entre as áreas afetadas (Adaptado de ICAO, Environmental Report, 2007). 25

Figura 16: Motor tipo Turbo Jato. 25

Figura 17: Motor do tipo Turbofan. 26

Figura 18: Gráfico representando o nível de ruído das aeronaves classificadas por capítulos versus massa máxima em toneladas na decolagem. 28

Figura 19: Curva do Plano Básico de Zoneamento Aeroportuário de acordo com a RBAC nº161. 33

Figura 20 : Composição de curvas de ruído para aeródromos com mais de uma pista e heliponto. 34

Figura 21: Dilemas a serem tratados através de uma Abordagem Equilibrada. 38

Figura 22: Mapa de localização do sítio aeroportuário. 48

Figura 23: Evolução do movimento de aeronaves e passageiros nos ultimos anos. 50

Figura 24: Disposição das pistas do aeroporto de Guarulhos. 50

Figura 25: Disposição de pistas e terminais no aeroporto de Guarulhos. 51

Figura 26: Rotas de pouso e decolagem, para cada cabeceira, do Aeroporto de Guarulhos. 53

Figura 27: Uso real do solo no entorno do Aeroporto de Guarulhos (fonte: SIGMA – Infraero). 55

Figura 28: Mapa de Zoneamento Urbano de Guarulhos (fonte: lei nº 6.253/2007). 55

Figura 29: Curvas de ruído na métrica DNL do Aeroporto de Guarulhos. 56

Figura 30: Curvas de ruído na métrica LAeqD do Aeroporto de Guarulhos. 57

Figura 31: Curvas de ruído na métrica LAeqN do Aeroporto de Guarulhos. 58

Figura 32: Área de influência acústica direta do Aeroporto de Guarulhos. 62

Figura 33: Área de exclusão do Aeroporto de Guarulhos. 63

Figura 34: Receptores críticos levantados no entorno do Aeroporto de Guarulhos. 65

Figura 35: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola de Educação Infantil Cantinho da Joaninha Sapeca. 68

Figura 36: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Estadual Profº S. G. Alexandre L. Oliveira. 68

Figura 37: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Colégio Unicultura. 69

Figura 38: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Estadual Prefeito Antônio Pratici. 69

Figura 39: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Municipal Jardim Ipanema. 75

Figura 40: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola de Educação infantil Cantinho da Alegria. 75

Figura 41: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Centro Educação Infantil Cantinho do Saber. 75

Figura 42: Avaliação de Ruído de Hora em Hora na Escola Publica Profª Odete Fernandes P. da Silva. 76

Figura 43: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Publica Profº Joaquim Garcia Salvador. 76

Figura 44: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Centro de Educação Infantil Vitória. 76

Figura 45: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Municipal Heitor Mauricio de Oliveira. 77

Figura 46: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Estadual Deputado Cantídio Sampaio. 77

Figura 47: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Colégio Almeida Gasparin. 77

Figura 48: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola de Educação Infantil Gente Feliz. 78

Figura 49: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Núcleo Educacional Santa Clara. 78

Figura 50: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Colégio Santa Clara. 78

Figura 51: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Municipal Selma Colalillo M. Domadora. 79

Figura 52: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Colégio Magnus. 79

Figura 53: Avaliação de ruído de Hora e Hora na Escola Estadual Pastor Rubens Lopes. 79

Figura 54: Avaliação de ruído na Escola Municipal Marfilha Belloti Gonçalves. 80

Figura 55: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Jardim Escola Pequeninos. 80

Figura 56: Avaliação de ruído de Hora em Hora no CMEI Mariazinha Rezende Fusari. 80

Figura 57: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Colégio Educar. 81

Figura 58: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Colégio Educar. 81

Figura 59: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Municipal Barbara Andrade Tenório de Lima. 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Norma NBR 10151, versão de 1987. 12

Tabela 2: Critério de Avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A). 30

Tabela 3: Critério de Avaliação para ambientes internos, em dB (A). 31

Tabela 4: Verificação da existência do impacto sonoro gerado pelo ruído aeronáutico em relação ao ruído de fundo. 32

Tabela 5: Incômodo gerado pelas operações aeroportuárias. 32

Tabela 6: Legenda. 33

Tabela 7: Valores das constantes para o cálculo do PZR. 34

Tabela 8: Uso do solo. 35

Tabela 9: Evolução do movimento de aeronaves e passageiros nos ultimos anos . 49

Tabela 10: Coordenadas de referência das cabeceiras (fonte: carta ADC). 51

Tabela 11: Distribuição de voos por período. 52

Tabela 12: Distribuição de voos por aeronave. 52

Tabela 13: Rotas de pouso e decolagem, para cada cabeceira, do Aeroporto de Guarulhos. 53

Tabela 14: Quantificação do número de pessoas altamente incomodadas na métrica DNL. 59

Tabela 15: Número de pessoas atingidas pelo ruído na métrica LAeqD. 59

Tabela 16: Número de pessoas atingidas pelo ruído na métrica LAeqN. 60

Tabela 17: Área e número de pessoas atingidas pelo ruído na métrica DNL. 61

Tabela 18: Área e número de pessoas atingidas pelo ruído na métrica LAeqD. 61

Tabela 19: Área e número de pessoas atingidas pelo ruído na métrica LAeqN. 61

Tabela 20: Receptores críticos levantados no entorno do Aeroporto de Guarulhos. 64

Tabela 21: Nível de ruído nos receptores críticos levantados, nas métricas DNL, LAeqD e LAeqN. 65

Tabela 22: Valores de conforto e aceitabilidade para ambientes internos escolares. 66

Tabela 23: Níveis sonoros corrigidos para ambientes internos. 67

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

O transporte aéreo é um dos setores mais dinâmicos e de rápida evolução no mundo, sendo sua utilização cada vez mais indispensável devido à globalização, que vem aumentando continuamente os níveis de tráfego aéreo. O transporte aéreo cumpre importante papel no cenário atual, estimulando as relações econômicas e o intercâmbio de pessoas e mercadorias, dentro de um país ou entre nações.

No Brasil, o transporte aéreo vem evoluindo com a economia desde 1927, apresentando um desempenho nada modesto quando analisado em longo prazo. O transporte aéreo experimentou um notável crescimento em seus diversos segmentos após o êxito do plano de estabilização econômica de 1994 (Plano Real). Esse crescimento também é notado no turismo brasileiro, que nos últimos anos vem se firmando como uma das grandes vocações brasileiras para geração de emprego e renda que impulsiona o setor de transporte aéreo brasileiro.

Segundo o Anuário de Transporte Aéreo de 2012, emitido pela ANAC, a demanda doméstica do transporte aéreo de passageiros foi recorde em 2012 e mais do que triplicou nos últimos dez anos, em termos de passageiros-quilômetros pagos transportados, com alta de 234% entre os anos de 2003 e 2012 e com crescimento médio de 14,35% ao ano no período. A demanda no mercado internacional para voos com origem ou destino no Brasil, por sua vez, mais do que dobrou no mesmo período, com alta de 128% e crescimento médio de 9,59% ao ano. No mesmo período, o crescimento médio da economia brasileira foi de 3,85% ao ano e o da população foi de 1% ao ano. Em outras palavras, o crescimento médio anual do transporte aéreo doméstico representou mais de 3,5 vezes o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro e mais de 14 vezes o crescimento da população. Na figura 1 podemos perceber a evolução na quantidade de voos domésticos e internacionais do cenário brasileiro, entre os anos de 2003 e 2012, onde se evidencia um aumento de 84,4%.

Porém, o crescente aumento do tráfego aéreo vivenciado atualmente vem agravando os impactos ambientais gerados pelas atividades aeroportuárias. Estes impactos são estudados nas suas duas etapas: a instalação (construção ou ampliação) e a sua operação.

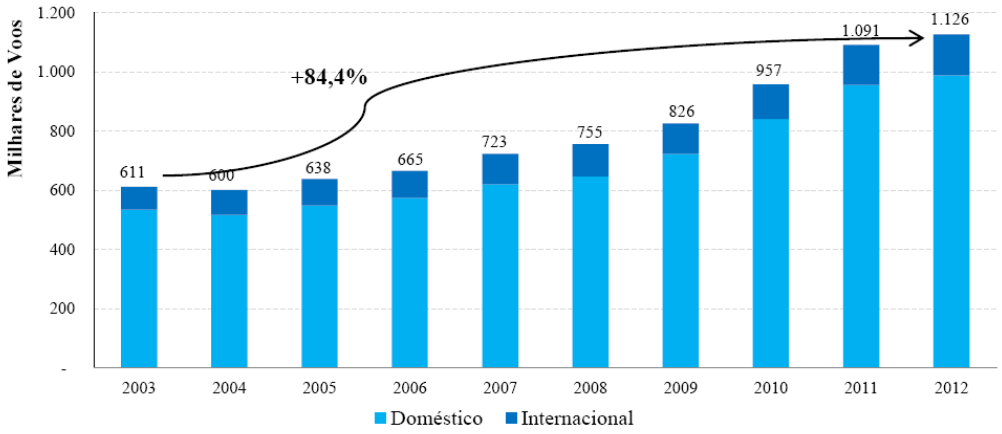


Figura 1: Evolução da quantidade de voos – mercados doméstico e internacional, 2003-2012 (Fonte: Anuário de Transporte Aéreo da ANAC – 2012).

Dentre os impactos ambientais mais sérios que estão relacionados com a operação de aeroportos estão o ruído aeronáutico, colisões com aves, risco de contaminação do solo, grande consumo nominal de água e energia, entre outros. De acordo com o Relatório Ambiental 2003/2004 da Infraero, o ruído aeronáutico é um dos principais impactos ambientais resultantes da atividade aeroportuária, e apresenta-se como um dos mais complexos e de difícil mitigação. Isto interfere não só nas atividades da área do aeroporto, como também afeta diretamente a qualidade de vida da população no seu entorno. Este trabalho irá focar no impacto gerado pelo ruído aeronáutico nas áreas no entorno de aeroportos, com especial atenção para o Aeroporto de Guarulhos.

Com o objetivo de impedir ou minimizar esses efeitos, foram criados vários instrumentos legais para restringir o uso do solo no entorno dos aeroportos. Em 1981 foi instituído, para cada categoria de aeroporto, um Plano de Zoneamento de Ruído, que protege o aeroporto do *encroachment* (invasão da região do entorno do aeroporto por atividades sensíveis ao ruído), viabilizando a adequação do desenvolvimento das áreas afetadas pelo ruído, delimitando as atividades que necessitam maior silêncio.

Porém, os planos foram instituídos tardiamente, tendo em vista que a maioria dos aeroportos já estava com seu entorno totalmente comprometido pela densa ocupação. Além disso, as áreas localizadas no entorno dos aeroportos tornam-se polos de elevado potencial de urbanização. Sendo assim, observa-se uma migração populacional bastante intensa para essas áreas, atraindo usos sensíveis ao ruído, incompatíveis com as atividades aeroportuárias. Por isso, o desenvolvimento de muitos aeroportos já existentes tem sido limitado em função do seu envolvimento pela malha urbana.

1.2. Objetivo e metodologia

Diante da demanda por instrumentos destinados a compreender a problemática de cada aeroporto do ponto de vista do ruído, e visando a tomada de decisão pelos vários atores envolvidos, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um sistema de diagnóstico do ruído aeroportuário e uma metodologia para a monitoração sonora detalhada da aviação regular em aeroportos. Para isto, utiliza-se a caracterização do impacto ambiental sonoro deste tipo de aviação sobre o entorno do aeroporto de Guarulhos, a partir do levantamento de dados recentes de movimentos de aeronaves utilizando-se o Horário de Transporte (Hotran). Este documento consiste em uma planilha elaborada e emitida pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), com todos os voos autorizados em vigência separados por dia da semana, e contém como dados mais importantes a movimentação de cada aeronave (pouso e decolagem), com seus respectivos dias e horários, da aviação regular, para todos os aeroportos brasileiros. A aviação regular, por sua vez, é aquela composta por linhas aéreas (tanto com voos domésticos ou internacionais), com horário definido, diferindo-se assim da aviação geral (helicópteros, táxis aéreos etc) e da aviação militar.

Na maioria dos aeroportos brasileiros, a aviação regular com movimentos de pousos e decolagens é predominante, então, o impacto sonoro pode ser atribuído a ela. Daí a vantagem de se utilizar o Hotran como fonte de dados.

A metodologia empregada para avaliar o nível de ruído aeronáutico foi baseada principalmente na utilização de curvas isofônicas. Uma curva de ruído é uma representação gráfica no plano horizontal da área de alcance de um determinado nível sonoro proveniente da movimentação de aeronaves nos aeroportos. Em todo o contorno da área delimitada por uma curva de ruído, o nível sonoro é constante, portanto, as curvas de ruído são curvas isofônicas. Para isso, propõe-se o desenvolvimento de um método de diagnóstico sonoro de aeroportos baseado em simulações de acústica previsional. É feito um pré-processamento de dados a partir do Hotran, que consiste em organizar os dados de movimentos de aeronaves no aeroporto no período diurno, noturno e de hora em hora, e, para cada aeronave, identificar o destino e rota utilizados. Estes dados serão utilizados em um software de simulações acústicas chamado *Integrated Noise Model* (INM), para que sejam realizadas as análises numéricas e gráficas, e assim gerar gráficos das curvas de nível atuais nas métricas DNL, LAeqD, LAeqN e LAeq1h, definidas no capítulo 2. Em seguida, estas curvas são sobrepostas em

mapas contendo o aeroporto de Guarulhos e o seu entorno no software ArcGIS, um Sistema de Informação Geográfica (SIG), para se realizar determinadas avaliações ligadas ao impacto ambiental sonoro do aeroporto. Um Sistema de Informação Geográfica é um sistema de informação que permite a entrada, armazenamento, manipulação e visualização de dados georreferenciados (dados cujos pontos são referenciados dentro de um sistema de coordenadas, geralmente no sistema de coordenadas geográficas) por meio de mapas. Os elementos formadores destes dados estão associados a uma planilha eletrônica com dados numéricos ou literais. Eles são de natureza geográfica, ou seja, dados socioeconômicos, políticos, físicos etc, relacionados a uma determinada região do planeta. No ArcGIS, também será quantificado o número de pessoas afetadas pelo ruído, a partir do número de pessoas residentes dentro das áreas abrangidas pelas curvas de nível, utilizando-se como fonte os dados populacionais correspondentes aos setores censitários do IBGE.

As curvas de nível devem ser feitas de acordo com a normalização vigente. Os níveis sonoros das curvas isofônicas na métrica DNL são compatíveis com o Plano Específico de Ruído, definido pelo RBAC (Regulamento Brasileiro de Aviação Civil) número 161 e devem considerar os níveis de ruído de 65 dB(A), 70 dB(A), 75 dB(A), 80 dB(A) e 85 dB(A). Já os níveis sonoros das curvas isofônicas nas métricas LAeqD e LAeqN são compatíveis com a norma ABNT NBR 10151, e, neste caso, devem ser considerados os níveis de ruído de 50 dB(A), 55 dB(A), 60 dB(A), 65 dB(A) e 70 dB(A) para a métrica LAeqD, e de 45 dB(A), 50 dB(A), 55 dB(A) e 60 dB(A) para a métrica LAeqN.

Será feito o levantamento da extensão do impacto sonoro produzido pelas operações de aeronaves no Aeroporto, e analisado o conforto acústico da população localizada na sua área de influência. Para isso, os dados pré-processados e inseridos no INM também são utilizados para calcular os níveis de ruído em receptores críticos pré-selecionados (*function location points* do INM). Esses receptores são pontos críticos localizados na região do entorno do aeroporto nos quais as atividades desenvolvidas são sensíveis ao ruído, tais como escolas, centros de saúde e residências, para que seja verificado se os níveis de ruído nestes locais estão de acordo com as normas de conforto acústico existentes. Esta proposta permite que o número de receptores críticos estudados possa ser grande, abrangendo todas as escolas e centros de saúde situados em áreas de maior impacto. Para cada receptor, são calculados os níveis sonoros nas métricas DNL, LAeqD, LAeqN, e LAeq1h (sobre 24horas). A partir dos valores encontrados, são

avaliadas as condições de uso no local de acordo com as normas NBR10151 e NBR10152.

Vale ressaltar que este projeto foi desenvolvido no Grupo de Estudos em Ruído Aeroportuário (GERA), um grupo de pesquisa multidisciplinar da Universidade Federal do Rio de Janeiro cadastrado no diretório dos grupos de pesquisa do CNPq, do qual participam engenheiros, arquitetos e outros profissionais de áreas específicas. O GERA participa de pesquisas relacionadas ao impacto gerado pelo ruído aeroportuário e tem como principais trabalhos a elaboração de mapas de ruído aeroportuário no entorno de aeroportos, estudos de sensibilidade e monitoração do ruído aeroportuário, entre outros.

2. MÉTRICAS DE RUÍDO

Serão agora detalhadas as principais métricas utilizadas para possibilitar um melhor entendimento das análises futuras.

2.1. Nível de pressão sonora equivalente (LAeq)

O Nível de pressão sonora equivalente (LAeq), em decibéis ponderados [dB(A)], é o nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação A) referente a todo intervalo de medição no tempo.

O LAeq é dado pela equação:

$$L_{Aeq} = 10\log_{10}\left[\frac{1}{T}\int_{t}^{(t+T)}\frac{P_A^2(t)}{P_0^2}dt\right] = 10\log_{10}\left[\frac{1}{T}\int_{t}^{(t+T)}10^{\frac{L_{A(t)}}{10}}(t)dt\right] \quad (1)$$

Onde:

T: é o período de tempo, em segundos;

P_A: é o nível de pressão sonora, instantâneo, ponderado em A, em Pascal;

P_0: é o nível de pressão sonora de referência (2×10^{-5} Pascal).

No caso do ruído aeronáutico, devido à diferença do número de movimentos entre o dia e a noite é interessante utilizar duas métricas derivadas: o LAeqD, para o período diurno, e o LAeqN, para o período noturno.

2.1.1. LAeqD

É o nível equivalente de pressão sonora diurno. É definido como o nível equivalente de pressão sonora calculado no período diurno, compreendido entre 07:00 e 22:00, abrangendo assim um período de quinze horas.

O LAeqD é dado pela equação:

$$L_{AeqD} = 10\log_{10}\left[\frac{1}{3600*15}\int_{7*3600}^{22*3600}\frac{P_A^2(t)}{P_A^2}dt\right] \quad (2)$$

2.1.2. LAeqN

É o nível equivalente de pressão sonora noturno. É definido como o nível equivalente de pressão sonora calculada no período noturno, compreendido entre 22:00 e 07:00, abrangendo assim o período de nove horas restantes.

O LAeqN é dado pela equação:

$$L_{AeqN} = 10\log_{10}\left[\frac{1}{3600*9}\left(\int_{22*3600}^{24*3600}\frac{P_A^2(t)}{P_A^2} + \int_{0}^{7*3600}\frac{P_A^2(t)}{P_A^2}\right)dt\right] \quad (3)$$

2.1.3. LAeq1H

O LAeq1h é o nível sonoro equivalente calculado durante uma hora cheia. É dado pela equação:

$$\mathrm{L_{Aeq1h}} = 10\log_{10}\left[\frac{1}{3600}\int_{\mathrm{n}}^{\mathrm{n+1}}\frac{\mathrm{P_A^2(t)}}{\mathrm{P_0^2}}\mathrm{dt}\right] \quad (4)$$

Onde n está situado em um intervalo que vai de 00:00 até 23:00.

2.2. *Day-Night Level* (DNL): Nível Sonoro Dia-Noite

O DNL é uma métrica de ruído definida como o nível de pressão sonora equivalente calculado sobre um período de 24 horas com uma ponderação de 10 dB(A) durante o período noturno, compreendido entre 22:00 e 07:00 do dia seguinte, devido a maior sensibilidade ao incômodo causado pelo ruído noturno.

A equação abaixo define matematicamente a métrica DNL, como o nível de exposição sonora no período de 24 horas dividido pelo número total de segundos durante o dia.

$$DNL = 10\log_{10}\left\{\frac{1}{3600\,x\,24}\left[\int_{7*3600}^{22*3600}\frac{P_A^2(t)}{P_0^2}dt + 10\left(\int_{22*3600}^{24*3600}\frac{P_A^2(t)}{P_0^2} + \int_{0*3600}^{7*3600}\frac{P_A^2(t)}{P_0^2}\right)dt\right]\right\} \quad (5)$$

Pode-se dizer que o cálculo do DNL é similar ao do LAeq, mas com a diferença que o DNL penaliza o ruído noturno em 10 dB e é calculado num período de 24 horas.

2.3. Nível de Exposição Sonora (SEL – *Sound Exposure Level*)

O Nível de Exposição Sonora (*Sound Exposure Level* - SEL) é o nível associado ao somatório das energias sonoras instantâneas ocorridas durante o tempo de duração de um ruído, expresso em decibéis. O SEL é muito utilizado em ruído aeronáutico para mensurar o nível sonoro durante um evento único (um pouso ou uma decolagem de uma aeronave), objetivando verificar o efeito de tal evento isolado sobre a população. O SEL é definido pela equação a seguir:

$$SEL = 10\log_{10}\left[\frac{1}{T_0}\int_t^{t+T}\frac{P_A^2(t)}{P_0^2}dt\right] \quad (6)$$

Onde:

T_0 **:** 1 segundo (introduzido para que o argumento do logaritmo seja adimensional).

3. O RUÍDO E O HOMEM

De modo geral, as pessoas reagem diferentemente ao mesmo ruído. O ruído que incomoda uma pessoa pode ser imperceptível ou agradável para outra pessoa. A sensibilidade auditiva das pessoas com boa capacidade auditiva pode variar de 20 dB de uma pessoa para a outra. Segundo a FAA (1985), essa alteração na resposta é que torna difícil de avaliar a resposta comunitária, sendo praticamente impossível prever a resposta individual a uma determinada exposição sonora.

Na acústica física existem três elementos de base a se considerar: a fonte emissora, o caminho e o receptor, como mostrado na figura 2.

Figura 2: Fonte, Caminho e Receptor.

A fonte emissora do ruído pode ser classificada em fixa ou móvel, e quanto a sua direção, em omnidirecional ou direcional. O caminho é o trajeto que o som percorre até alcançar o receptor. Dependendo da trajetória, pode ser classificado em direto ou incidente e indireto (refletido, absorvido, transmitido e difratado). Por fim, o receptor recebe o som emitido pela fonte.

Uma vez separados esses conceitos, analisaremos o efeito do som da fonte quando captado pelo receptor ultrapassando o caminho de transmissão.

3.1. O aparelho auditivo humano

O aparelho auditivo, localizado em sua maior parte no osso temporal, na face lateral da caixa craniana, é um importante e delicado sistema através do qual nós podemos perceber e sentir as ondas sonoras do ambiente. Basicamente, serve para transformar estas ondas em impulsos nervosos que chegam até o cérebro, onde são interpretados e entendidos. O ouvido é o órgão da audição e do equilíbrio, sendo, anatômica e funcionalmente, dividido em ouvido externo, médio e interno. Os detalhes podem ser vistos na figura 3, e serão explicados de maneira simplista.

O ouvido externo é formado pela orelha, canal auditivo e tímpano. A orelha e o canal auditivo recebem e captam as ondas sonoras, canalizando-as até o tímpano. Quando a onda sonora bate no tímpano, ele vibra e passa esta vibração para o ouvido médio.

O ouvido médio é composto de três delicados ossos chamados martelo, bigorna e estribo. A vibração do tímpano faz com que eles batam uns contra os outros, conduzindo estas vibrações para outra membrana, a janela oval. No ouvido médio também se encontra a Trompa de Eustáquio, atualmente denominada de tuba auditiva, que tem como funções manter a pressão do ouvido médio igual à atmosférica, drenar secreções e estabelecer comunicação com a orelha média e a rinofaringe.

O ouvido interno compõe-se dos canais semicirculares e da cóclea. A cóclea é cheia de células auditivas, que são minúsculos pelos parecidos com os cílios dos olhos. Esses cílios convertem as vibrações em impulsos nervosos.

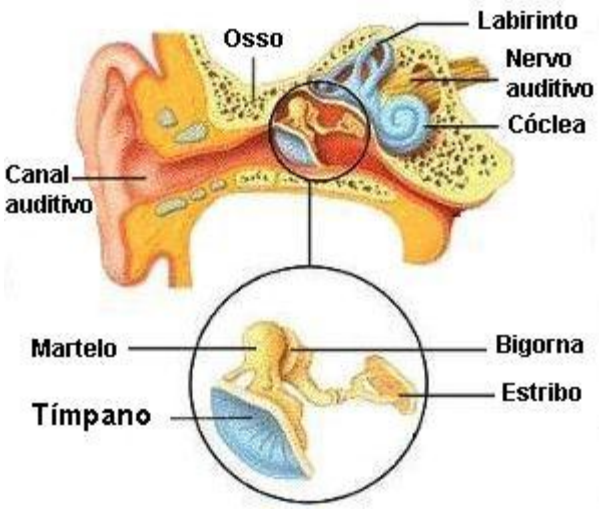


Figura 3: Detalhes de parte do ouvido.

Em resumo, a função principal do ouvido externo e do médio, é a de conduzir a energia acústica eficientemente até a cóclea, onde é convertida em impulsos no nervo auditivo. As ondas sonoras entram pelo canal auditivo, atingem a membrana timpânica e a faz vibrar. Estas vibrações são transmitidas à bigorna e ao estribo pelo martelo. A platina do estribo, movendo-se para frente e para trás na janela oval, faz com que o fluido coclear se mova também. O deslocamento deste fluido produz alternadamente depressões e elevações da membrana basilar (onde estão localizadas as células ciliadas

internas e externas). Vai chegar então ao centro auditivo do lobo temporal do córtex cerebral.

3.2. Som X Ruído

O som é uma sensação auditiva que nossos ouvidos são capazes de detectar. Podemos caracterizá-los pela sensação agradável ou de desconforto que causam.

Os termos som e ruído são frequentemente utilizados de diferentes maneiras, mas, normalmente, som é usado para as sensações prazerosas, como fala ou música, e ruído, para descrever um som indesejável como buzina, barulho de trânsito e máquinas.

A aeronave em si é uma fonte de ruído continuo - aquele cuja variação de nível de intensidade sonora é muito pequena em função do tempo (período superior a 15 minutos e com variação de $\pm$ 3 dB) - mas, considerando que esta também é uma fonte móvel, os receptores são expostos ao ruído aeronáutico somente durante o período de tempo que durar a proximidade da fonte. Deste modo, a aeronave é uma fonte de ruído contínuo, mas o aeroporto é uma fonte de ruído intermitente.

3.3. Conforto Acústico

O nível sonoro para realização de uma determinada atividade é subdividido em três áreas: nível de conforto, nível de aceitabilidade e incômodo. A presença de um ruído nem sempre significa incômodo, desde que o seu nível se encontre abaixo dos níveis estipulados.

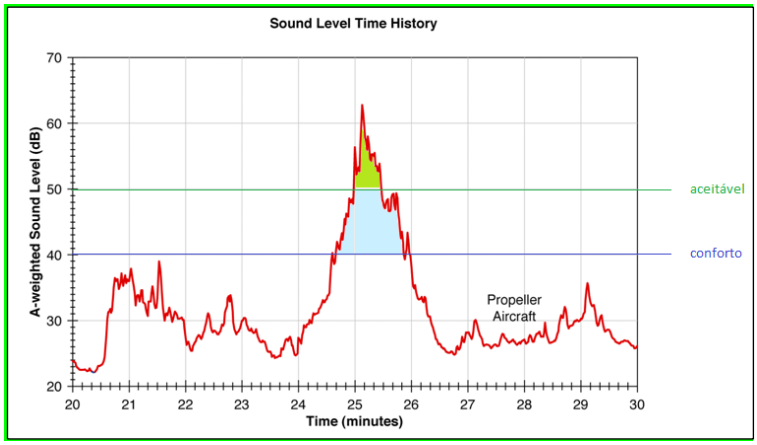


Figura 4: Níveis Internos de Conforto e aceitabilidade acústica durante a passagem de um avião para uma sala de aula.

Na figura 4 é exibida uma imagem ilustrativa dos níveis internos de conforto e aceitabilidade acústica durante a passagem de um avião para uma sala de aula, recomendados na Norma ABNT NBR 10152.

Em um ambiente acústico, a presença de um ruído combinado com duração limitada pode ser aceita pela população, ou seja, apesar dele estar presente, não provoca danos a ninguém e pode ser suportado, embora não se caracterize como nível de conforto. Acima desse nível, o ruído passa a ser um fator de incômodo e o ambiente afetado necessita de um tratamento acústico capaz de manter os níveis dentro do parâmetro aceitável.

Devido à diversidade de cenários ruidosos e ambientes diversos, foram criadas normas brasileiras para padronizar os níveis de ruído aceitáveis para cada localização.

Tabela 1: Norma NBR 10151, versão de 1987.

Valor em dB(A) pelo qual o nível sonoro corrigido ultrapassa o nível critério	**Resposta estimada da Comunidade**	
	Categoria	**Descrição**
0	Nenhuma	Não se observa reação
5	Pouca	Queixas esporádicas
10	Média	Queixas generalizadas
15	Enérgicas	Ação Comunitária
20	Muito enérgicas	Ação comunitária vigorosa

Como podemos ver na tabela 1 acima, a norma NBR 10151 de 1987 relaciona o nível excedente de ruído com os sintomas que podem causar na população atingida, enquanto na última versão, esses sintomas não são citados.

3.4. Efeitos do ruído no homem

O ruído age sobre o organismo humano de várias maneiras, prejudicando não só o funcionamento do aparelho auditivo, como também comprometendo a saúde física, fisiológica e mental do indivíduo a ele exposto.

As pessoas que aparentemente gozam de boa saúde podem estar sendo vítimas da poluição sonora. Como o ser humano tem uma alta capacidade de adaptação a ambientes adversos, o desenvolvimento de um estado de fadiga e perda de energia pode ocorrer sem que a pessoa se dê conta, atingindo os limites de sua resistência.

O ruído aeronáutico é um dos maiores problemas ambientais relacionados à atividade aeroportuária que, por sua vez, produz vários efeitos adversos sobre as comunidades adjacentes aos aeroportos. O incômodo causado pelo ruído aeronáutico é a principal causa dos conflitos entre a comunidade e o aeroporto. As diretrizes da Organização Mundial da Saúde juntamente com a *Organization for Economic Cooperation and Development* – OMS/OECD apontam que:

- Até 55 dB (A) é aceitável segundo a OMS (para o ruído próximo do limite da área do aeroporto, e durante o dia);
- Entre 55 e 60 dB (A) é esperado o registro de incômodo;
- Entre 60 e 65 dB (A) o incômodo aumenta consideravelmente;
- Acima de 65 dB (A) é esperado ocorrência de sintomas e sérios danos à saúde;

A figura 5 representa o alcance no solo dos níveis de ruído produzidos durante o procedimento de decolagem de uma aeronave do tipo Boeing 707/DC8 e DC-10/Tristar. Pode-se observar que o nível de pressão sonora pode ultrapassar bastante o nível a partir do qual a OMS considera que é esperado a ocorrência de sintomas e sérios danos à saúde (acima de 65 dB(A)).

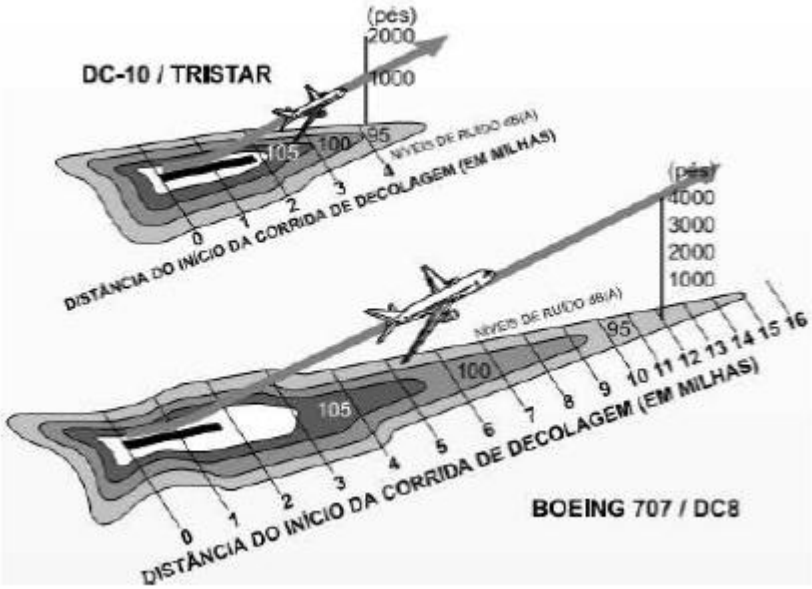


Figura 5: Representação da projeção em níveis de ruído máximos (LAmax) na decolagem de aeronaves SCATOLINI (2006, Apud VALIM, 2006).

A OMS também considera que há grupos da população mais vulneráveis ao ruído dos aviões, em comparação com a população geral, como as crianças por exemplo.

A exposição sonora ao ruído das aeronaves parece prejudicar a aprendizagem, a leitura, reduz a motivação e o desempenho cognitivo durante a infância. As evidências indicam que quanto maior a exposição, maior o dano. Por isso, creches e escolas não devem ser localizadas perto das principais fontes de ruído urbanas, tais como rodovias, aeroportos e zonas industriais.

Quanto ao tempo de resposta do organismo, os efeitos são classificados em imediatos ou cumulativos. Quanto à função do organismo afetada, são auditivos (diretos) ou não auditivos (indiretos). A população adjacente a aeroportos, em geral, não corre risco de perda auditiva. Os efeitos do ruído aeronáutico sobre a vizinhança dos aeroportos são então não auditivos, podendo ser imediatos ou cumulativos.

3.4.1. Efeitos não auditivos do ruído

3.4.1.1. Interferência na comunicação

Os sinais de fala constituem rápidas flutuações de pressão geradas pela voz, cuja maior parte da energia acústica está na faixa de frequências de 100 Hz e 6000 Hz, sendo que o maior suporte está entre 300 e 3 000 Hz.

A interferência na fala é basicamente um processo onde um ruído perturbador está dificultando a compreensão da fala pelo ouvinte, tornando-a inteligível ou até inaudível. À medida que o nível de pressão sonora de um ruído perturbador aumenta, automaticamente as pessoas levantam a voz para superar os efeitos devidos ao mascaramento da fala (aumento do esforço vocal). No entanto, o esforço de interpretação necessária para compensar o efeito de mascaramento da fala e para compreender o que foi dito, também impõe uma tensão adicional ao ouvinte.

A figura 6, na página seguinte, mostra a interferência do ruído estacionário na comunicação verbal para ambientes externos.

Por ser de natureza intermitente, o ruído aeroportuário provoca dificuldades de compreensão da fala apenas durante o tempo de passagem das aeronaves. No entanto, por ser muito intenso, se comparado à fala humana, o ruído aeronáutico pode provocar o mascaramento completo da fala, levando a interrupção da comunicação. Especialmente vulneráveis a estes tipos de efeitos são os deficientes auditivos, os idosos, as crianças no processo de aquisição da linguagem e de leitura e os indivíduos que não estão familiarizados com a linguagem falada local.

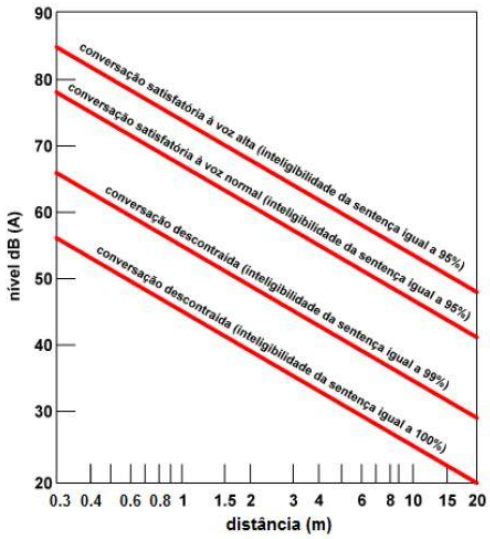


Figura 6: Distancia máxima em ambientes abertos a qual a conversação é inteligível.

No contexto escolar, a fala é o grande condutor do ensino e aprendizagem. É a ferramenta que o professor utiliza para se comunicar. Sem a fala ou essa distorcida e com seu sinal prejudicado por interferências externas, poderá também prejudicar o entendimento, a atenção, o comportamento e, consequentemente, seu aprendizado. Por isso, as instituições de ensino terão tratamento priorizado neste trabalho.

3.4.1.2. Interferência no sono

A boa qualidade do sono é conhecida como uma condição essencial para o bom funcionamento fisiológico e mental das pessoas.

O efeito do ruído aeronáutico no sono é uma preocupação reconhecida de longa data daqueles interessados em determinar o impacto do ruído sobre as pessoas, e tem se tornado uma queixa comum das comunidades adjacentes ao aeroporto expostas ao ruído.

O sono é um estado de repouso relativamente frágil, que pode ser interrompido através de estímulos diversos, dentre os quais o ruído. Estima-se que 80% a 90% dos casos relatados de perturbação do sono em ambientes ruidosos estejam relacionados ao ruído ambiental.

Os principais efeitos de perturbações do sono são dificuldade em adormecer, despertar durante o sono, acordar cedo, sentimentos de insônia uma ou mais vezes por semana e alterações do sono ou estágios de profundidade, nomeadamente, a redução da proporção do sono. A FICAN (*Federal Interagency Committee on Aviation Noise*), em

1997, propõe a adoção de curva de dose-resposta, representada na figura abaixo, para predizer o percentual de população despertada durante o sono devido à exposição sonora durante um evento único de pouso ou decolagem, determinada através do nível de exposição sonora (SEL), possibilitando assim a quantificação do efeito do ruído no homem. A relação dose-resposta proposta pela FICAN (1997) pode ser descrita através do gráfico na figura 7 e da equação da página seguinte.

$$\%\,ACORDADOS \;=\; 0.0087\,x\,(SEL - 30)^{1,97} \qquad (7)$$

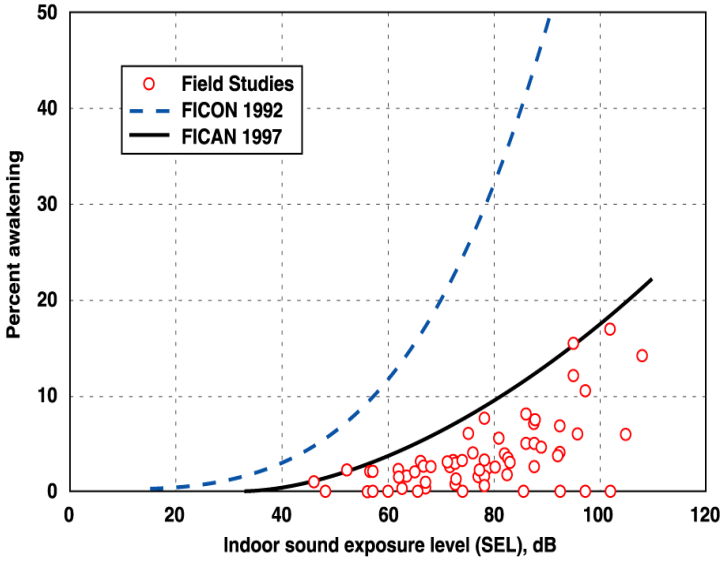


Figura 7: Percentual da população despertada durante o sono devido à exposição sonora durante um evento de pouso ou decolagem. Fonte: FICAN (Federal Interagency Committee on Aviation Noise - 1997).

Ainda segundo a FICAN, após uma noite de exposição ao ruído, podem ocorrer mudanças no humor, redução do desempenho no trabalho das pessoas e maiores riscos de acidentes.

O ruído noturno é principalmente nocivo aos idosos e às pessoas que se encontram em desordem psíquica ou fisiológica, e, por esta razão, é muito prejudicial em regiões com presença de hospitais e residências.

Os valores recomendados pela norma NBR 10152 para o interior dos quartos é de 35 dB para conforto e de 45 dB para aceitabilidade. Assim, para um bom sono, acredita-se que os níveis de pressão sonora não devem exceder um LAmáx de 45 dB mais de 10 a 15 vezes por noite (Vallet & Vernet 1991apud WHO).

3.4.1.3. Incômodo sonoro

Segundo VALLET (1983), o incômodo pode ser definido como sendo “uma sensação perceptiva e afetiva negativa expressa pelas pessoas que escutam o ruído”. A sensação de incômodo é um dos critérios mais utilizados dentro das pesquisas sobre os efeitos do ruído, seja em enquetes psicossociológicas ou em estudos de laboratório.

Segundo GUSKI (1983), citado em WHO (1995), o processo de resposta humana ao ruído inicia-se com a percepção de um estimulo causado por uma dosagem diferente de níveis sonoros. O resultado desse processo perceptivo criará a base para um possível sentimento de incômodo, que poderá ser diferente em função de muitas variáveis psicossociais, como as condições de moradia, prévias exposições ao ruído etc.

Entre as características do ruído que geram incômodos são seu caráter impulsivo, a carga efetiva que ele tem, seu caráter repetitivo, a impossibilidade de poder controlá-lo, seu caráter irritante (mesmo que de fraca intensidade).

SCHULTZ concluiu, a partir de levantamentos associados ao ruído aéreo, tráfego urbano, tráfego de autoestradas e tráfego de ferrovias, que a relação estatística entre a percentagem da população incomodada e o nível de ruído é essencialmente independente da fonte de ruído. Os resultados mostram claramente que a melhor forma de representação das respostas para o nível médio de ruído é fornecido por uma função curvilínea como mostra a figura 8. Podemos perceber que em torno de 65 dB(A), a curva torna-se mais acentuada.

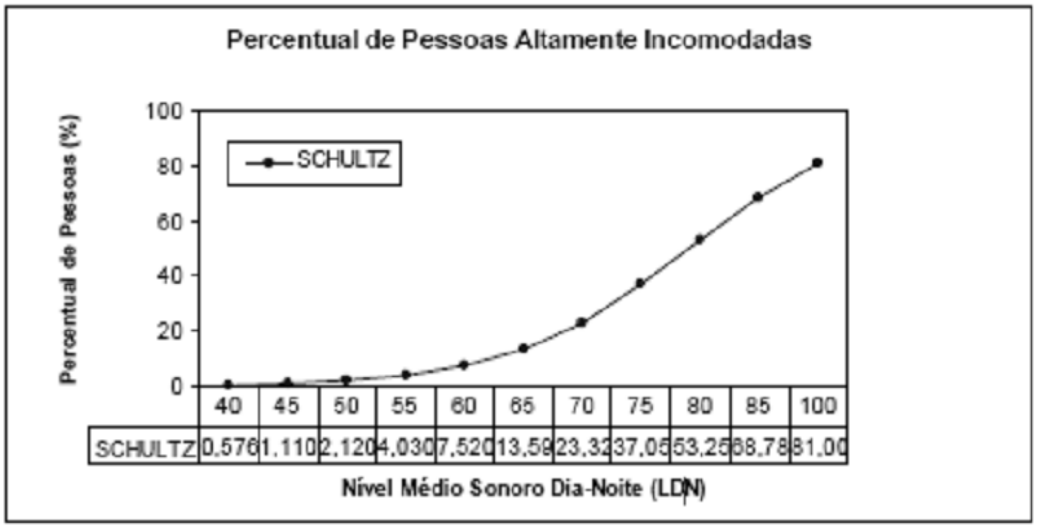


Figura 8: Percentual de pessoas altamente incomodadas.

Baseados nestes dados, Schultz propôs uma equação, a mais comum estimativa de incomodo público devido a fontes de transporte de todos os tipos, relacionando o percentual das pessoas altamente incomodadas (%HA) com o Nível Sonoro Dia-Noite (Day-Night Level):

$$\% \, HA = 0{,}8553 \, DNL - 0{,}0401 \, DNL^2 + 0{,}00047 \, DNL^3 \quad (8)$$

Onde:

% HA: percentual da população altamente incomodada

DNL**:** *Day-Night level*

3.4.1.4. Outros efeitos

Como já visto anteriormente, o ruído pode agir de diversas formas nocivas ao homem, por ser um fator gerador de stress ou provocar danos no sistema auditivo. Porém, por trás dos principais efeitos, existem aqueles que não aparecem de imediato e podem durar mais de um dia depois de ocorrido o evento. Basicamente, esses efeitos podem ser divididos em duas categorias: psicológicos e fisiológicos.

Os efeitos psicológicos podem ser temporários ou permanentes e afetam grande parte dos expostos a ruídos, porém, por não serem aparentes de imediato podem ser de difícil identificação. Podem se manifestar das seguintes formas: perda da concentração, perda dos reflexos, irritação permanente, insegurança quanto à eficiência dos atos, embaraço nas conversações, perda da inteligibilidade das palavras e impotência sexual.

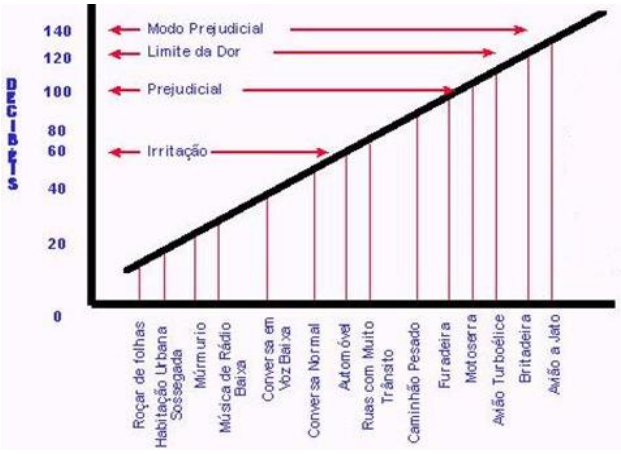


Figura 9: Danos à saúde causados por ruídos.

Efeitos fisiológicos já são mais visíveis e podem ser encontrados na forma de dores de cabeça, fadiga, distúrbios cardiovasculares, distúrbios hormonais, disfunções digestivas e mudanças na respiração. Na figura 9, são relacionados os danos causados à saúde, com o nível de ruído, em decibéis, de determinadas fontes.

Um estudo britânico aponta que a exposição a ruído de avião aumenta o risco de doenças cardiovasculares como o acidente vascular cerebral. Publicado no *British Medical Journal*, o estudo com 3,6 milhões de moradores ao redor do aeroporto de Heathrow, em Londres, sugere que estes indivíduos têm de 10% a 20% mais chances de desenvolver doenças relacionadas.

O trabalho sugere haver um maior risco tanto de internações quanto de mortes por doenças cardíacas e circulatórias para 2% dos participantes do estudo, cerca de 70 mil pessoas que vivem nos locais onde o barulho de aviões é mais intenso.

Segundo Anna Hansell, do *Imperial College London*, há uma "reação de surpresa" ao barulho, ou seja, se de repente o indivíduo está exposto a ele, há aumento da frequência cardíaca e da pressão arterial. E o ruído das aeronaves pode ser irritante para algumas pessoas, o que também pode afetar a sua pressão arterial, levando à doença.

O estudo usou dados de níveis de ruído de 2001 fornecidos pela Autoridade de Aviação Civil, que abrange 12 bairros de Londres e nove distritos fora da cidade, onde o ruído das aeronaves é superior a 50 decibéis.

Embora haja mais aviões no céu, os autores dizem que hoje menos pessoas são afetadas pelos maiores ruídos (acima de 63 decibéis). Isto ocorre devido às mudanças no design de aeronaves e planos de voo.

Os pesquisadores disseram que ajustaram o trabalho para eliminar outros fatores que podem ter uma relação com a doença cardíaca, tais como tabagismo. Eles enfatizaram que o risco relacionado ao estilo de vida - tabagismo, sedentarismo e dieta pobre em nutrientes - ainda é maior do que o da exposição ao barulho de avião.

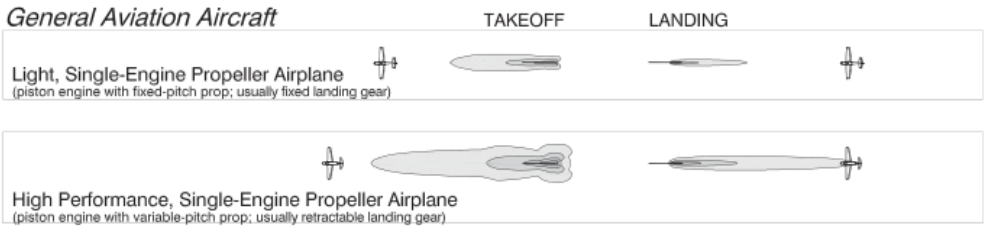
4. O RUIDO AEROPORTUÁRIO

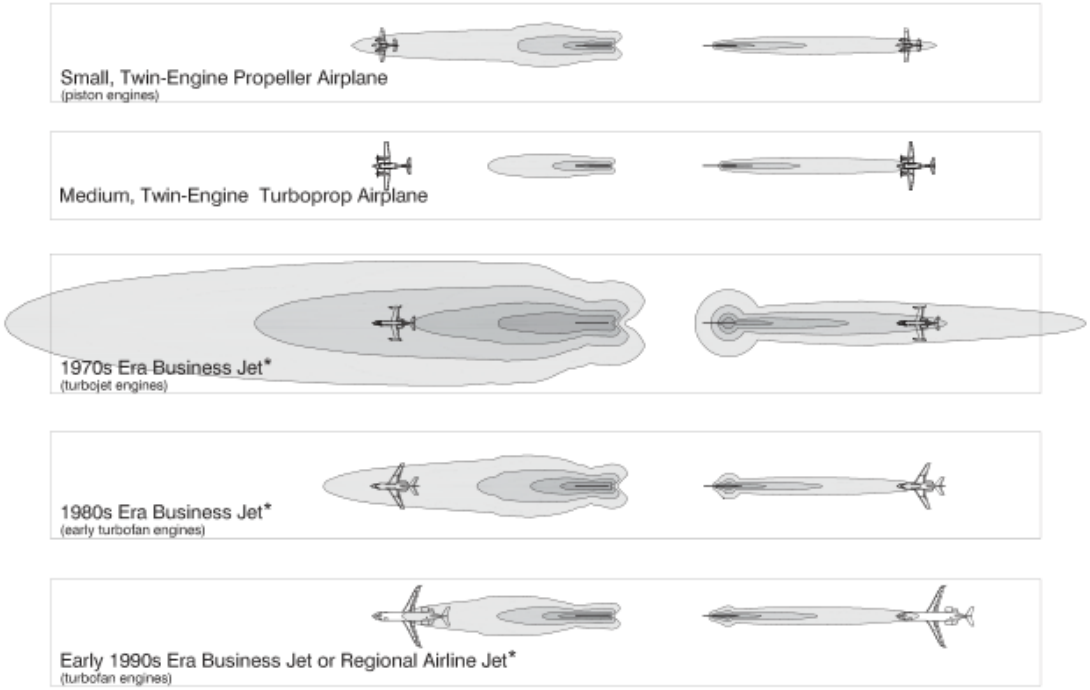
O ruído aeroportuário consiste em todo ruído gerado pelo aeroporto em operação e pelas aeronaves, se relacionando diretamente às operações de pouso, decolagem, e sobrevoos de aeronaves. Os principais problemas ambientais se apresentam nas operações de pousos e decolagens por estarem mais próximos do solo e por exigirem muita potência.

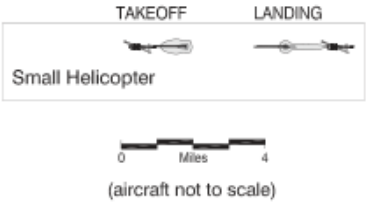
O ruído muitas vezes é dito o mais significante entre os efeitos adversos associados à atividade aeroportuária. O nível de ruído que chega ao solo perto dos aeroportos, emitido por aeronaves, depende de um grande número de fatores, tais como modelo de aeronave, tipo de turbina, potência, configuração das asas, distância da trajetória, além das características da região tais como topografia do terreno e clima da região, que afetam a propagação do som. Por isso, para melhor compreender a exposição ao ruído de aeronaves, é importante reconhecer as variáveis envolvidas no que diz respeito aos diferentes tipos de aeronaves.

O ruído aeronáutico consiste numa sucessão de repentinos eventos sonoros com altos níveis (principalmente nas baixas frequências), com separação por períodos silenciosos, sendo assim intermitente ou não estacionário.

O ruído emitido por diferentes tipos de aeronaves tem diferenças marcantes em termos do nível sonoro máximo e de outras propriedades. A extensão dos níveis sonoros gerados por aeronaves da aviação geral, aeronaves cargueiras e aeronaves militares pode ser vista na figura 10. As ilustrações retratam as típicas curvas de ruído geradas por um pouso individual e decolagem de cada aeronave. Cada uma das curvas representa bem os níveis de ruído máximos produzidos por outras aeronaves semelhantes às incluídas. No entanto, o nível de som real produzido por qualquer decolagem ou pouso varia não só entre marcas e modelos específicos de aeronaves, mas também de uma operação para outra de uma aeronave idêntica.



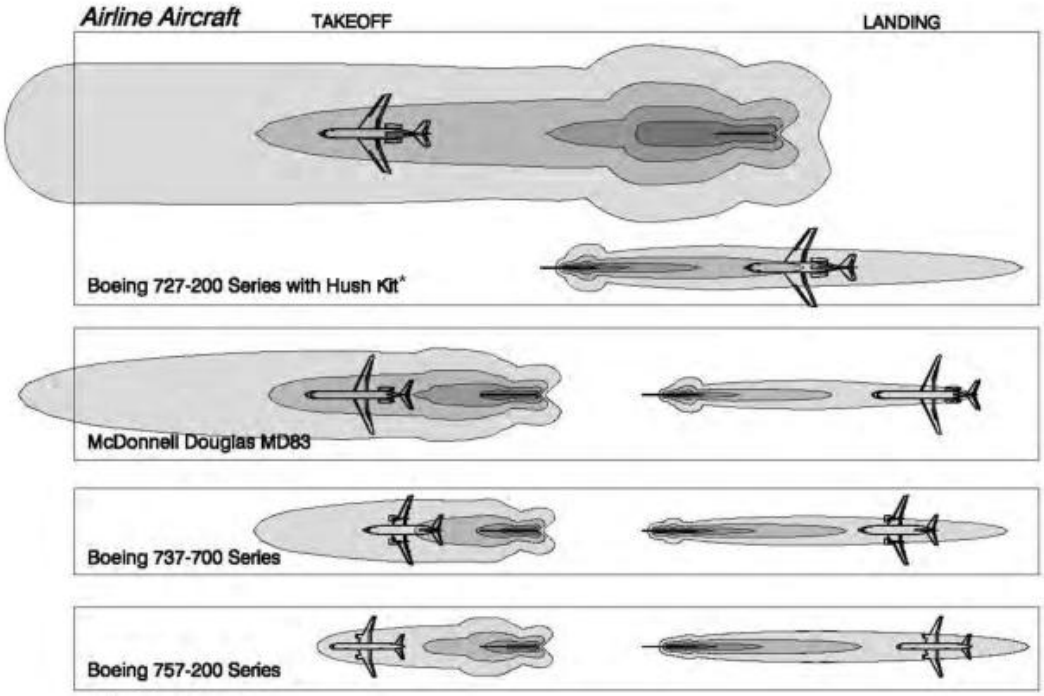




The drawings on these two pages show the relative noise levels produced by different types of aircraft during landing and takeoff.

The contours represent the momentary maximum sound level experienced on the ground as the aircraft flies over. The outermost contour for each aircraft indicates a 65 dBA sound level. Additional contours are at 10 dBA increments (75, 85, and in most cases 95 dBA).

*NOTE: A number of these business jets are still in operation.



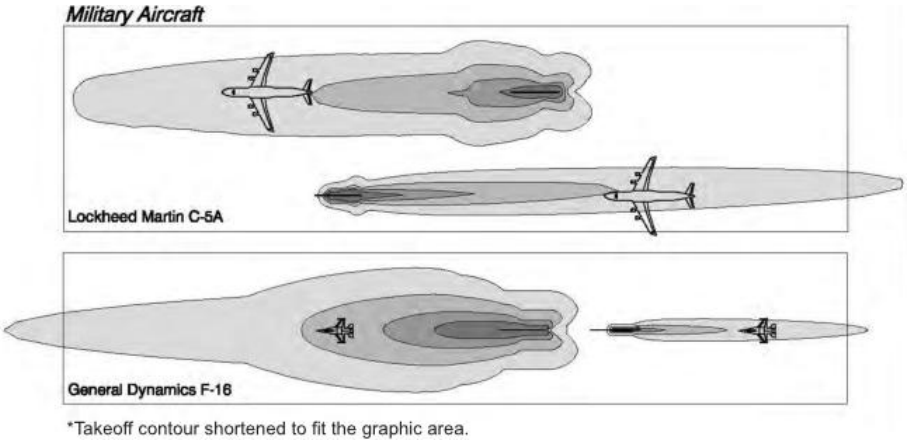


Figura 10: Footprints gerados por uma aterrissagem e uma decolagem de diversas aeronaves.

4.1. Ruído aerodinâmico e ruído de propulsão

Analisando separadamente o avião como gerador de ruído, conseguimos observar as principais fontes, que são os ruídos aerodinâmicos (ou ruído de *airframe*) e os ruídos de propulsão. Nos últimos anos, avanços tecnológicos transformaram os motores de aviões em equipamentos mais silenciosos, o que fez com que os ruídos aerodinâmicos a se destacarem. Durante o pouso, entre 75% e 80% do ruído produzido pelos aviões é de origem aerodinâmica, enquanto o restante é causado pelo motor. Na decolagem, quando a aeronave precisa de mais potência para alçar voo, essa relação se inverte. Este fato é ilustrado na figura 11, que mostra a contribuição do ruído pelo sistema de propulsão e configuração aerodinâmica durante um pouso e uma decolagem. Pode-se verificar que, durante uma decolagem típica, o ruído proveniente do jato apresenta maior contribuição. Com relação à aterrissagem, é o ruído do sistema "*airframe*" que apresenta um valor significativo.

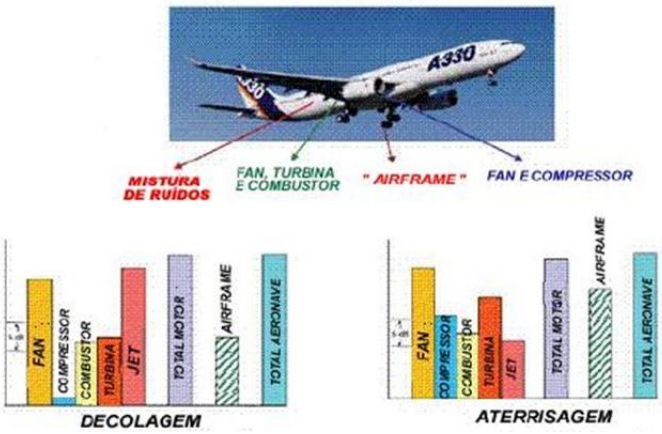


Figura 11: Distribuição do ruído (Adaptado de ICAO, Environmental Report, 2007).

O ruído aerodinâmico é gerado pela passagem do fluxo de ar pela fuselagem do avião, e varia de acordo com a sua configuração, velocidade e altura devido à densidade do ar. As principais fontes de ruídos aerodinâmicos durante o pouso e decolagem são o trem de pouso e as superfícies hipersustentadores, nome dado ao conjunto formado pela asa e pelos *flaps* e *slats*, dispositivos móveis localizados nas asas dos aviões com a função de aumentar a área de superfície e elevar a sustentação da aeronave. O ruído é causado pelo turbilhonamento de ar e pelas flutuações de pressão nesses pontos. Na fase de pouso, quando o ruído aerodinâmico é mais relevante, é necessário que o avião mude a configuração de seus *flaps* e *slats* para obter uma sustentação estável a uma baixa velocidade necessária para essa operação, criando, assim, turbulência nas asas. Estes componentes podem ser vistos na figura 12.

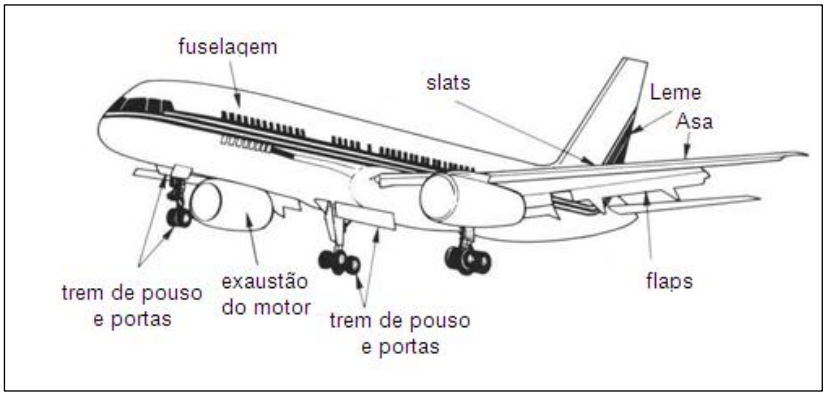


Figura 12: Principais fontes de ruído aerodinâmico de um avião.

Para superar o arrasto, a maioria de aviões tem algum tipo de propulsão para gerar uma força chamada empuxo. A força de empuxo é gerada pelos motores das hélices ou pelas turbinas do avião, e sua intensidade depende de muitos fatores associados com o sistema de propulsão, tais como o tipo de motor, o número de motores, o ajuste da aceleração, a hélice e a velocidade. É no motor que estão situadas as grandes fontes de ruído. O sistema propulsor tem como principais componentes geradores de ruído a turbina, o compressor e o núcleo de combustão, sendo que a maior contribuição provém da exaustão do gás em altíssima velocidade. O ruído emitido pela decolagem ou aterrissagem se altera no tempo e no espaço, e depende principalmente do peso da aeronave, dos ângulos de subida ou descida e configurações de potências.

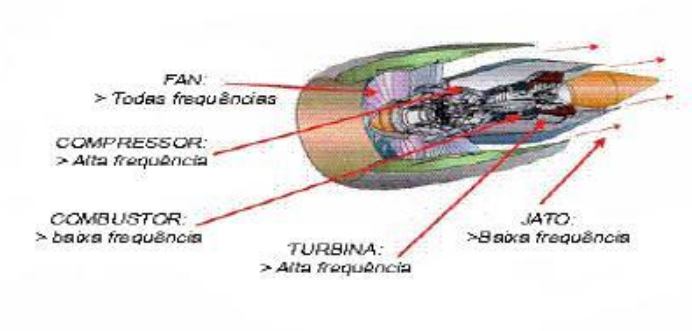


Figura 13: Contribuição típica dos componentes de uma turbina.

4.2. A evolução dos aviões a jato

Tanto o caráter como o nível sonoro (magnitude) do ruído dos aviões a jato mudou ao longo do tempo à medida que novas tecnologias de motores foram desenvolvidas e introduzidas. Os antigos motores turbo jato ou a jato puro, produziam um ruído muito alto e no espectro de alta frequência. A nova geração, motores a jato fan (motores com *by-pass*) – em que um volume substancial de ar que entra no motor é desviado da câmara de combustão – causa um ruído que é comparativamente menor, tanto em magnitude como em frequência. Mesmo entre os motores a jato fan, os níveis de ruído foram consideravelmente reduzidos com os modelos mais recentes em comparação com os primeiros tipos. Desde a introdução das aeronaves a jato, no final da década de 50 e início da década de 60 até os dias atuais, houve uma redução média de 20 dB no nível da emissão de ruído pela turbina na decolagem, como pode ser observado na figura 14. O resultado prático é que o tamanho da população afetada cai drasticamente, principalmente nas cabeceiras onde a emissão é mais crítica, como pode ser constatado a partir da diminuição da área afetada na figura 15.

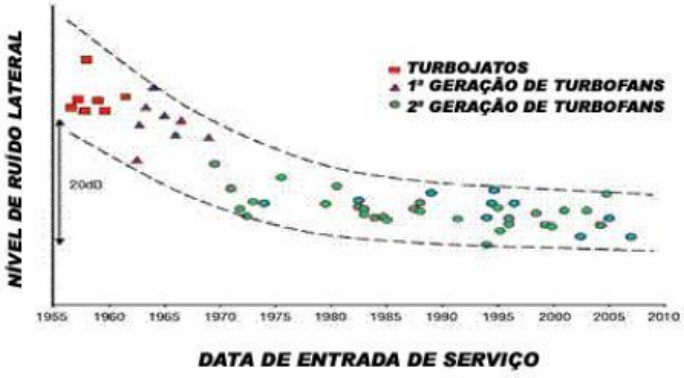


Figura 14: Nível de redução de ruído (Adaptado de ICAO, Environmental Report, 2007).

Figura 15: Comparação entre as áreas afetadas (Adaptado de ICAO, Environmental Report, 2007).

4.2.1. Motor Turbo-jato

Os motores turbo jato também são denominados motores a jato puro pelo fato de sua força propulsiva ser conseguida exclusivamente pelos gases expelidos, a alta velocidade, pelo tubo de escapamento, como mostra a figura 16.

O ar é sugado por um compressor rotativo e é comprimido, em sucessivos estágios, para maiores pressões antes de passar pela câmara de combustão. O combustível é misturado ao ar comprimido e é queimado na câmara de combustão com o auxílio de ignitores. O processo de combustão eleva significativamente a temperatura do gás, fazendo com que os gases expelidos expandam-se através da turbina, na qual a força é extraída para movimentar o compressor. Embora este processo da expansão reduza a temperatura e a pressão do gás na saída da turbina, ambas estão ainda muito acima das condições ambientais. O fluxo de gás saído da turbina expande-se até a pressão ambiental através do bocal de propulsão, produzindo um jato de alta velocidade na saída do motor. Se a velocidade do jato exceder a velocidade de voo do avião, existirá uma pressão de aceleração sobre a fuselagem.

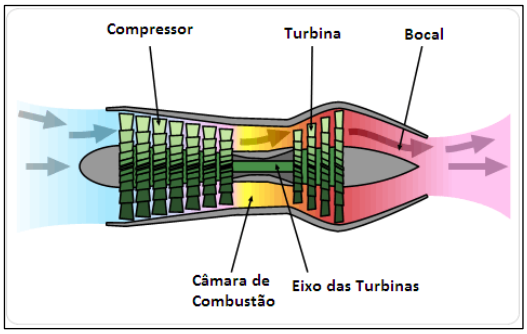


Figura 16: Motor tipo Turbo Jato.

Os motores turbo jato desenvolvem boa força propulsiva, porém, em baixa altitude e velocidade, consomem quantidade demasiada de combustível. São motores muito barulhentos, devido ao choque do ar quente dos gases de escapamento com o ar frio da atmosfera, provocando ruídos de grande intensidade em altas frequências.

4.2.2. Motor Turbo-fan

Grande parte dos aviões comerciais atuais é equipada com motores turbo-fans, nos quais um compressor de baixa pressão age como um ventilador, levando ar não apenas para o centro do motor, mas também para um duto secundário, como mostra a figura 17. O fluxo de ar secundário passar por um "bocal frio" ou é misturado com gases de exaustão à baixa pressão da turbina antes de se expandir com os gases do fluxo principal. A este processo dá-se o nome de *by-pass*.

O *by-pass* permite uma grande redução do nível de ruído, pois, ao unir os dois fluxos de ar no bocal, reduz a temperatura do fluxo total de ar, que está mais próxima da temperatura do ar externo à aeronave, proporcionando desta forma um menor choque térmico entre os gases de combustão e o ar frio da atmosfera, que é uma grande fonte de ruído. Além disso, o *by-pass* permite um aumento da eficiência do motor, uma vez que, para uma mesma quantidade de combustível, o empuxo resultante é maior que o obtido para um motor do tipo jato puro.

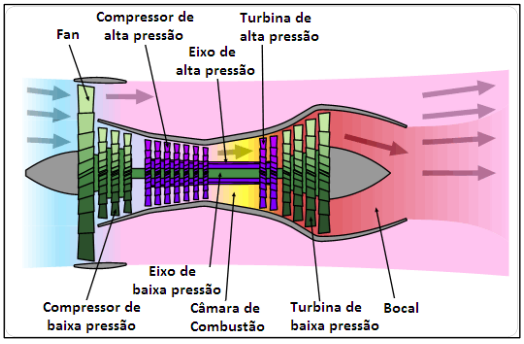


Figura 17: Motor do tipo Turbofan.

Com a adoção dos motores turbo-fan, foi possível melhorar o desempenho do anterior, ou seja, minimizar o gasto de combustível ao mesmo tempo em que maximizava a altura e velocidade atingidas pela aeronave.

4.3. Classificação de aeronaves

Ciente do fato de que o ruído aeronáutico poderia se tornar o maior empecilho para o crescimento do tráfego aéreo, gerando restrições ao sistema, a ICAO promoveu, em 1969, um encontro especial sobre ruído aeronáutico, que teve como objetivo desenvolver métodos para controlar a emissão do ruído por aeronaves. Dois anos depois, a ICAO publicou o Anexo 16, contendo as primeiras normas para a certificação de aeronaves em função do ruído emitido.

Como já dito anteriormente, o incômodo causado pelo ruído é percebido de maneiras diferentes devido a diversos fatores, incluindo preferências individuais, horário e quantidade de energia. Particularmente com relação ao ruído aeronáutico, este está relacionado também à tecnologia das aeronaves. A ICAO, percebendo este avanço na tecnologia dos propulsores a jato, estabeleceu no seu Anexo 16, que trata dos assuntos ambientais, uma classificação para as aeronaves em função da sua certificação ao ruído como se segue:

a) NNC: são aeronaves referidas como "*non-noise certificate*", fabricadas antes da existência da norma de certificação quanto ao ruído. São equipados com a primeira geração de motores, os jatos puros. São consideradas altamente ruidosas. Exemplo: B 707, DC-08, Caravelle, Concorde, entre outras.
b) Capítulo 2: são aeronaves cujo certificado de aeronavegabilidade do protótipo foi aceito antes de outubro de 1977. Estas aeronaves geralmente são equipadas com a segunda geração de motores à reação e consideradas ainda como ruidosas. Exemplo: B 727-200, B737-200, B 747-100, DC-09, entre outras.
c) Capítulo 3: são aeronaves cujo certificado de aeronavegabilidade do protótipo foi aceito após outubro de 1977 e antes de 2006. Tratam-se de aeronaves mais modernas equipadas com a terceira geração de motores à reação utilizando turbo fan, e consideradas mediamente ruidosas. Exemplo: A 320, A 330, B 767, B 777, entre outras.
d) CAPÍTULO 4: são as aeronaves mais recentes, utilizando propulsores de ultima geração. Os requisitos de emissão de ruído são mais restritivos, sendo a soma de pontos de homologação menor que os limites das aeronaves Capítulo 3 e são consideradas como sendo pouco ruidosas. Exemplo: A 380, B 787.

A tendência mundial, a longo prazo, é a redução na fonte do nível de ruído. A figura 18 representa, em forma de gráfico, o nível sonoro para cada classificação de aeronave, em função de sua massa.

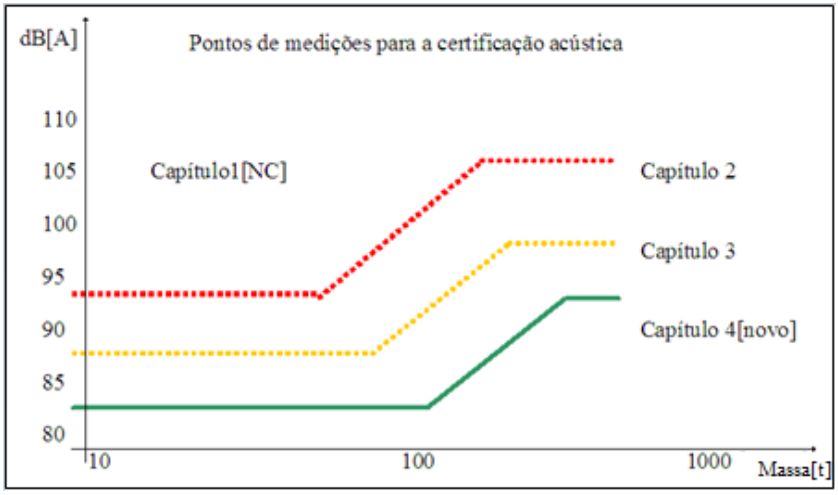


Figura 18: Gráfico representando o nível de ruído das aeronaves classificadas por capítulos versus massa máxima em toneladas na decolagem.

5. NORMAS E LEGISLAÇÃO

De acordo com a resolução CONAMA nº1 de 8 de março de 1990 (principal referência de legislação sobre ruído em comunidade) que remete a norma ABNT NBR 10151 temos que:

I - A emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política, obedecerá, no interesse da saúde, do sossego público, aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidos nesta Resolução.

II - São prejudiciais à saúde e ao sossego público, para os fins do item anterior aos ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela norma NBR 10.151 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

5.1. Norma NBR 10151- "Acústica -Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento"

A NBR 10.151 baseia-se na avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto acústico da comunidade. Esta norma fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, estabelece condições físicas para a medição de ruído, aplica correções nos níveis medidos (de acordo com a duração, característica espectral e fator de pico) e faz uma comparação dos níveis corrigidos, com um critério que leva em conta os vários fatores ambientais. A NBR 10.151 também estabelece os procedimentos de medição e avaliação da acústica e os limites de níveis sonoros em ambientes externos.

O método de avaliação envolve as medições do nível de ruído, na escala de compensação A, em decibel (comumente chamado dB (A)).

A NBR 10151 estabelece instrumentos para avaliar a influência sonora de atividades sobre as cidades, já que fornece os níveis de ruído recomendáveis para áreas urbanas de acordo com o período do dia (noturno de 22:00 às 7:00 para dias de semana e 22:00 às 9:00 para domingos e feriados) e com as características da zona em questão, assim, a NBR10151 constitui-se um dos principais instrumentos para gestão e uso do solo.

A tabela 2 apresenta os níveis de ruído para cinco tipos de áreas urbanas e um tipo de área rural, totalizando seis áreas com usos e ocupações do solo distintos, definidas pela própria NBR 10.151.

Tabela 2: Critério de Avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A).

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

Segundo a NBR 10151, o tempo de medição deve ser escolhido de forma a permitir a caracterização do ruído em questão. Desta forma justifica, no caso do ruído aeronáutico, a adoção do tempo de avaliação para o período diurno associado à métrica LAeqD e o período noturno associado à métrica LAeqN.

5.2. Norma NBR 10152- "Níveis de ruído para conforto acústico"

Esta Norma fixa os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos.

Na tabela 3 estão listados os níveis para cada um dos ambientes mencionado na norma. Nesta tabela, o valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade. Os níveis superiores aos estabelecidos nesta tabela são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde. Enquanto a ABNT NBR 10.151 é utilizada para ambientes externos, a ABNT NBR 10.152 é dedicada a ambientes internos.

Tabela 3: Critério de Avaliação para ambientes internos, em dB (A).

Locais	Conforto – Aceitabilidade dB(A)
Hospitais	
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos.	35 – 45
Laboratórios, Áreas para uso do público	40 – 50
Serviços	45 – 55
Escolas	
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	**35 – 45**
Salas de aula, Laboratórios	**40 – 50**
Circulação	**45 – 55**
Hotéis	
Apartamentos	35 – 45
Restaurantes, Salas de estar	40 – 50
Portaria, Recepção, Circulação	45 – 55
Residências	
Dormitórios	35 – 45
Salas de estar	40 – 50
Auditórios	
Salas de concertos, Teatros	30 – 40
Salas de conferência, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 – 45
Restaurantes	40 – 50
Escritórios	
Salas de reunião	30 – 40
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35 – 45
Salas de computadores	45 – 65
Salas de mecanografia	50 – 60
Igrejas e Templos (Cultos meditativos)	40 – 50
Locais para esporte	
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 – 60

5.3. Norma NBR 13.368 – "Ruído gerado por aeronaves – Monitoração"

A norma NBR 13.368 prescreve o método para a monitoração de ruído gerado por aeronaves.

Podemos coletar dois resultados quando aplicamos esta norma. Verificamos a existência do impacto sonoro gerado pelo ruído aeronáutico (Lra) em relação ao ruído

de fundo (Lrf), e também conseguimos a avaliação do incômodo gerado pelas operações aeroportuárias. O tempo de medição dos níveis sonoros para a análise é de uma hora.

Pelas tabelas abaixo conseguimos enquadrar nossos resultados:

A tabela 4 faz referência à relação entre o ruído de fundo e o ruído aeronáutico. Já na tabela 5 conseguimos avaliar o incômodo gerado pelas operações aeroportuárias.

Tabela 4: Verificação da existência do impacto sonoro gerado pelo ruído aeronáutico em relação ao ruído de fundo.

Impacto Sonoro	Lra - Lrf [dB]
Desprezível	<3
Significativo	>3

Tabela 5: Incômodo gerado pelas operações aeroportuárias.

Reclamações Esperadas	Diurno [dB]	Noturno [dB]
Sem reações ou queixas esporádicas	Leq<65	Leq<55
Queixas generalizadas – Possíveis ações da comunidade	75>Leq>65	65>Leq>55
Ações comunitárias rigorosas	Leq>75	Leq>65

5.4. RBAC Nº 161

Este regulamento estabelece, para os operadores de aeródromos, os requisitos de elaboração e aplicação do Plano de Zoneamento de Ruído (PZR), e define critérios técnicos aplicáveis na análise de questões relacionadas ao ruído aeronáutico na aviação civil.

O PZR, por sua vez, é um documento elaborado nos termos do RBAC, que tem como objetivo representar geograficamente a área de impacto do ruído aeronáutico decorrente das operações nos aeródromos, e, aliado ao ordenamento adequado das atividades situadas nessas áreas, ser o instrumento que possibilita preservar o desenvolvimento dos aeródromos em harmonia com as comunidades localizadas em seu entorno.

O PZR é composto pelas Curvas de Ruído e pelas compatibilizações e incompatibilizações ao uso do solo estabelecidas para as áreas delimitadas por essas curvas, as quais representam níveis iguais de exposição ao ruído.

Todo aeródromo civil ou compartilhado deve ter, obrigatoriamente, um PZR que será cadastrado pela ANAC.

O RBAC nº 161 também estabelece que, para aeródromos com média anual de movimento de aeronaves dos últimos três anos superior a 7000, deve ser aplicado um Plano Específico de Zoneamento de Ruído (PEZR). Para os demais aeródromos, é facultado ao operador escolher o tipo de plano a ser elaborado, o Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR) ou o PEZR. Porém, a ANAC poderá a qualquer momento solicitar um PEZR a qualquer aeródromo.

5.4.1. Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR)

O PBZR é um Plano de Zoneamento que possui curvas de ruído de 75 e 65 com formas geométricas simplificadas cujas configurações e dimensões são pré-determinadas, como mostra a figura 19.

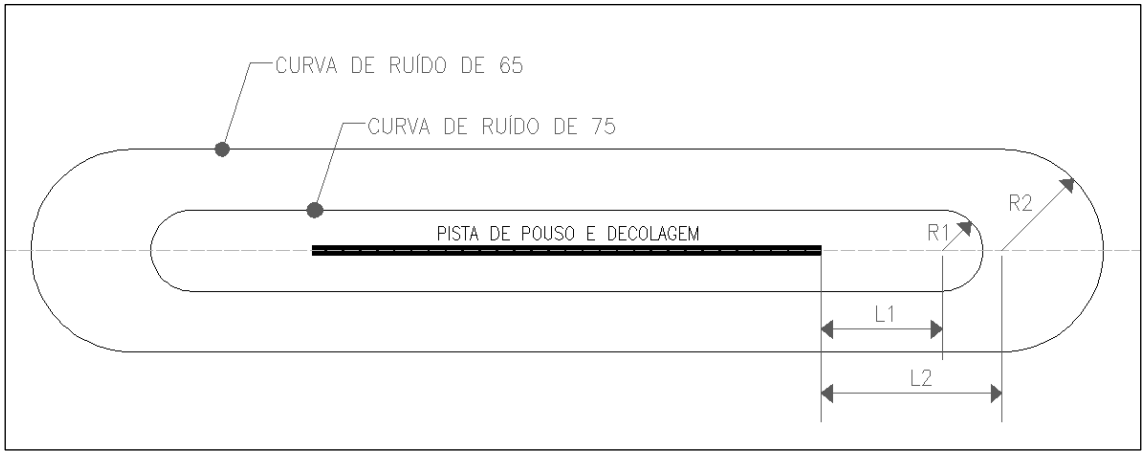


Figura 19: Curva do Plano Básico de Zoneamento Aeroportuário de acordo com a RBAC nº161.

Tabela 6: Legenda.

Legenda	
L1	Distância horizontal, medida sobre o prolongamento do eixo da pista, entre a cabeceira e o centro do semicírculo de raio R1
L2	Distância horizontal, medida sobre o prolongamento do eixo da pista, entre a cabeceira e o centro do semicírculo de raio R2
R1	Raio do semicírculo da curva de ruído de 75 com centro sobre o prolongamento do eixo da pista
R2	Raio do semicírculo da curva de ruído de 65 com centro sobre o prolongamento do eixo da pista

As curvas de ruído de um PBZR serão obtidas por meio do enquadramento de cada pista de pouso e decolagem do aeródromo em uma das quatro classes especificadas na Tabela 7, considerando o número de movimentos de aeronaves no ano anterior.

Tabela 7: Valores das constantes para o cálculo do PZR.

Movimento anual	Classe	L1	R1	L2	R2
Até 400	1	70	30	90	60
De 401 a 2.000	2	240	60	440	160
De 2.001 a 4.000	3	400	100	600	300
De 4.001 a 7.000	4	550	160	700	500

A elaboração de um PBZR para um aeródromo com duas ou mais pistas, sejam elas existentes ou planejadas, considerará a composição das curvas de ruído referentes a cada pista, de acordo com a Figura 20.

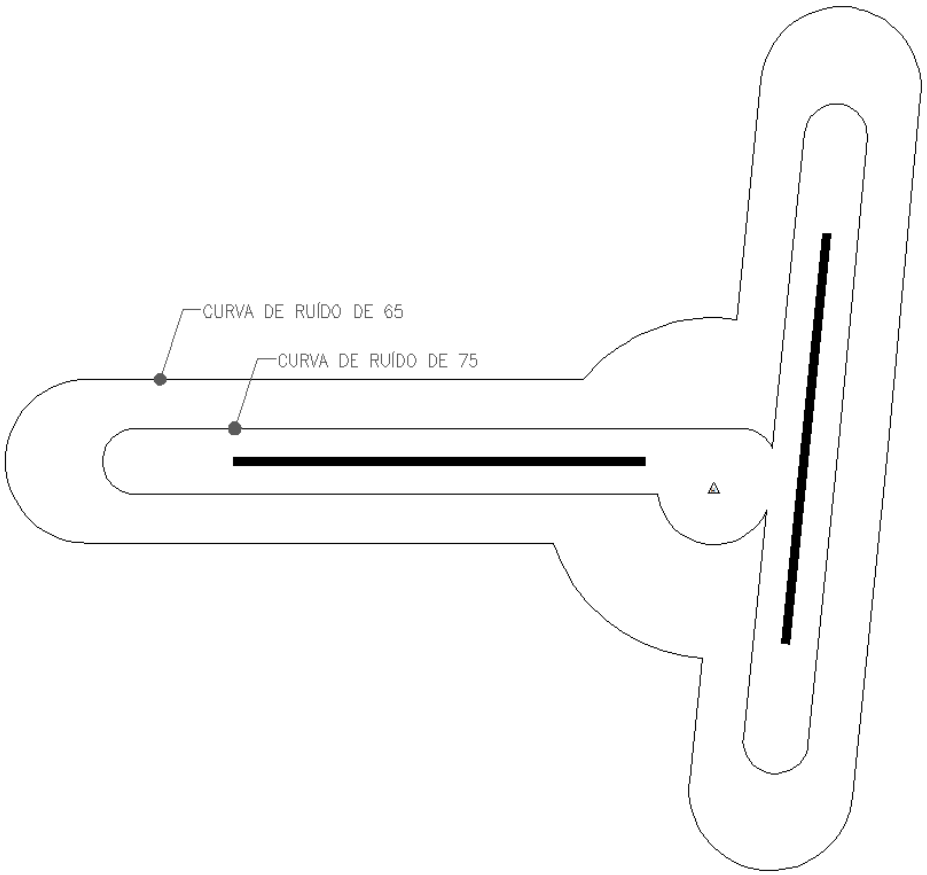


Figura 20 : Composição de curvas de ruído para aeródromos com mais de uma pista e heliponto.

5.4.2. Plano Específico de Zoneamento de Ruído (PEZR)

O PEZR é um Plano de Zoneamento composto pelas curvas de ruído de 85, 80, 75, 70 e 65 e elaborado nos termos do RBAC nº 161, no qual estas cinco curvas são calculadas por meio de programa computacional que utilize metodologia matemática apropriada para a geração de curvas, na métrica DNL.

O operador do aeródromo deve calcular curvas de ruído para o sistema de pistas de pouso e decolagem previsto no planejamento para a expansão da infraestrutura aeroportuária, considerando a estimativa do número de movimentos e tipos de aeronaves, ao final do seu horizonte de planejamento.

O RBAC nº 161 também estabelece que o operador deve, para elaboração ou revisão do PEZR, atuar em cooperação com os município(s) abrangido(s) pelo Plano, assegurando o desenvolvimento dos estudos de forma integrada com os demais órgãos interessados.

5.4.3. Compatibilidade do uso do solo

No Plano de Zoneamento de ruído, seja Básico ou Específico, devem constar os usos do solo compatíveis ou incompatíveis para as áreas por ele abrangidas. Será exposta abaixo na tabela 8 o uso do solo compatível e incompatível para áreas abrangidas por PEZR.

Tabela 8: Uso do solo.

Uso do solo	Nível de Ruído médio dia-noite (dB)					
	Abaixo de 65	**65-70**	**70-75**	**75-80**	**80-85**	**Acima de 65**
Residencial						
Residências uni e multifamiliares	S	N (1)	N (1)	N	N	N
Alojamentos temporários	S	N(1)	N (1)	N (1)	N	N
Locais de permanência prolongada	S	N (1)	N (1)	N	N	N
Usos Públicos						
Educacional	S	N (1)	N (1)	N	N	N
Saúde	S	25	30	N	N	N
Igrejas, auditórios e salas de concerto	S	25	30	N	N	N
Serviços governamentais	S	S	25	30	N	N
Transportes	S	S	25	30	35	35
Estacionamentos	S	S	25	30	35	N

Usos comerciais e serviços						
Escritórios, negócios e profissional liberal	S	S	25	30	N	N
Comércio atacadista	S	S	25	30	35	N
Comércio varejista	S	S	25	30	N	N
Serviços de utilidade pública	S	S	25	30	35	N
Serviços de comunicação	S	S	25	30	N	N
Usos industrial e de produção						
Indústrias em geral	S	S	25	30	35	N
Indústria de precisão	S	S	25	30	N	N
Agricultura	S	S (2)	S (3)	S (4)	S (4)	S (4)
Criação de animais	S	S (2)	S (3)	N	N	N
Mineração e pesca	S	S	S	S	S	S
Usos Recreacionais						
Estádios de esportes ao ar livre, ginásios	S	S	S	N	N	N
Conchas acústicas ao ar livre e anfiteatros	S	N	N	N	N	N
Exposições agripecuárias e zoológicos	S	S	N	N	N	N
Parques, parques de diversão, acampamentos ou empreendimentos aquivalentes	S	S	S	N	N	N
Campos de golf, hípicas e parques aquáticos	S	S	25	30	N	N

Onde:

S (Sim): uso do solo e edificações relacionadas compatíveis sem restrições;

N (Não): uso do solo e edificações relacionadas não compatíveis;

25, 30, 35: uso do solo e edificações relacionadas geralmente compatíveis.

Medidas para atingir uma redução de nível de ruído – RR de 25, 30 ou 35 dB devem ser incorporadas no projeto/construção das edificações onde houver permanência prolongada de pessoas:

(1): Sempre que os órgãos determinarem que os usos devem ser permitidos, devem ser adotadas medidas para atingir uma RR de pelo menos 25 dB;

(2): Edificações residenciais requerem uma RR de 25 dB;

(3): Edificações residenciais requerem uma RR de 30 dB;

(4): Edificações residenciais não são compatíveis.

Após o registro do PZR na ANAC, o operador de aeródromo deve buscar ações de compatibilização do uso do solo com o(s) município(s) abrangido(s) pelas curvas de ruído, bem como com a comunidade de entorno, notificando a ANAC, os municípios e os órgãos interessados sempre que forem identificados usos incompatíveis com os PZR aprovados.

5.5.O papel da ICAO e a Abordagem Equilibrada

5.5.1. O papel da ICAO

Em 01 de novembro de 1944, delegados de 52 nações reuniram-se para estabelecer uma estrutura legal capaz de promover o desenvolvimento da aviação mundial. Logo após essa reunião, em 07 de dezembro de 1944, foi assinada a Convenção de Aviação Civil Internacional, conhecida como Convenção de Chicago, quando oficialmente iniciou a *International Civil Aviation Organization* (ICAO).

A ICAO tem como objetivo o desenvolvimento de princípios e técnicas de navegação aérea internacional, a organização e o progresso dos transportes aéreos, de modo a favorecer a segurança, a eficiência, a economia e o desenvolvimento dos serviços aéreos. Desenvolve também um trabalho importante no campo da assistência técnica, procurando organizar e dar maior eficiência aos serviços de infraestrutura aeronáutica nos países em desenvolvimento. Essa assistência é prestada por meio de equipes de especialistas, enviados aos diversos países para organizar e orientar a operação dos serviços técnicos indispensáveis à aviação civil.

Atualmente, a sede da ICAO está em Montreal, no Canadá, e possui o Brasil como um de seus membros.

5.5.2. A Abordagem Equilibrada

Em 2001, a Assembleia da ICAO, aprovou o conceito de uma "abordagem equilibrada" da gestão do ruído das aeronaves (Anexo C da Resolução da Assembleia A35-5). A Assembleia em 2007 reafirmou a "abordagem equilibrada" e exortou os Estados a reconhecer o papel da ICAO em lidar com os problemas do ruído das aeronaves (Anexo C da Resolução da Assembleia A36-22).

A 33ª Assembleia da ICAO adotou a Resolução A33/7, que define o conceito de "abordagem equilibrada" da gestão do ruído, estabelecendo assim um método aplicável ao problema das emissões sonoras de aeronaves, incluindo orientações internacionais para a introdução de restrições de operação específicas a cada aeroporto.

A Abordagem Equilibrada tem como objetivos:

- Estabelecer regras aplicáveis a permitir a introdução de restrições de operações de uma forma coerente para os aeroportos, limitando ou reduzindo o número de pessoas afetadas pelos efeitos adversos do ruído;

- Criar uma situação que satisfaça as demandas do mercado interno, promover um desenvolvimento da capacidade aeroportuária que respeite o meio ambiente;
- Favorecer a realização de objetivos de redução de ruído específicos para cada aeroporto;
- Permitir a escolha entre as medidas possíveis para obter o máximo benefício para o ambiente ao menor custo possível.

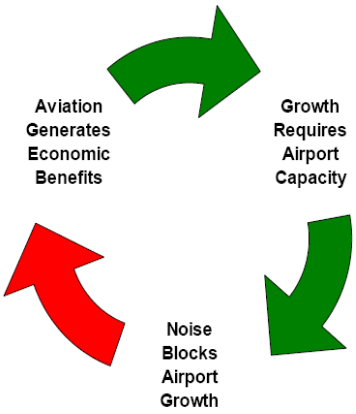


Figura 21: Dilemas a serem tratados através de uma Abordagem Equilibrada.

O conceito de "abordagem equilibrada" da gestão das emissões sonoras das aeronaves inclui quatro elementos essenciais:

- Redução na fonte do ruído gerado por aeronaves,
- Medidas de ordenamento e gestão do território,
- Procedimentos operacionais de redução do ruído
- Restrições de operação.

Estes elementos serão detalhados posteriormente, com base na publicação "*Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management*", desenvolvida pela ICAO, publicado em 2004 (Doc 9829 AN/451) e revisado em 2007.

Somente os Aeroportos com problemas de ruído já bem documentados são habilitados a tomar as medidas necessárias. Para que elas sejam realizadas, existem atores envolvidos na abordagem equilibrada, e entre eles, estão as indústrias aeronáuticas, a Agência Nacional de Aviação Civil (Anac), a Infraero (administração dos aeroportos), as companhias aéreas, a prefeitura e a comunidade. Cada ator tem sua

forma de participar da abordagem equilibrada, e esta depende da colaboração entre esses atores.

5.5.2.1.Redução na fonte de ruído gerado por aeronaves

Grande parte do esforço da ICAO para tratar o ruído das aeronaves nos últimos 30 anos tem sido destinada a reduzir o ruído na fonte. Aviões e helicópteros construídos hoje são obrigados a cumprir as normas de certificação de ruído adotadas pelo Conselho da ICAO. Elas estão contidas no Anexo 16 - Proteção Ambiental, Volume I - Ruído das Aeronaves da Convenção sobre Aviação Civil Internacional.

A primeira geração de aviões a jato não estava coberta pelo anexo 16, e estes são, consequentemente, referidos como *non-noise certificated* (NNC) aviões. Os padrões iniciais para aeronaves a jato projetados antes de 1977 foram incluídos no Capítulo 2 do Anexo 16. Posteriormente, aeronaves mais novas eram obrigadas a cumprir as normas mais rigorosas contidas no capítulo 3 do anexo. Em junho de 2001, com base em recomendações feitas pela quinta reunião da Comissão de Proteção Ambiental da Aviação (CAEP / 5), o Conselho adotou novas normas sobre ruído, o Capítulo 4, mais rigorosas do que as contidas no Capítulo 3. A partir de 1 Janeiro de 2006, o novo padrão tornou-se aplicável a aviões recém certificados e para aviões do Capítulo 3 é solicitada a recertificação para o Capítulo 4 .

Importantes progressos na redução do ruído de origem tem sido alcançados com a introdução de novas tecnologias.

Não obstante, a redução do ruído na fonte é apenas uma parte da solução. Para proteger e maximizar os benefícios, todos os elementos da abordagem equilibrada devem ser considerados.

5.5.2.2. Medidas de ordenamento e gestão de território

Planejamento e gestão do uso do território são um meio eficaz para garantir que as atividades realizadas próximas dos aeroportos são compatíveis com a aviação. Seu principal objetivo é minimizar o tamanho da população afetada pelo ruído dos aviões através da introdução de ordenamento do território em torno dos aeroportos. O ordenamento e a gestão compatíveis do território também são um instrumento vital para assegurar que os ganhos obtidos pela redução de ruído das mais recentes gerações de

aeronaves não são compensadas por um maior desenvolvimento residencial em torno dos aeroportos.

Tanto o número de pessoas como as suas atividades são fatores importantes a serem considerados quando se usa esse tipo de medida. Em geral, escolas, hospitais, as instituições religiosas e as bibliotecas são atividades consideradas incompatíveis com o ruído aeroportuário e por isso devem ser evitadas nas proximidades dos aeroportos.

O planejamento de uso do solo e as medidas de gerenciamento incluem a divisão em zonas de ruído, medidas de mitigação como programas de isolamento, realocação do ruído, instrumentos financeiros como estímulos fiscais e taxas relacionadas aos ruídos aeroportuários.

As orientações da ICAO sobre este assunto estão contidas no Anexo 16, Volume I, Parte IV e no Manual de Planejamento do Aeroporto, Parte 2 - Uso do Solo e Controle Ambiental (Doc 9184). O manual fornece orientações sobre o uso de várias ferramentas para a minimização, controle ou prevenção do impacto do ruído das aeronaves nas proximidades de aeroportos e descreve as práticas adotadas para o planejamento e gestão do uso da terra por alguns Estados.

5.5.2.3. Procedimentos operacionais de redução de ruído

Procedimentos operacionais de redução permitem que a redução do ruído durante as operações de aeronaves seja alcançada a um custo relativamente baixo, pois seriam adaptações dos procedimentos operacionais vigentes. Existem vários métodos, incluindo adoção de pistas e rotas preferenciais, bem como os procedimentos de redução do ruído para a decolagem, aproximação e aterrissagem. De fato, os procedimentos de mitigação de ruídos são usados para redistribuir espacialmente o ruído produzido durante o voo para aliviar o impacto do ruído nas áreas mais sensíveis. Há várias medidas operacionais que podem ser adotadas, como os procedimentos especiais de ruído durante a decolagem e o pouso, reduzindo assim o número de pessoas expostas ao ruído em zonas específicas em torno dos aeroportos. A adequação de qualquer dessas medidas depende do layout físico do aeroporto e de seus arredores, mas, em todos os casos, o procedimento deve dar prioridade a questões de segurança.

Procedimentos de redução do ruído da ICAO estão contidos no Anexo 16, Volume I, Parte V e Procedimentos para Serviços de Navegação Aérea - Operações de Aeronaves (PANS-OPS, Doc 8168), Volume I - Procedimentos de voo, parte V. Com

base nas recomendações feitas pelo CAEP / 5, os novos procedimentos de redução de ruído na decolagem tornaram-se aplicável em novembro de 2001.

5.5.2.4. Restrições de operações

As restrições de operações referem-se a quaisquer ações que limitem ou reduzam o acesso de uma aeronave em um aeroporto, podendo até mesmo limitar o acesso de todas as aeronaves durante certa parte do dia, ou proibindo certos movimentos de determinadas aeronaves em um aeroporto.

Preocupações com o ruído levaram alguns Estados, principalmente os países desenvolvidos, a considerar a proibição da operação de certas aeronaves barulhentas em aeroportos sensíveis ao ruído. Na década de 1980, o foco foi em aeronaves NNC. Na década de 1990, passou-se a aeronaves do Capítulo 2. Hoje, ele mudou-se para o mais barulhento, o Capítulo 3 de aeronaves.

No entanto, restrições de operação deste tipo podem ter implicações econômicas significativas para as companhias aéreas interessadas, tanto aquelas baseadas nos Estados que tomam as medidas e aquelas localizadas em outros Estados (particularmente os países em desenvolvimento) que operam de e para os aeroportos afetados. Em cada ocasião, a Assembleia da ICAO conseguiu chegar a um acordo - contido em uma resolução da Assembleia - que representava um cuidadoso equilíbrio entre os interesses dos Estados desenvolvidos e em desenvolvimento e levou em conta os interesses da indústria da aviação, aeroportos e interesses ambientais.

6. INM (INTEGRATED NOISE MODEL) COMO FERRAMENTA COMPUTACIONAL

O INM (*Integrated Noise Model*) é um software que avalia os impactos de ruído das aeronaves nas imediações dos aeroportos. Ele foi desenvolvido pela FAA (*Federal Aviation Admnistration*), e desde então é a metodologia padrão para avaliações de ruído em mais de 1000 organizações (entre elas a INFRAERO) de mais de 65 países, com sua base de usuários aumentando a cada ano.

O software possui um banco de dados muito vasto, obtido de testes de homologação e certificação de aeronaves. Essa disponibilidade de dados confiáveis sobre o ruído gerado por diferentes aeronaves nos diferentes processos de voo nas proximidades do aeroporto é fundamental para a obtenção de valores válidos do impacto sonoro que as aeronaves ocasionam.

Para seus cálculos, ele leva em consideração os seguintes fatores: peso, a potência do motor, a reversão do fluxo dos motores, a rolagem dos pneus durante a aterrissagem e o ruído emitido durante os testes de certificação. Também considera as condições meteorológicas (velocidade do vento, umidade do ar, variação da temperatura com a altitude, assim como a natureza do solo).

6.1. Aplicações

O INM tem muitas aplicações, tais como:

- Avaliar os impactos de ruído das aeronaves em torno de um determinado aeroporto ou heliporto para uma situação atual;
- Avaliar as mudanças em termos de impacto de ruído resultante da introdução de pistas novas ou ampliadas ou mudanças nas configurações de pistas;
- Avaliar mudanças no impacto do ruído resultantes de uma nova demanda de tráfego e mix de aeronaves;
- Avaliar os impactos de ruído devido a introdução de novos procedimentos operacionais;
- Avaliar os impactos de ruído de operações de aeronaves em torno de pontos determinados.

O programa foi utilizado neste trabalho com a finalidade de gerar curvas isofônicas que unem pontos de valores de níveis de ruído especificados no entorno do aeroporto de Guarulhos, que em seguida foram sobrepostas ao mapa da região, e também para avaliar o nível de ruído em receptores críticos, chamados pela ferramenta *location points*.

6.2. Dados de entrada

O processo de cálculo do ruído produzido requer informações sobre o caso a ser estudado.

6.2.1. Dados físicos do aeroporto

- Latitude e longitude do ponto de referência aeroporto em graus;
- Posições das cabeceiras das pistas, em coordenadas cartesianas (x, y) em relação à referência ou em latitude e longitude (em graus);
- Largura das pistas;
- Elevação do Aeroporto.

Estas informações são obtidas a partir das cartas ADC (do inglês *Airport Display Chart*).

6.2.2. Dados ambientais

- Temperatura média anual do aeroporto;
- Média anual da umidade relativa do ar (em porcentagem);
- Média anual da pressão barométrica.

Estes dados devem ser obtidos a partir de medições.

6.2.3. Dados sobre as aeronaves

- 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.

6.2.4. Dados sobre a operação

- Tipo de operação: aproximação, partida, taxiamento ou teste de motores;

- Número de operações de voo para cada um dos períodos de tempo (diurno e noturno) durante um dia médio anual;

Estes dados devem ser obtidos mediante tratamento de dados da planilha do Hotran.

- Para cada operação de voo, a trajetória de voo tridimensional da aeronave, que no programa se subdivide em:
  - Rotas de pouso e decolagem, bidimensionais (projeção da trajetória da aeronave sobre o plano horizontal) e compostas por uma série de segmentos retos ou circulares de determinadas características;
  - Procedimentos de pouso de decolagem, que compõe a terceira dimensão da trajetória.

Estes dados devem ser obtidos a partir das cartas IAC (*Instrument Approach Chart*) e SID (*Standard Instrument Departure*).

Além disso, são necessários:

- O percentual de utilização de cada cabeceira;
- Percentual de utilização das rotas.

Para este trabalho, estes dados foram obtidos no banco de dados do GERA (Grupo de Estudos em Ruído Aeroportuário).

6.3.Dados de saída

O programa INM fornece como saída, as curvas de saída em diversas métricas. O programa possui 17 métricas pré-definidas, que podem ser utilizadas com filtro A e C. As principais são:

- DNL: nível ponderado dia-noite;
- CNEL: nível equivalente de ruído comunitário;
- LAeq: nível sonoro equivalente (24 horas);
- LAeqD: nível sonoro equivalente diurno (7h – 22h);
- LAeqN: nível sonoro equivalente noturno (22h – 7h);
- SEL: nível de exposição sonora;
- L_{Amax}: nível sonoro máximo ponderado no filtro A;
- TALA: tempo em que foi superado um limiar.

O programa também permite que sejam adicionadas novas métricas pelo usuário. Para este trabalho, a fim de obter um maior detalhamento do impacto ambiental sonoro

causado pelos movimentos das aeronaves durante um dia, também foi utilizada a métrica LAeq1h, adicionada manualmente.

O INM também possibilita que sejam calculados os níveis sonoros em pontos específicos que mereçam atenção especial, como escolas, universidades e hospitais, também nas métricas expostas acima.

6.4. Cálculos

O INM utiliza a interpolação de dados utilizando o banco de dados NPD (*Noise, Power, Distance*), que envolve um conjunto de dados com informações sobre o nível sonoro (dB) para várias combinações de distâncias entre observador/avião e motor de aviões com empuxo corrigido. Os dados NPD são obtidos em medições de ruído de aeronaves durante as operações de teste de certificação. O cálculo dos níveis sonoros é executado sobre uma grade de pontos que podem ser usados durante a elaboração de curvas de ruído sobre os mapas da região em questão, para analisar o impacto do ruído sobre uma região habitada, onde também se desenvolvem atividades sensíveis ao ruído.

Os algoritmos de cálculo de ruído estão baseados em documentos publicados pela SAE (*Socienty of Automotive Engenieers*) – *Aviation Noise Comittee*, um comitê internacional composto por instituições de ensino, empresas de engenharia, fabricantes de aeronaves e agências reguladoras governamentais, e incluem o SAE-AIR-1845 (1986) "*Procedure for the Calculation os Airplane Noise in the Vicinity of Airports*", o SAE-AIR-5662 "*Method for Predicting Lateral Attenuation of Airplane Noise*" e o SAE-ARP-866ª "*Standard Values of Atmospheric Absorption as a Function of Temperature and Humidity*". Os módulos computacionais também estão em conformidade com outras entidades internacionais, como a ICAO e a ECAC (*European Civil Aviation Conference*), utilizando documentos como a ICAO Circular 205 "*Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports*" e o ECAC Doc 29 "*Report on Standard Method of Computing Noise Contours Around Civil Airports*".

O INM é um modelo de avaliação média de ruído, desenvolvido para cálculos estimados em longo prazo, utilizando dados mensais ou anuais de entrada. Por esse motivo, podem ocorrer diferenças entre o que foi estimado e as medições locais.

A versão 7.0d é a versão mais recente do INM. Ele inclui atualizações de banco de dados e correção de problemas de software menores, mas nenhuma nova funcionalidade adicionada em relação ao INM versão 7.0c.

7. ESTUDO DE CASO – DIAGNÓSTICO DO RUÍDO PARA O AEROPORTO DE GUARULHOS

7.1. Aeroporto de Guarulhos

Inaugurado em 20 de janeiro de 1985, o Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos – Governador André Franco Montoro (IATA: GRU, ICAO: SBGR), conhecido popularmente como "Aeroporto de Cumbica", é o principal e o mais movimentado aeroporto do Brasil, localizado no estado de São Paulo, na cidade de Guarulhos, no bairro de Cumbica, distante 25 quilômetros do centro da cidade de São Paulo, principal metrópole que o aeroporto serve.

Segundo o Diagnóstico do Setor Habitacional da Prefeitura de Guarulhos, de 2011, embora a construção do Aeroporto Internacional de São Paulo tenha ocorrido efetivamente a partir dos anos 1980, sua necessidade já havia sido identificada no final dos anos 1940, e após o registro de um movimento excedente da capacidade operacional de passageiros e cargas no Aeroporto de Congonhas, em 1947 iniciou-se um processo de estudos para a implantação de uma nova Base Aérea como forma de políticas voltadas à industrialização do país, motivando a instalação de empresas nacionais e multinacionais, condições imprescindíveis ao desenvolvimento econômico no período.

Com uma área de 14 km², dos quais 5 km² são de área urbanizada, o complexo aeroportuário conta com um sistema de acesso viário próprio. Encontra-se numa posição estratégica em relação a alguns importantes equipamentos logísticos para o transporte de pessoas e mercadorias, estando distante 28 km do Aeroporto de Congonhas, 90 km do Porto de Santos, 110 km do Aeroporto de Viracopos e 413 km do Aeroporto Internacional do Galeão. A Rodovia Helio Smidt se estende por parte do perímetro do aeroporto, tendo ligação com as rodovias Presidente Dutra (BR-116), que fica a 3 km. A figura 24 mostra sua localização. Toda estrutura para passageiros é dividida em quatro terminais (TPS1, TPS2, TPS3 e TPS4) com 260 balcões de check-in.

Sendo um dos principais *hubs* da América do Sul, é o terminal mais movimentado de toda a América Latina, em relação ao transporte de passageiros. Já se tratando do movimento de aeronaves, perde apenas para o Aeroporto Internacional da Cidade do México, localizado na cidade homônima.

No dia 14 de junho de 2012, foi assinado um contrato de concessão entre o Governo Federal e o consórcio *Invepar/Airports Company South Africa* (ACSA) durante o período de 20 anos, pelo valor 16,2 bilhões de reais, o que fez surgir a

Concessionária do Aeroporto Internacional de Guarulhos. A administração do Aeroporto de Guarulhos foi entregue à iniciativa privada para que Cumbica recebesse os investimentos necessários para adequar-se ao aumento da demanda durante a Copa de 2014, já que no modelo de administração estatal, vários entraves junto ao Tribunal de Contas da União e a falta de recursos financeiros da Infraero, atrasavam os projetos de ampliação do terminal. Com as mudanças, o aeroporto ganhou a marca administrativa: *GRU Airport* – Aeroporto Internacional de São Paulo.

Figura 22: Mapa de localização do sítio aeroportuário.

Para atender a crescente demanda por viagens aéreas no país, o *GRU Airport* está passando por transformações permanentes. A mais importante obra de infraestrutura aeroportuária do país, o novo Terminal de Passageiros 3, foi entregue no dia 11 de maio de 2014. A ampliação elevou a capacidade operacional do aeroporto para 42 milhões de passageiros, 40% a mais que o potencial dos outros três terminais em operação juntos.

Com a entrega do TPS3, a Concessionária finalizou a primeira fase de obras e eliminou gargalos considerados críticos até então. Os pátios, que antes tinham capacidade para 61 aeronaves, agora contam com 108 posições, e, com a abertura do novo terminal e as obras de expansão do TPS2, a área de terminais mais que dobrou, passando de 191 mil m² para 387 mil m².

No dia 18 de novembro de 2013, o *GRU Airport* recebeu a Certificação Operacional definitiva da ANAC, tornando-se o primeiro aeroporto certificado do País. Na prática, a Certificação é um atestado de que as normas de segurança operacional do aeródromo atendem aos requisitos do órgão regulador e aos Regulamentos Brasileiros de Aviação Civil (RBAC).

A ANAC também autorizou o aeroporto a começar a operar pousos e decolagens do Boeing 747-8I, uma das maiores aeronaves do mundo em operação, com capacidade para transportar até 467 passageiros por voo. A autorização para operar o 747-8I faz parte da estratégia da Concessionária do Aeroporto Internacional de Guarulhos para receber aeronaves código F, com envergadura entre 65 e 80 metros.

O Aeroporto Internacional de São Paulo, é talvez o equipamento mais importante em escala regional e ecoa impactos na atividade econômica da região, requisitando investimentos ligados aos setores de transporte aéreo, como logística, hoteleiro e imobiliário. Está prevista a construção de uma terceira pista, que demandará a desapropriação de 1 milhão de metros quadrados de área, pressupondo a extinção parcial ou integral de alguns bairros nas porções leste e nordeste do município, intervenção que atingirá mais de 20 mil pessoas, possibilitando novas e impactantes transformações urbanas e sócio-espaciais.

Atualmente, o aeroporto atende mais de 35 milhões de passageiros por ano. As movimentações de passageiros entre os anos de 2008 e 2013 têm apontado um comportamento de aumento constante no seu total, como mostram os gráficos na figura 23, mesmo havendo uma diminuição de voos internacionais, como fica evidenciado na tabela 9, sinalizando uma maior demanda dos serviços aeroportuários e pressão sobre a infraestrutura instalada.

Tabela 9: Evolução do movimento de aeronaves e passageiros nos ultimos anos (fonte: Anuário Estatístico da Infraero).

	Movimento de Aeronaves			**Movimento de Passageiros**		
	Doméstico	**Internacional**	**Total**	**Doméstico**	**Internacional**	**Total**
2008	119.928	74.256	194.184	11.554.548	8.845.756	20.400.304
2009	135.970	73.666	209.636	13.268.119	8.459.530	21.727.649
2010	171.558	78.935	250.493	16.468.645	10.380.540	26.849.185
2011	187.016	83.584	270.600	18.647.834	11.355.594	30.003.428
2012	192.857	81.027	273.884	21.234.352	11.542.978	32.777.330
2013	208.107	76.077	284.184	23.438.000	12.524.000	35.962.000

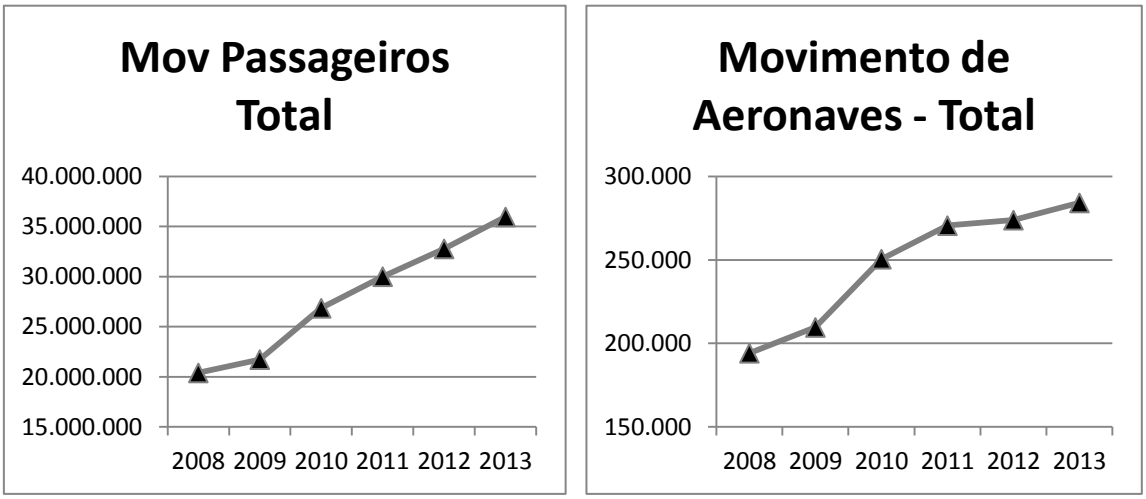


Figura 23 : Evolução do movimento de aeronaves e passageiros nos ultimos anos.

7.1.1. Características do aeroporto

7.1.1.1. Dados físicos

O aeroporto de Guarulhos (de coordenadas geográficas S23 26 08 W046 28 23) possui duas pistas paralelas, com as cabeceiras 09L/27R e 09R/27L. Estas possuem 3700 m e 3000 m de comprimento respectivamente. Ambas possuem 45 m de largura (figuras 24 e 25). As coordenadas de referência de cada cabeceira estão representadas na tabela 10.

Figura 24: Disposição das pistas do aeroporto de Guarulhos.

Tabela 10: Coordenadas de referência das cabeceiras (fonte: carta ADC).

Cabeceira	Latitude	Longitude
09L	S23 26 03	W046 29 00
27R	S23 25 30	W046 26 55
09R	S23 26 20	W046 29 13
27L	S23 25 52	W046 27 32

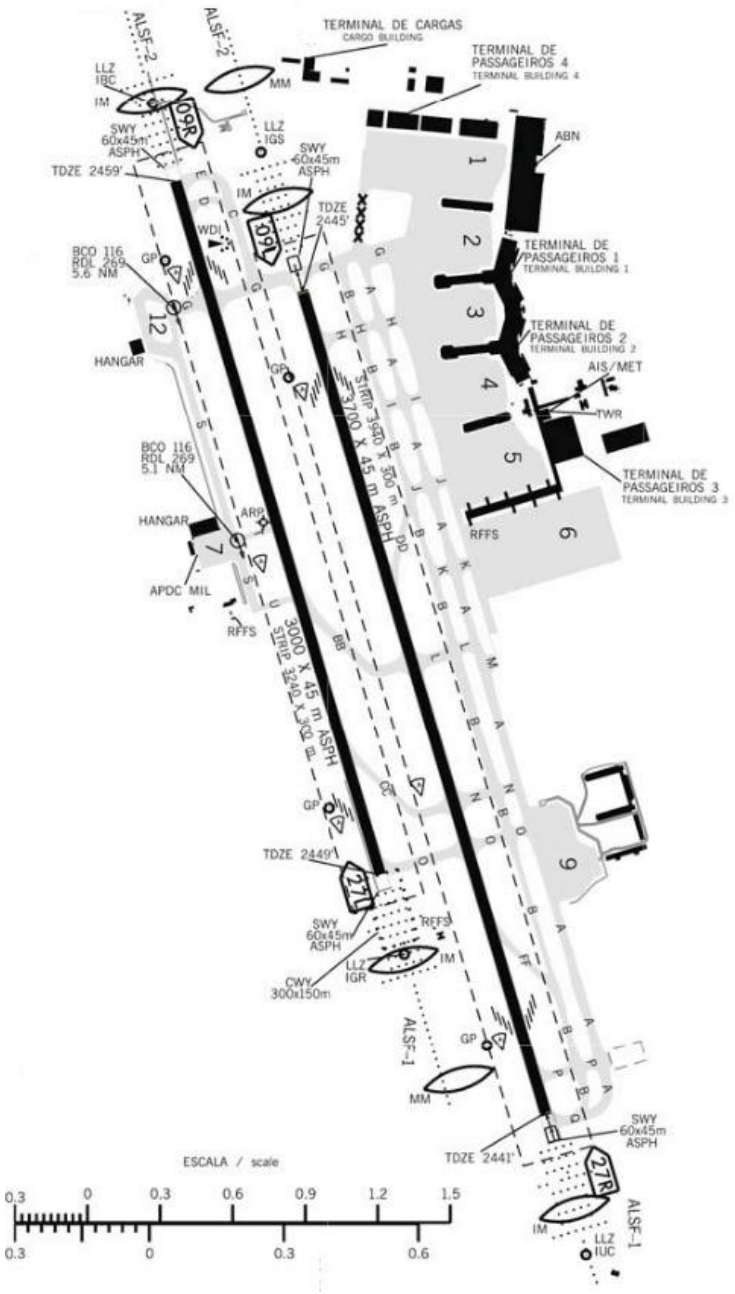


Figura 25: Disposição de pistas e terminais no aeroporto de Guarulhos (fonte: Carta ADC - Airport Display Chart).

7.1.1.2. Dados operacionais

Para este projeto, foi utilizado o Hotran com voos em vigência em março de 2013, e, após uma análise de dados desta tabela, foi observada a distribuição de movimentos de aeronaves entre o período diurno e noturno exposta na tabela 11.

Tabela 11: Distribuição de voos por período.

Período	Percentual
Diurno	76,17
Noturno	23,83

Também foi observada a distribuição dos movimentos entre as principais aeronaves, exposta na tabela 12.

Tabela 12: Distribuição de voos por aeronave.

Aeronave	Percentual
A320-211	32,37
737800	29,69
GV	7,03
DHC8	4,13
777200	4,01
A319-131	3,91
A330-301	3,69
737700	3,46
777300	3,22
767300	2,66
A340-211	1,43
727200	0,99
767400	0,83
F10065	0,79
747400	0,56
EMB145	0,56
737300	0,4
767JT9	0,28

As rotas, de pouso e decolagem, para cada cabeceira, podem ser observadas na figura 26, e analisadas em detalhe na tabela 13.

Figura 26: Rotas de pouso e decolagem, para cada cabeceira, do Aeroporto de Guarulhos.

Tabela 13: Rotas de pouso e decolagem, para cada cabeceira, do Aeroporto de Guarulhos.

Cabeceira	Movimento	Segmento	Descrição
09L	Pouso	1	Reta de 5,3996 NM
	Decolagem	1	Reta de 5,3996 NM
	Decolagem	1	Reta com 3,0238 NM
		2	Curva de 160° para direita, com raio 0,9395 NM
		3	Reta de 5,3996 NM
09R	Pouso	1	Reta de 5,3996 NM
	Decolagem	1	Reta de 5,3996 NM
	Decolagem	1	Reta com 3,0238 NM
		2	Curva de 160° para direita, com raio 0,9395 NM
		3	Reta de 5,3996 NM
27L	Pouso	1	Reta de 5,3996 NM
	Decolagem	1	Reta de 4,8596 NM
		2	Curva de 46° para esquerda, com raio 0,9395 NM
		3	Reta de 5,3996 NM
	Decolagem	1	Reta de 4,8596 NM
		2	Curva de 166° para esquerda, com raio 0,9395 NM
		3	Reta de 5,3996 NM
	Decolagem	1	Reta de 4,8596 NM
		2	Curva de 65° para direita, com raio 0,9395 NM
		3	Reta de 5,3996 NM

Cabeceira	Movimento	Segmento	Descrição
27R	Pouso	1	Reta de 5,3996 NM
	Decolagem	1	Reta de 4,8596 NM
		2	Curva de 46° para esquerda, com raio 0,9395 NM
		3	Reta de 5,3996 NM
	Decolagem	1	Reta de 4,8596 NM
		2	Curva de 166° para esquerda, com raio 0,9395 NM
		3	Reta de 5,3996 NM
	Decolagem	1	Reta de 4,8596 NM
		2	Curva de 65° para direita, com raio 0,9395 NM
		3	Reta de 5,3996 NM

7.1.2. Característica do entorno e zoneamento urbano da região

Guarulhos é o 12º município mais populoso do país e o segundo no Estado de São Paulo, sendo superado apenas pela Capital (IBGE, Censo de 2010). A população atual do município é de 1.222.357 habitantes, distribuídos em uma área de 318,01 Km², com densidade demográfica de 4.250,78 hab./km² (SEADE, 2010).

Assim como na maior parte das cidades brasileiras, o crescimento acelerado e desordenado de Guarulhos é fortemente marcado pela fragilidade dos instrumentos de controle do ordenamento de uso do solo, e resultante do contínuo desrespeito às orientações de planejamento adotadas no país em diferentes oportunidades.

Segundo consta no software SIGMA (Sistema Integrado de Gestão de Movimentos Aéreos), programa disponibilizado pela Infraero, feito para otimizar a eficiência do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro e contém os dados operacionais, ambientais e geográficos dos aeroporto, o uso e ocupação do solo no município de Guarulhos no ano 2001 apresentava-se como exposto na figura 27.

De acordo com a lei municipal n° 6.253, de 24 de maio de 2007, que dispõe sobre o uso, a ocupação e o parcelamento do solo no município de Guarulhos, em conformidade com o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano, Econômico e Social, instituído pela lei n° 6.055, de 30 de dezembro de 2004, o mapa com o zoneamento urbano no entorno do Aeroporto de Guarulhos encontra-se na figura 28.

Na figura 30, pode-se destacar a existência de Zonas Mistas (ZM). Elas são definidas como áreas da cidade onde se pretende estimular a diversificação de usos com predominância residencial. No Entorno do Aeroporto, destacam-se a Zona Mista A (ZM-A) e a Zona Mista C (ZM-C). A primeira corresponde às áreas da cidade inseridas

na Macrozona de Urbanização Consolidada e em parte da Macrozona de Dinamização Econômica e Urbana, nas quais se pretende estimular a diversificação de usos, permitindo-se maior densidade construtiva. Já a segunda, corresponde às áreas da cidade inseridas na Macrozona de Urbanização em Desenvolvimento e na Macrozona de Dinamização Econômica e Urbana, caracterizadas pela proximidade das áreas de preservação ambiental, na qual se pretende a diversificação de usos, com densidade construtiva média.

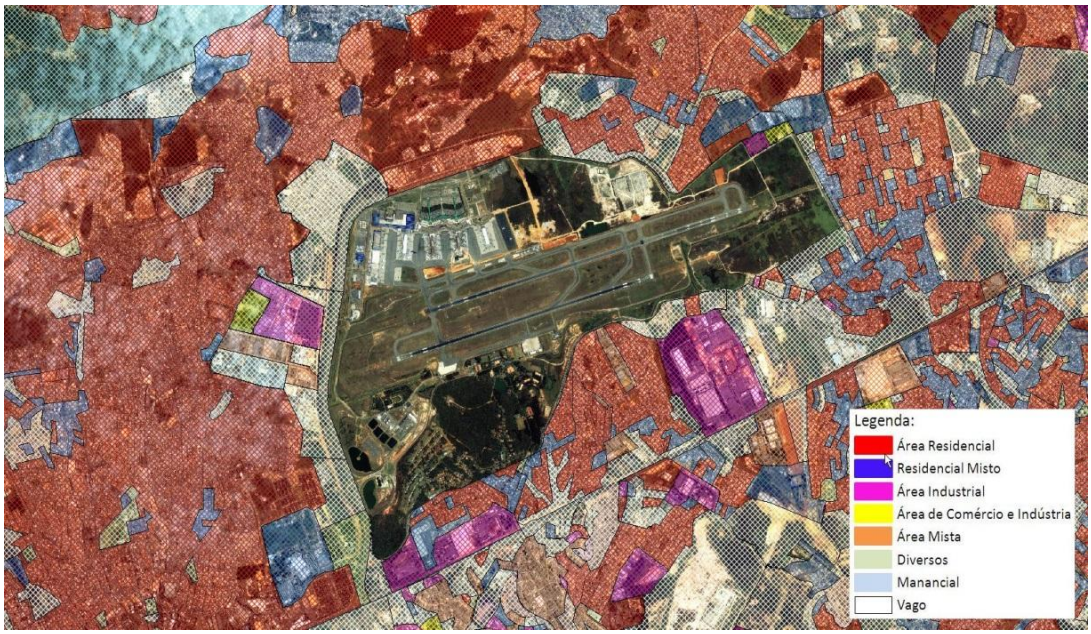


Figura 27: Uso real do solo no entorno do Aeroporto de Guarulhos (fonte: SIGMA – Infraero).

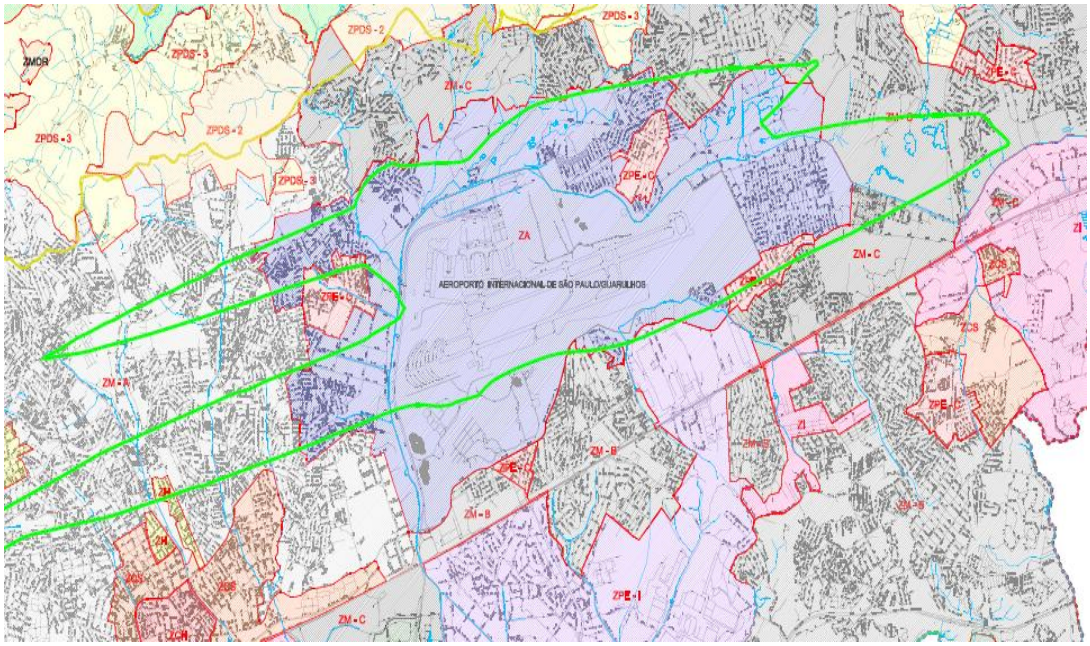


Figura 28: Mapa de Zoneamento Urbano de Guarulhos (fonte: lei nº 6.253/2007).

7.2.Simulações de ruído no entorno do aeroporto

Com base nos dados físicos e operacionais do Aeroporto de Guarulhos descritos acima, foram modeladas curvas isofônicas no software INM 7.0b para avaliar o nível de ruído aeronáutico na região no seu entorno. Foi feito um pré-processamento de dados a partir da planilha do Hotran, organizando-se os dados no período diurno e noturno. Assim, após estudo detalhado das métricas no capítulo 2, pôde-se gerar estas curvas de nível nas métricas DNL, LAeqD e LAeqN. Em seguida, estas curvas foram sobrepostas nos mapas do aeroporto de Guarulhos e o seu entorno no programa ArcGIS. Os resultados encontram-se nas figuras 29, 30 e 31 a seguir.

As curvas, na métrica DNL, expostas na figura 31, consideram os níveis de ruído de 65 dB(A), 70 dB(A), 75 dB(A), 80 dB(A) e 85 dB(A), compatíveis com o Plano Específico de Zoneamento de Ruído definido pelo RBAC 161.

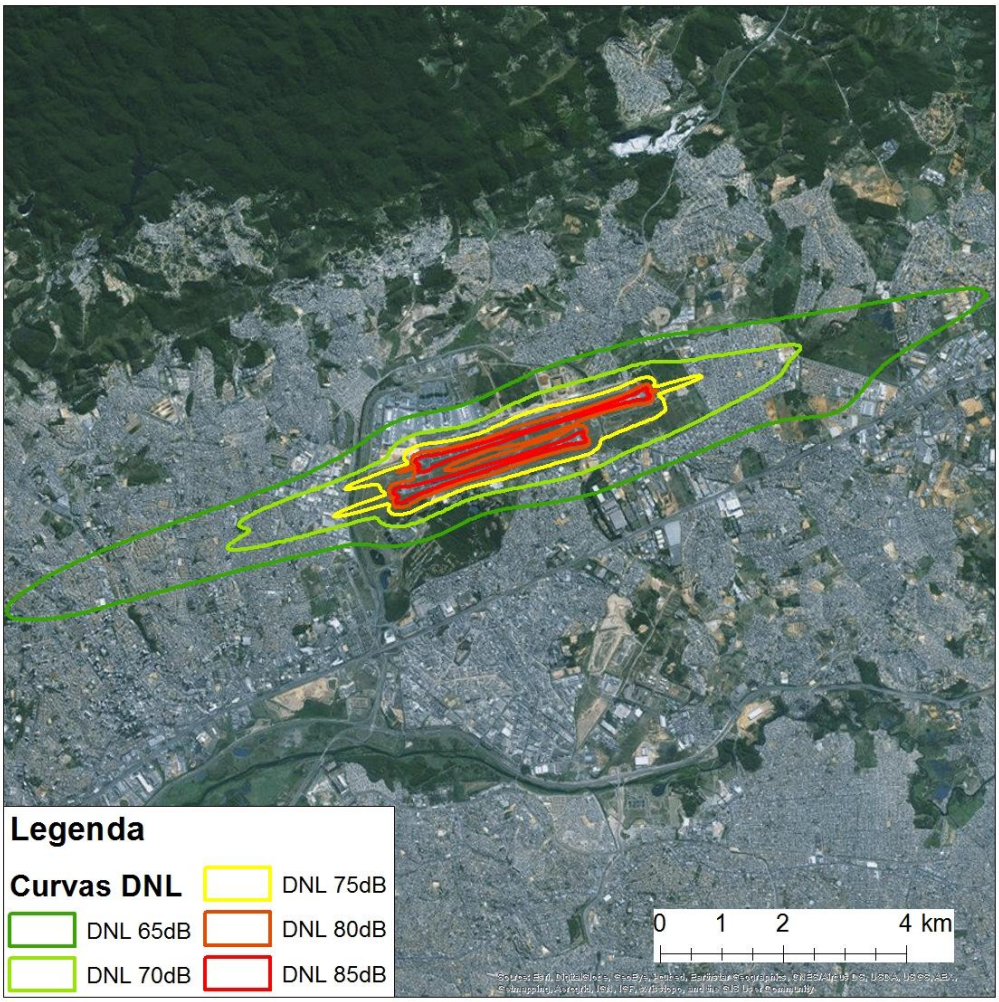


Figura 29: Curvas de ruído na métrica DNL do Aeroporto de Guarulhos.

Já as curvas de ruído nas métricas LAeqD e LAeqN são compatíveis com a norma ABNT NBR 10151. Para a métrica LAeqD, exposta na figura 30 abaixo, são considerados os níveis de 50 dB(A), 55 dB(A), 60 dB(A), 65 dB(A) e 70 dB(A).

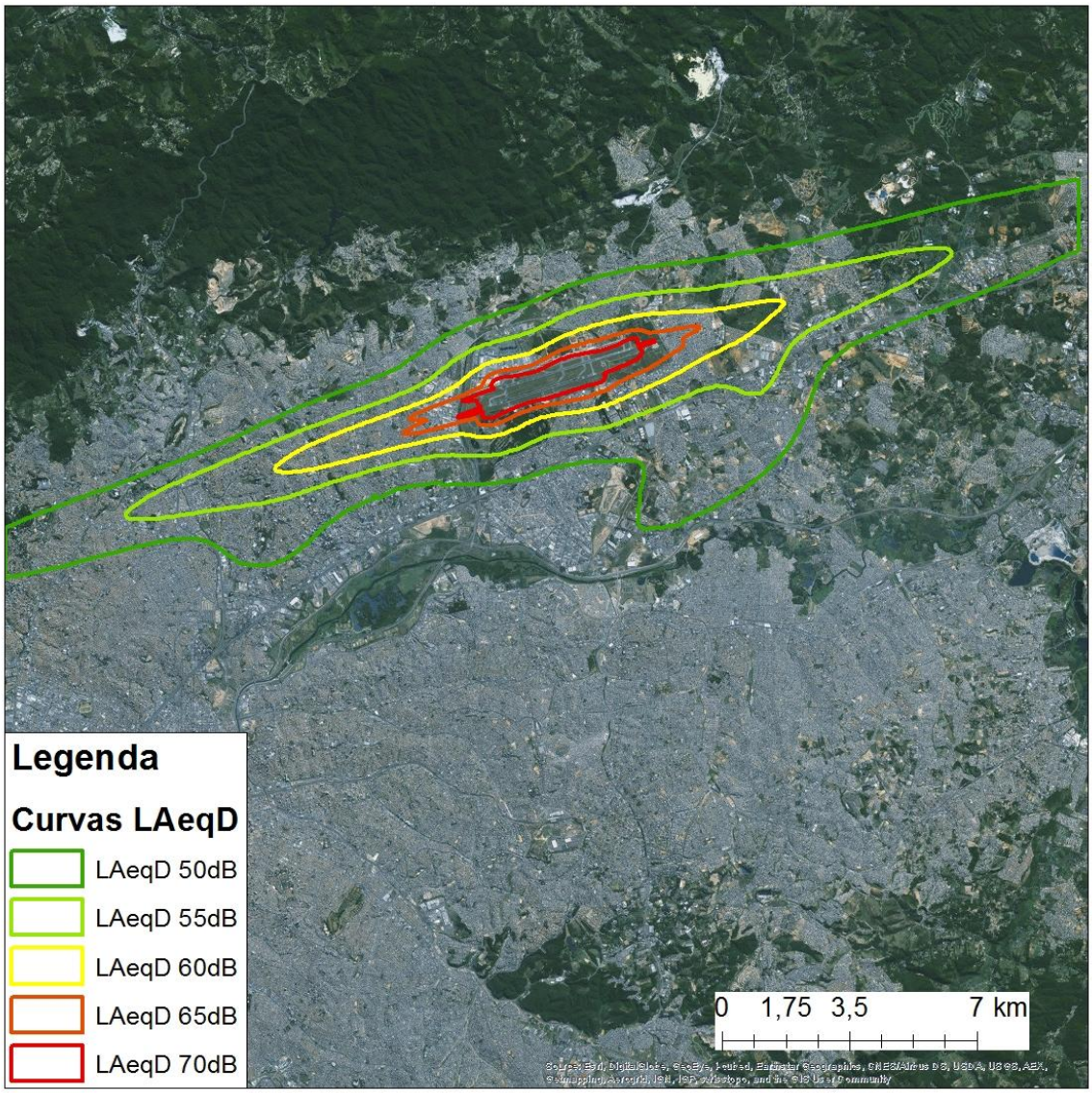


Figura 30: Curvas de ruído na métrica LAeqD do Aeroporto de Guarulhos.

Para a métrica LAeqN, exposta na figura 31, são considerados os níveis de 45 dB(A), 50 dB(A), 55 dB(A), 60 dB(A) e 65 dB(A).

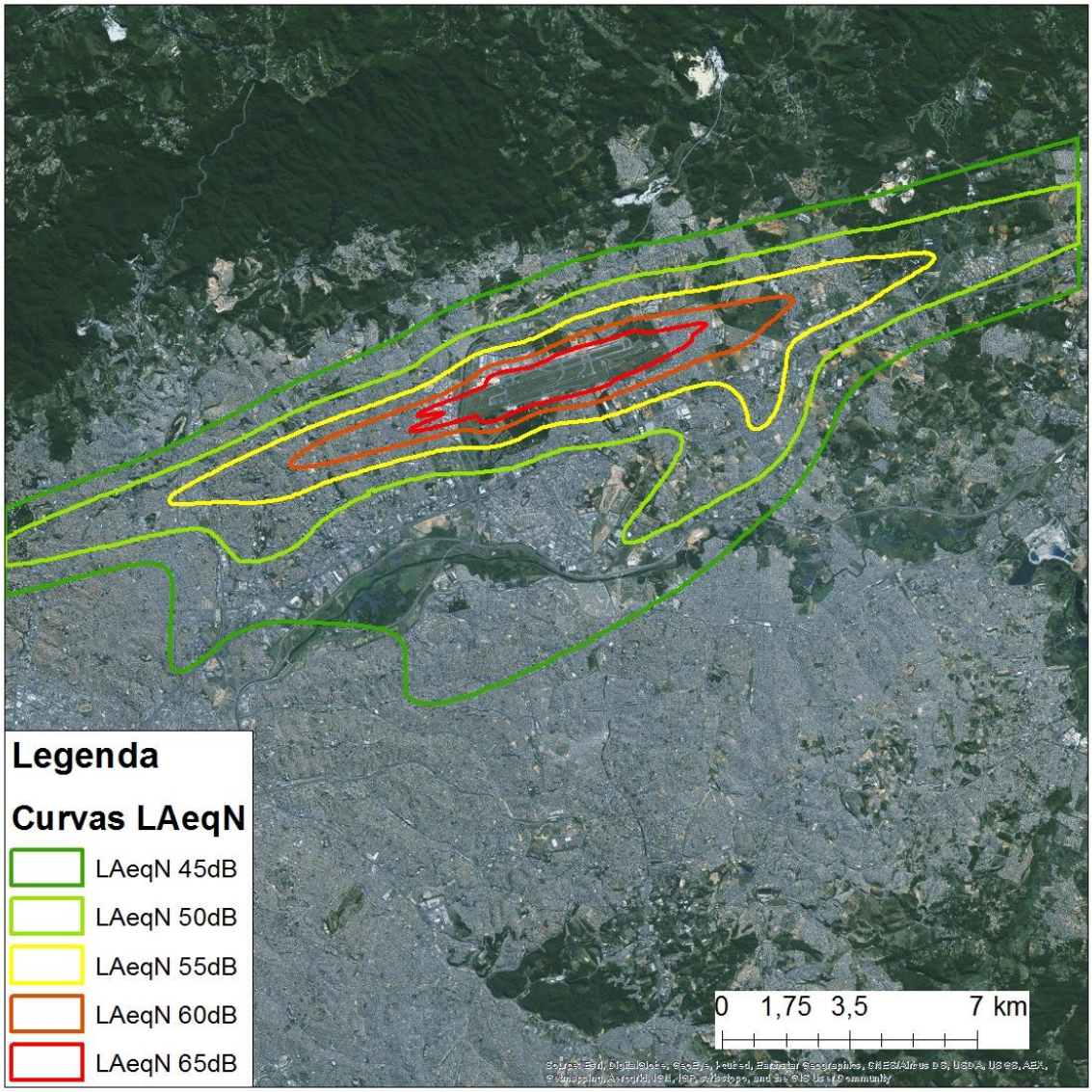


Figura 31: Curvas de ruído na métrica LAeqN do Aeroporto de Guarulhos.

7.3. Quantificação do número de pessoas altamente incomodadas

A partir das curvas isofônicas geradas pelo INM, também é possível calcular o número de pessoas atingidas pelo ruído utilizando-se o software ArcGIS. Para tal, foram utilizados dados populacionais correspondentes aos setores censitários fornecidos pelo IBGE, e, a partir do número de pessoas residentes nas áreas abrangidas por cada faixa de curva de nível, foi quantificado o número de pessoas afetadas pelo ruído. Posteriormente, foi possível o cálculo do número de pessoas altamente incomodadas, utilizando-se a equação de Schultz, analisada detalhadamente no capítulo 2, onde é

relacionado o percentual das pessoas altamente incomodadas (%HA) e o Day-Night Level.

Os resultados encontram-se na tabela 14 abaixo, onde, para o cálculo do percentual de pessoas altamente incomodadas segundo Schultz (% HA), foi utilizada a média dos valores da faixa de nível sonoro em dB(A).

Tabela 14: Quantificação do número de pessoas altamente incomodadas na métrica DNL.

Faixa de Nível Sonoro	Área [km²]	Número de pessoas atingidas	% HA	Número de pessoas altamente incomodadas
(60 - 65) dB(A)	32,184	213.357	11,44	24.408
(65 - 70) dB(A)	13,827	95.975	19,44	18.658
(70 - 75) dB(A)	5,555	28.787	30,2	8.694
(75 - 80) dB(A)	2,200	80	44,06	35
(80 - 85) dB(A)	1,278	14	61,38	9
Total				**51.803**

Sendo assim, considerando níveis sonoros acima de 60 dB(A), existe um total de 338.213 pessoas atingidas pelo ruído proveniente do aeroporto de Guarulhos, e destas, uma média de 51.803 pessoas estão altamente incomodadas.

Analogamente, pode-se quantificar o número de pessoas atingidas pelo ruído utilizando-se as métricas LAeqD e LAeqN. Os resultados encontram-se nas tabelas 15 e 16.

Tabela 15: Número de pessoas atingidas pelo ruído na métrica LAeqD.

Faixa de Nível Sonoro	Área [km²]	Número de pessoas atingidas (LAeqD)
(50 - 55) dB(A)	71,119	401.078
(55 - 60) dB(A)	29,121	177.360
(60 - 65) dB(A)	11,791	83.093
(65 - 70) dB(A)	4,863	12.836
(70 - 75) dB(A)	1,900	39
(75 - 80) dB(A)	0,439	13

Tabela 16: Número de pessoas atingidas pelo ruído na métrica LAeqN.

Faixa de Nível Sonoro	Área [km²]	Número de pessoas atingidas (LAeqN)
(45 - 50) dB(A)	133,806	352.655
(50 - 55) dB(A)	60,888	340.253
(55 - 60) dB(A)	25,970	168.849
(60 - 65) dB(A)	11,029	78.720
(65 - 70) dB(A)	4,296	11.496
(70 - 75) dB(A)	1,636	28

7.4.Incompatibilidade entre o PZR e a NBR 10.151

Visto que o Plano de Zoneamento de Ruído orienta o uso do solo em função dos níveis de ruído e a norma NBR 10.151 limita o nível de ruído em função do tipo de atividade exercida, espera-se que essas duas referências se harmonizem. Porém, pode ser observado que elas se discordam significativamente em relação às métricas de ruído adotadas. Este fato pode gerar conflitos entre a avaliação do PEZR em relação às restrições de atividades em determinadas áreas e a avaliação com base nas legislações municipais.

O PEZR é elaborado levando-se em conta a métrica DNL, que, como já dito anteriormente, é uma média energética dos níveis de ruído sonoros produzidos em 24 horas, acrescentando-se 10 dB(A) no período noturno. Já os NCAs estipulados na NBR 10.151 encontram-se nas métricas LAeqD, para valores diurnos, e LAeqN, para valores noturnos, para o caso do ruído aeroportuário .

Com o uso de métricas diferentes, as áreas relativas aos níveis sonoros em cada uma delas podem ser extremamente diferentes. Isto pode levar a uma quantificação de impacto sonoro distinto para cada métrica e, consequentemente, o número de pessoas residentes dentro das curvas de ruído pode divergir. Para quantificar estas diferenças, serão exibidas agora nas tabelas 17, 18 e 19 a área e a população inserida nas áreas delimitadas por cada curva de ruído definida no PEZR e no NBR 10.151. Esta quantificação é diferente da que foi realizada anteriormente, que referia-se à população residente entre os níveis sonoros.

Tabela 17: Área e número de pessoas atingidas pelo ruído na métrica DNL.

Nível sonoro	Área [km²]	Número de pessoas atingidas
Maior que 60 dB(A)	55,69	338.219
Maior que 65 dB(A)	23,51	124.862
Maior que 70 dB(A)	9,68	28.887
Maior que 75 dB(A)	4,12	100
Maior que 80 dB(A)	1,97	26

Tabela 18: Área e número de pessoas atingidas pelo ruído na métrica LAeqD.

Nível sonoro	Área [km²]	Número de pessoas atingidas
Maior que 50 dB(A)	120,40	674.424
Maior que 55 dB(A)	49,28	273.346
Maior que 60 dB(A)	20,16	95.986
Maior que 65 dB(A)	8,37	12.893
Maior que 70 dB(A)	3,51	57

Tabela 19: Área e número de pessoas atingidas pelo ruído na métrica LAeqN.

Nível sonoro	Área [km²]	Número de pessoas atingidas
Maior que 45 dB(A)	238,98	952.014
Maior que 50 dB(A)	105,17	599.359
Maior que 55 dB(A)	44,29	259.106
Maior que 60 dB(A)	18,32	90.257

Então, no que diz respeito às áreas residenciais, o PZR determina que não há restrição para uso residencial para níveis de ruído inferiores a 65 dB(A) na métrica DNL, e, no entanto, pode-se observar que existem 124.862 pessoas em residências atingidas por níveis de ruído maiores que o estipulado, distribuídas em uma área de 23,51 km². Já se for considerado o NBR 10.151, que estipula que para áreas residenciais o ruído seja inferior a 50 dB(A) durante o dia e 45 dB(A) durante a noite, observa-se que existem 674.424 pessoas atingidas por níveis de ruído maiores que o estipulado durante o dia, distribuídas em uma área de 238,98 km². Durante a noite, observa-se a existência de 952.014 pessoas, em uma área de 238,98 km².

Por estas divergências, foi criado no GERA (Grupo de Estudos em Ruído Aeroportuário), o conceito de área de influência acústica direta o aeroporto, definida

pela área que compreende a união das áreas compridas nas curvas de LAeqD maior que 50 dB(A) e LAeqN maior que 45 dB(A). Seria, portanto, a área onde os níveis sonoros diurnos ou noturnos produzidos pelo aeroporto são superiores aos níveis de avaliação de uma área estritamente residencial pela NBR 10.151.

No caso do Aeroporto de Guarulhos, teríamos as curvas expostas na figura 32 abaixo.

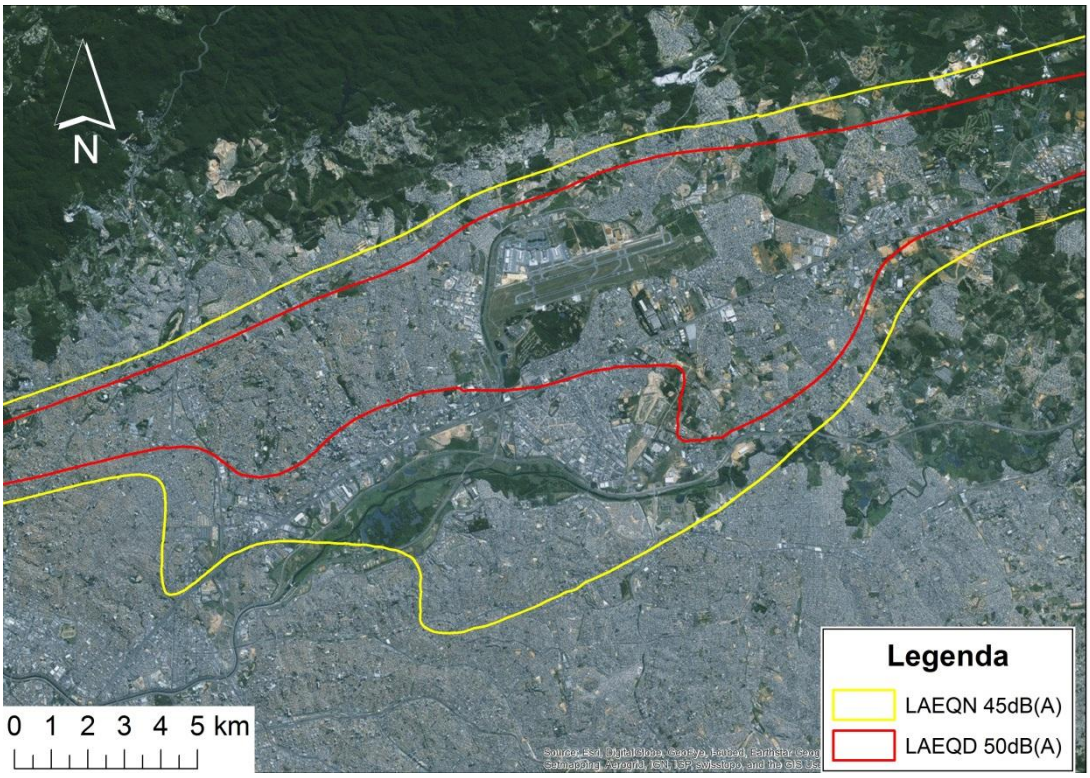


Figura 32: Área de influência acústica direta do Aeroporto de Guarulhos.

Como a curva relativa a 45 dB(A) na métrica LAeqN sobrepõe completamente aquela relativa à 50 dB(A) na métrica LAeqD, conclui-se que a área de influência acústica direta do Aeroporto de Guarulhos é a área definida pela curva em amarelo na figura 34 acima, compreendendo assim uma população de 952.014 pessoas, em uma área de 238,98 km².

Estes valores são superiores aos valores definidos pelo PZR, que quantificou 124.862 pessoas atingidas em 23,51 km². Podemos definir assim o conceito de área de estudos complementares, como sendo toda área de influência acústica direta do aeroporto, menos a área com DNL maior que 65 dB(A) compreendida pelo PZR. Para o

Aeroporto de Guarulhos, a área de estudos complementares é explicitada pela área hachurada em vermelho na figura 33.

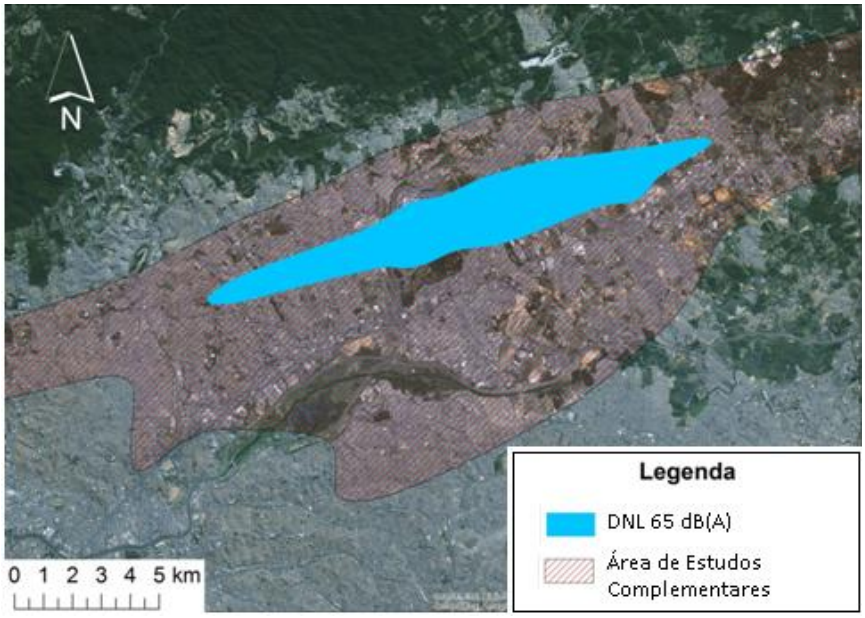


Figura 33: Área de exclusão do Aeroporto de Guarulhos.

Assim, quantifica-se que a área de estudos complementares do aeroporto em questão corresponde a 215,47 km², abrangendo uma população de 827.152 pessoas.

Podemos perceber uma discordância entre os valores numéricos dos níveis sonoros estabelecidos pela NBR 10.151 e utilizados pelo PZR para elaboração das curvas. O primeiro recomenda que áreas residenciais não se exponham a níveis sonoros acima de LAeqD 50 durante o dia e LAeqN 45 durante a noite. Já o segundo, permite a ocupação residencial em áreas com nível de ruído abaixo de DNL 65. Como consequência, no caso em estudo, o PZR mostrou-se muito mais tolerante em relação à exposição ao ruído. Podemos considerar que o PEZR do aeroporto tem por função definir uma área de proteção do aeroporto contra o encroachment que é a invasão da região próxima por atividades sensíveis ao ruído.

7.5. Avaliação do nível de ruído em pontos críticos escolhidos

7.5.1.1. Levantamento dos pontos críticos

Após a simulação das curvas de ruído, os dados pré-processados e inseridos anteriormente no INM 7.0b também serão utilizados para avaliar o nível de ruído em

receptores pré-selecionados. O levantamento desses receptores é feito tendo como base as edificações onde são desenvolvidas atividades sensíveis ao ruído, como escolas, hospitais e residências. Por questão de simplificação, neste trabalho foram levantadas apenas escolas como pontos críticos para posterior análise, utilizando-se o programa Google Earth. Estas estão explicitadas na tabela 20 e localizadas na figura 34.

Tabela 20: Receptores críticos levantados no entorno do Aeroporto de Guarulhos.

Ponto	Receptor	Endereço
P01	Escola Municipal Jardim Ipanema	R. Maria Lúcia, 32 - Vila Barros, Guarulhos, 07194-270
P02	Escola de Educação infantil Cantinho da Alegria - Pains	R. Pains, 89 - Monte Carmelo, Guarulhos, 07196-030
P03	Centro Educação Infantil Cantinho do Saber	R. Oslo, 66 - JD Bela Vista, Guarulhos, 07133-070
P04	Escola Publica Profª Odete Fernandes Pinto da Silva	R. Chibata, 126 - JD B Vista, Guarulhos, 07133-040
P05	Escola Publica Profº Joaquim Garcia Salvador	R. Catulo da Paixão Cearense, 242 - JD America, Guarulhos, 07194-130
P06	Centro de Educação Infantil Vitória	R. Joaquim Gonçalves da Silva, 18 - JD Cocaia, Guarulhos, 07130-140
P07	EM Heitor Mauricio de Oliveira	R. Guaratuba, 500B - Vila Florida, Guarulhos, 07122-010
P08	Escola Estadual Deputado Cantídio Sampaio	R. Guaratuba, 402 - VL Florida, Guarulhos, SP, 07122-010
P09	Colégio Almeida Gasparin	R. Ciro Schmutzer Franco, 181 - Bom Clima, Guarulhos, 07122-130
P10	Escola de Educação Infantil Gente Feliz	R. Ciro Schmutzer Franco, 29, Guarulhos, 07122-130
P11	Núcleo Educacional Santa Clara	R. Serrana, 28 - JD Sta Clara, Guarulhos, 07123-110
P12	Colégio Santa Clara	Av. Barber Greene, 909/ 925/ 931, Guarulhos, 07120-260
P13	Escola de Educação Infantil Cantinho da Joaninha Sapeca	Av. Nova América, 38, Guarulhos, 07123-250
P14	EM Selma Colalillo Marques Domadora	Av. Salgado Filho, 1644 - Centro, Guarulhos, 07115-000
P15	Colégio Magnus	R. Segundo-Sargento Orlando Randi, 89 - J.SANTA Maria, Guarulhos, 07096-210
P16	EE Pastor Rubens Lopes	R. Brás Pires, 164 - VL Aeroporto, Guarulhos, 07170-330
P17	EEPSG Alexandre L Oliveira	Cumbica, Guarulhos
P18	EM Marfilha Belloti Gonçalves	Av. Estados Unidos, 97 - Jardim Das Nacoes, Guarulhos, 07183-500
P19	Colégio Unicultura	R. Benito Mocerino, 80 - JD PRES.DUTRA, Guarulhos, 07171-060
P20	Jardim Escola Pequeninos	R. Itiruçu, 3 - Pres. Dutra, Guarulhos, 07171-160

Ponto	Receptor	Endereço
P21	CMEI Mariazinha Rezende Fusari	R. Itaparantim, S/N - Jardim Presidente Dutra, Guarulhos, 07171-050
P22	Colégio Educar	R. Vitória da Conquista, 78 - Jardim Presidente Dutra, Guarulhos, 07171-090
P23	Escola de Educação Infantil Espaço e Tempo	R. Aratuíbe, 180, Guarulhos, 07171-180
P24	EE Prefeito Antônio Pratici	R. Carlos Drummond de Andrade, 350 - CJ Inocop, Guarulhos, 07174-015
P25	EM Barbara Andrade Tenório de Lima	Quadra 04, 85 - Conjunto Inocoop (bonsucesso), Guarulhos, 07174-020

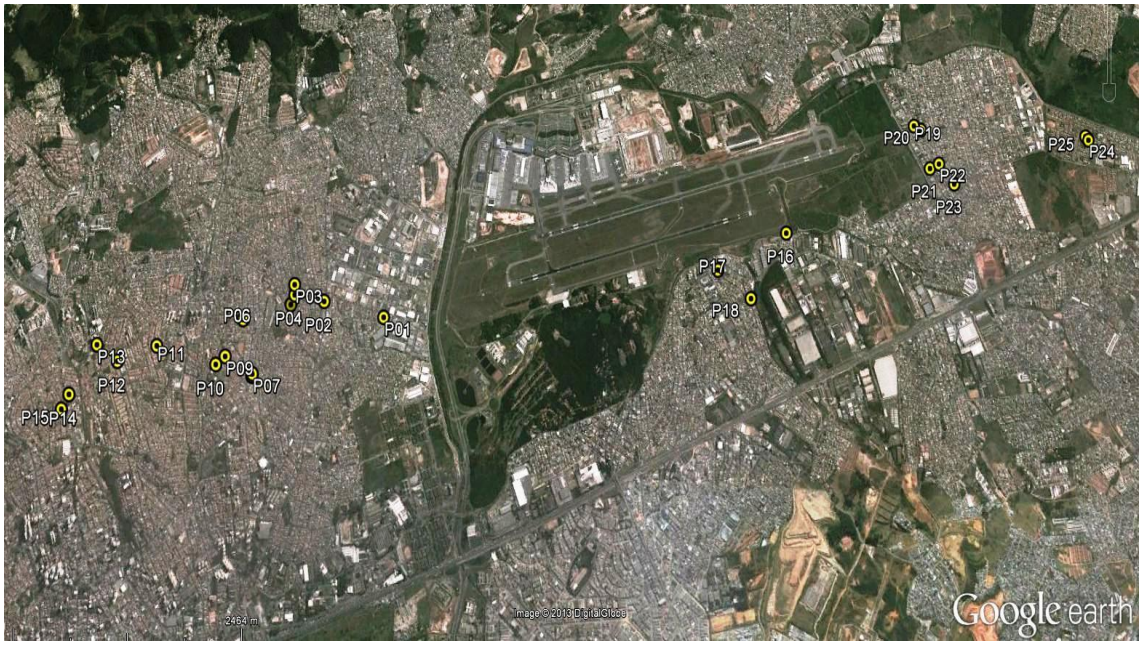


Figura 34: Receptores críticos levantados no entorno do Aeroporto de Guarulhos (fonte: printscreen do Google Earth).

7.5.1.2. Níveis de ruído calculados nos receptores críticos levantados

Após inserir os pontos críticos com suas respectivas coordenadas geográficas no programa INM 7.0b, foi obtido o nível sonoro nas métricas DNL, LAeqD e LAeqN, mostradas na tabela 21.

Tabela 21: Nível de ruído nos receptores críticos levantados, nas métricas DNL, LAeqD e LAeqN.

Ponto Crítico	DNL [dB (A)]	LAD [dB (A)]	LAN [dB (A)]
P01	73,8	67,8	67,3
P02	71,1	65,2	64,6
P03	67,8	61,9	61,3
P04	69,8	63,9	63,3

Ponto Crítico	DNL [dB (A)]	LAD [dB (A)]	LAN [dB (A)]
P05	70,4	64,4	63,9
P06	69,3	63,3	62,8
P07	68,3	62,3	61,8
P08	67,7	61,6	61,2
P09	69,4	63,4	62,9
P10	69,3	63,2	62,8
P11	67,8	61,8	61,3
P12	67,4	61,4	60,9
P13	65,6	59,7	59,1
P14	67,2	61,3	60,7
P15	67,1	61,0	60,6
P16	72,3	66,9	65,7
P17	70,5	65,5	63,8
P18	65,6	60,7	58,9
P19	75,0	68,7	68,6
P20	73,4	66,9	67,0
P21	71,4	64,9	65,0
P22	71,3	64,7	65,0
P23	68,6	62,2	62,2
P24	67,2	59,9	60,9
P25	67,5	60,2	61,2

7.5.1.3.Avaliação do nível de ruído nos receptores críticos levantados

Para a avaliação do nível de ruído nas instituições de ensino levantadas anteriormente, foi utilizada a norma NBR 10152, que pode ser vista com mais detalhe no capítulo 5. Tal norma fixa os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico e aceitabilidade em ambientes internos de edificações voltadas para diversas atividades. Para o caso de escolas, estes valores encontram-se na tabela 22 a seguir.

Tabela 22: Valores de conforto e aceitabilidade para ambientes internos escolares segundo a NBR 10152.

Escolas	Conforto – Aceitabilidade [dB(A)]
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	**35 – 45**
Salas de aula, Laboratórios	**40 – 50**
Circulação	**45 – 55**

Como no software INM esses níveis são quantificados em áreas externas, para uma avaliação mais fiel à realidade, foi necessário fazer uma correção nos valores

encontrados, descontando-se 10 dB(A) para locais com janelas abertas e 15 dB(A) para locais com janelas fechadas. Levando-se em conta o fato de que boa parte das escolas levantadas são de rede pública e que, no Brasil, ainda hoje, muitas delas precisam contar com a ventilação natural devido a ausência de ar-condicionado, foi descontado apenas 10 dB(A) para que fosse considerada a pior situação, em que o ambiente estivesse com janelas abertas, contando apenas com a barreira das estruturas prediais. Os valores corrigidos encontram-se na tabela 23.

Tabela 23: Níveis sonoros corrigidos para ambientes internos.

Ponto Crítico	DNL [dB (A)]	LAD [dB (A)]	LAN [dB (A)]
P01	63,8	57,8	57,3
P02	61,1	55,2	54,6
P03	57,8	51,9	51,3
P04	59,8	53,9	53,3
P05	60,4	54,4	53,9
P06	59,3	53,3	52,8
P07	58,3	52,3	51,8
P08	57,7	51,6	51,2
P09	59,4	53,4	52,9
P10	59,3	53,2	52,8
P11	57,8	51,8	51,3
P12	57,4	51,4	50,9
P13	55,6	49,7	49,1
P14	57,2	51,3	50,7
P15	57,1	51,0	50,6
P16	62,3	56,9	55,7
P17	60,5	55,5	53,8
P18	55,6	50,7	48,9
P19	65,0	58,7	58,6
P20	63,4	56,9	57,0
P21	61,4	54,9	55,0
P22	61,3	54,7	55,0
P23	58,6	52,2	52,2
P24	57,2	49,9	50,9
P25	57,5	50,2	51,2

Sendo assim, podemos concluir que, considerando a métrica LAeqD, já que geralmente as atividades escolares ocorrem em período diurno, que compreende de 7:00

ás 22:00 horas, em todas as instituições de ensino levantadas, os níveis de ruído encontram-se acima de 50 dB(A), valor de aceitabilidade para salas de aula.

7.5.1.4. Avaliação de hora em hora nos receptores críticos

Com o objetivo de obter uma melhor caracterização da distribuição dos níveis de ruído ao longo do período diurno nas instituições de ensino levantadas, foram realizadas simulações utilizando-se a métrica LAeq1H. Os resultados de quatro escolas selecionadas encontram-se nas figuras 35, 36, 37 e 38, enquanto os resultados de todas as escolas podem ser vistos no anexo A.

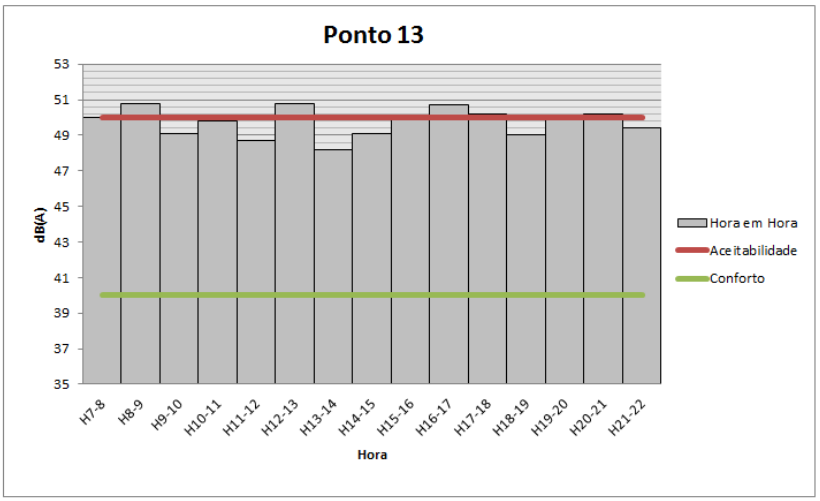


Figura 35: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola de Educação Infantil Cantinho da Joaninha Sapeca.

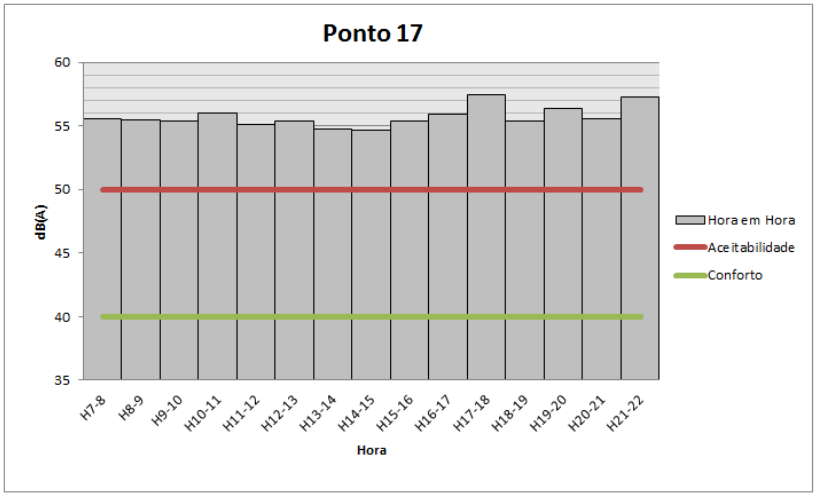


Figura 36: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Estadual Profº S. G. Alexandre L. Oliveira.

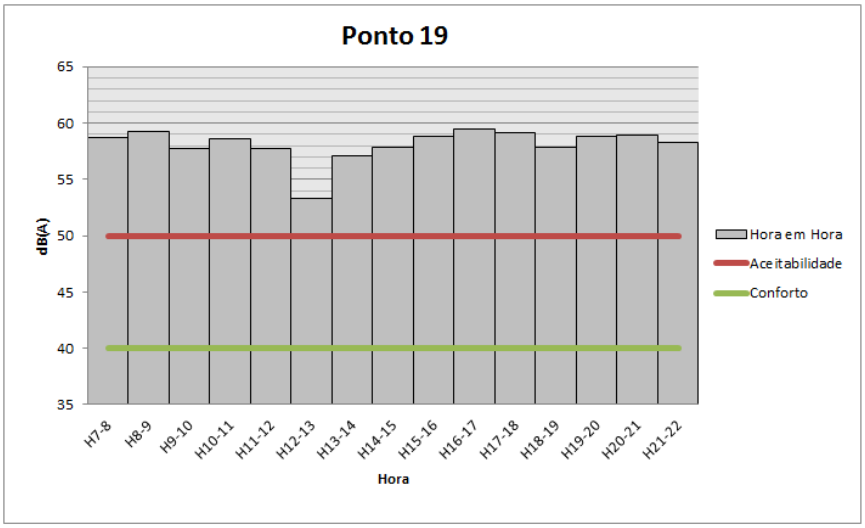


Figura 37: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Colégio Unicultura.

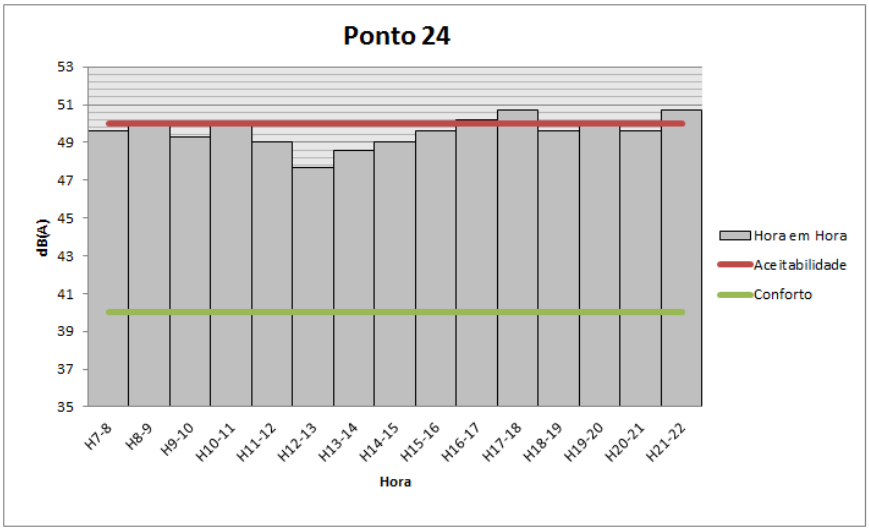


Figura 38: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Estadual Prefeito Antônio Pratici.

Na Escola Estadual Prof º S. G. Alexandre L. Oliveira (ponto 17) e no Colégio Unicultura (ponto 19) nas figuras 36 e 37 respectivamente, o nível de aceitabilidade foi ultrapassado em todos os horários. No ponto 17, o nível de aceitabilidade foi ultrapassado em média 5 d(B)A em todos os horários, exceto nos horários de 17:00 às 18:00 e 21:00 às 22:00 horas, onde houve as maiores discrepâncias e foram ultrapassados 57 dB(A). No ponto 19, a maior discrepância no horário de 16:00 às 17:00 horas, onde ficou em pouco menos de 10 dB(A), e a menor no horário de 12:00 às 13:00 horas.

Em outros casos, como ocorrido na Escola de Educação Infantil Cantinho da Joaninha Sapeca (ponto 13) e na Escola Estadual Prefeito Antônio Pratici (ponto 24), nas figuras 35 e 38 respectivamente, o nível de ruído foi superior ao de conforto em todo o dia, porém, em alguns horários, foram inferiores ao nível de aceitabilidade. No ponto 13, o nível de aceitabilidade foi ultrapassado nos horários de 8:00 às 9:00, 12:00 às 13:00, 16:00 às 17:00 e 20:00 às 21:00. No ponto 24, o nível de aceitabilidade foi ultrapassado nos horários de 17:00 às 18:00 e 21:00 às 22:00.

Em todos os pontos mesmo para os níveis diurnos de hora em hora, os níveis sonoros são, em média, próximos aos níveis de aceitabilidade, porém em nenhuma delas foi alcançado o nível de conforto. Há necessidade de funcionar com janelas fechadas o que obriga a instalação de ar condicionado.

8. Conclusão

Este trabalho teve como contribuição a determinação das curvas de ruído do Aeroporto de Guarulhos, a quantificação do número de pessoas altamente incomodadas no seu entorno, o levantamento de receptores críticos e os cálculos dos níveis de ruído, com diferentes métricas, nos receptores selecionados. Foram usadas quatro diferentes métricas para a análise dos níveis: DNL, LAeqD, LAeqN e LAeq,1h.

Todas as curvas isofônicas foram feitas levando-se em conta a legislação brasileira atual. Então, para curvas na métrica DNL, foram considerados os níveis de ruído de 65 dB(A), 70 dB(A), 75 dB(A), 80 dB(A) e 85 dB(A), para que sejam compatíveis com o Plano Específico de Ruído, definido pelo RBAC (Regulamento Brasileiro de Aviação Civil) número 161. Já os níveis sonoros das curvas isofônicas nas métricas LAeqD e LAeqN são compatíveis com a norma ABNT NBR 10151, e, neste caso, foram considerados os níveis de ruído de 50 dB(A), 55 dB(A), 60 dB(A), 65 dB(A) e 70 dB(A) para a métrica LAeqD e de 45 dB(A), 50 dB(A), 55 dB(A) e 60 dB(A) para a métrica LAeqN.

A partir do levantamento do número de pessoas atingidas pelo ruído proveniente do Aeroporto de Guarulhos, pode-se chegar à conclusão que, no período abrangido pelo Hotran utilizado neste trabalho, havia, em média, 51.803 pessoas altamente incomodadas residentes nas áreas que rodeiam o Aeroporto. Este número é alto devido ao fato de ser uma área predominantemente residencial.

Pôde-se perceber uma discordância entre os valores numéricos dos níveis sonoros estabelecidos pela NBR 10.151 e utilizados pelo PZR para elaboração das curvas. O primeiro recomenda que áreas residenciais não se exponham a níveis sonoros acima de LAeqD 50 durante o dia e LAeqN 45 durante a noite. Já o segundo, permite a ocupação residencial em áreas com nível de ruído abaixo de DNL 65

Ao realizar a análise dos receptores críticos, em que foram consideradas apenas instituições de ensino, podemos concluir que, considerando a métrica LAeqD, já que geralmente as atividades escolares ocorrem em período diurno, que compreende de 7:00 às 22:00 horas, em todos os casos, os níveis de ruído encontram-se acima de 50 dB(A), valor de aceitabilidade para salas de aula de acordo com a norma NBR ABNT 10.152. Ao fazer uma análise de hora em hora, utilizando-se da métrica LAeq1H para todos os receptores levantados, pode-se concluir que, em todos os horários, o nível de conforto é ultrapassado. Na maior parte dos casos, o mesmo ocorre para o nível de aceitabilidade,

porém, em média, são próximos, havendo portanto a necessidade de funcionar com janelas fechadas, o que obriga a instalação de ar condicionado. Pode-se notar que o nível de ruído é praticamente constante e elevado em todas as horas do dia, sem a constatação de algum horário de pico.

Da mesma forma que em diversos outros setores da economia, também o planejamento aeroportuário se ressente da falta de uma gestão adequada do uso do solo urbano, o que além de impactar, eventualmente inviabiliza a utilização plena da capacidade operacional de instalações indispensáveis ao desenvolvimento do país, comprometendo investimentos e desperdiçando oportunidades de otimização da infraestrutura aeroportuária implantada.

Sendo assim, este trabalho funciona como uma ferramenta para estudo do impacto ambiental sonoro gerado pela atividade aeroportuária, sendo um sistema de diagnóstico do ruído e uma metodologia para o monitoramento sonoro detalhado da aviação regular em aeroportos. Ele pode ser utilizado por prefeituras e órgãos ambientais para a tomada de decisões.

9. BIBLIOGRAFIA

ABNT, "NBR 13368 - Ruído gerado por aeronaves - Monitoração", Maio de 1995.

ABNT, “NBR 10151 – Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade”, Julho de 2000.

ABNT, “NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto acústico”, Março de 1987.

ANAC, Anuário de Transporte Aéreo de 2012.

California Airport Land Use, State of California Department of Transportation - Division of Aeronautics, 2011.

FAA - FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Disponível em <www.faa.gov/index.cfm>.

FAA - FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Integrated Noise Model User’s Guide, Versão 7.0, FAA, 2007.

FICAN. Disponível em <www.fican.org>.

GRU AIRPORT, Aeroporto Internacional de São Paulo. Disponível em <http://www.gru.com.br/pt-br/>.

ICAO, Environmental Report, 2007. Disponível em <http://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Env_Report_07.pdf>.

ICAO, Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management (Doc 9829 AN/451), 2004. Disponível em <http://www.icao.int/environmental-protection/Documents/Publications/Guidance_BalancedApproach_Noise.pdf>.

INFRAERO, Relatório Ambiental 2003/2004. Disponível em <http://www.infraero.gov.br/images/stories/Infraero/Contas/Relatorios>.

LEI Nº 6.253. 24 de Maio de 2007. Disponível em <http://leis.guarulhos.sp.gov.br/06_prefeitura/leis/leis_download/06253lei.pdf>.

NELSON, P. M., Transportation Noise Reference Book, 1987.

NETO, A. G., Análise do Ruído Aeronáutico no Entorno do Aeroporto de São José dos Campos. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté, Taubaté, São Paulo, Brasil, 2010.

Pesquisa relaciona ruído de aviões a risco maior de derrame e doenças cardíacas. Disponível em <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2013/10/131009_pesquisa_ruido_avioes_doencas_rw> ,Outubro de 2013.

PREFEITURA DE GUARULHOS, Diadnóstico do Setor Habitacional - Plano Local de Habitação de Interesse Social de Guarulhos, 2011. Disponível em <http://www.guarulhos.sp.gov.br/files/PLHIS_Guarulhos_diagnostico%281%29.pdf>.

ROCHA, R. B., Um Método para Adequação do Zoneamento Urbano à Influência Sonora dos Aeroportos com Auxílio de Sistemas de Informação Geográfica: O Caso do Aeroporto de Congonhas e seu Entorno. Dissertação de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2009.

VALIM, F. C., Análise das Diferentes Formas de Atenuação do Ruído Aeronáutico. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Brasília, 2006.

ANEXO A – AVALIAÇÃO DE HORA EM HORA NOS RECEPTORES CRÍTICOS

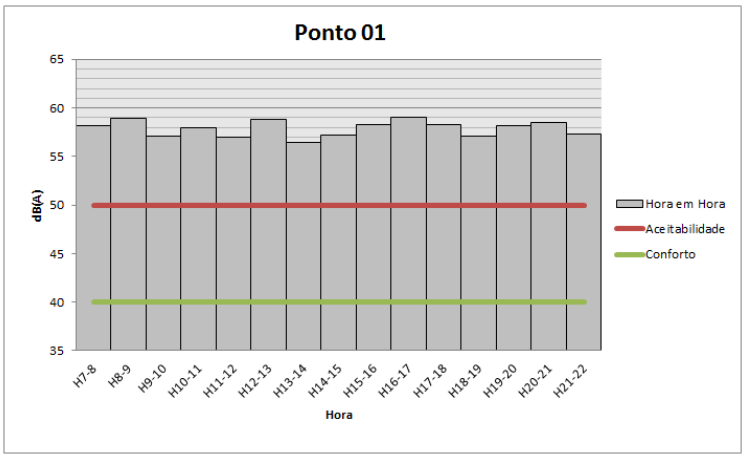


Figura 39: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Municipal Jardim Ipanema.

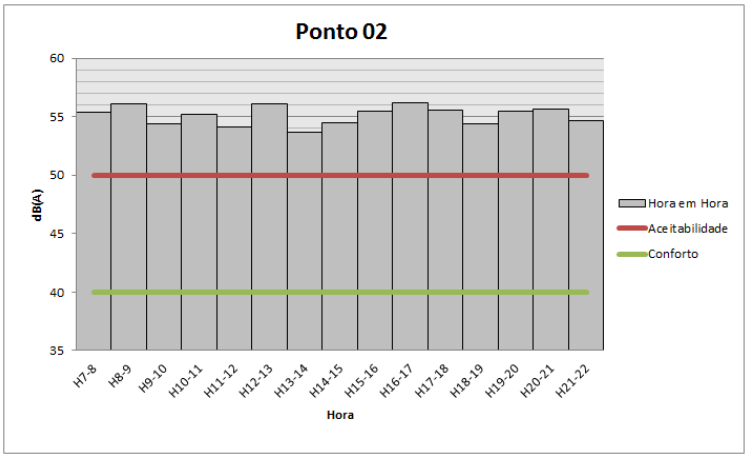


Figura 40: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola de Educação infantil Cantinho da Alegria.

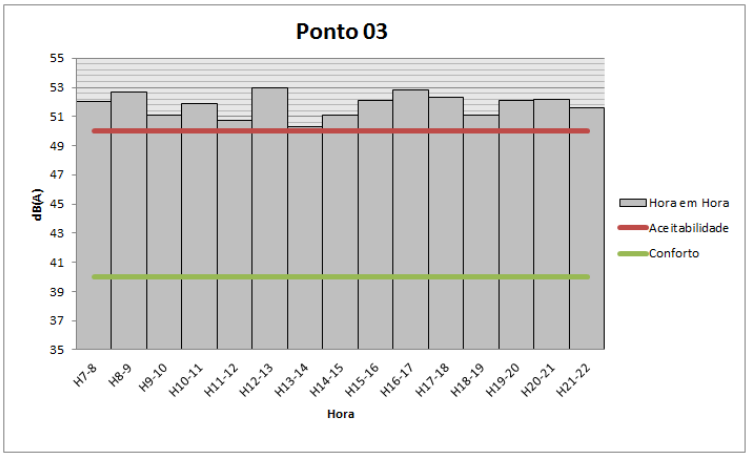


Figura 41: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Centro Educação Infantil Cantinho do Saber.

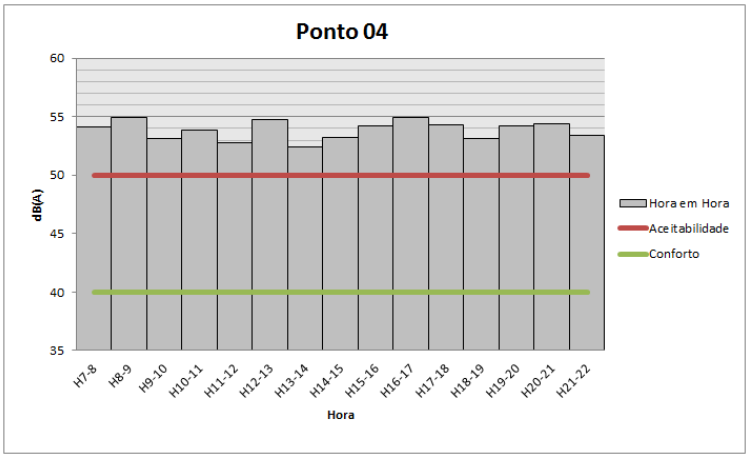


Figura 42: Avaliação de Ruído de Hora em Hora na Escola Publica Profª Odete Fernandes Pinto da Silva.

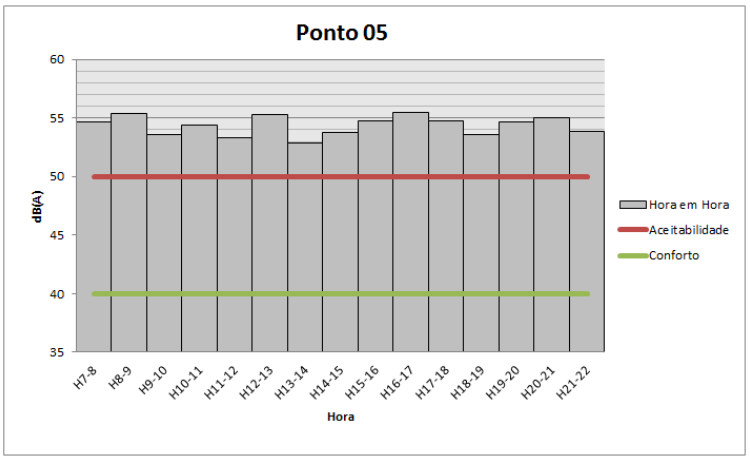


Figura 43: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Publica Profº Joaquim Garcia Salvador.

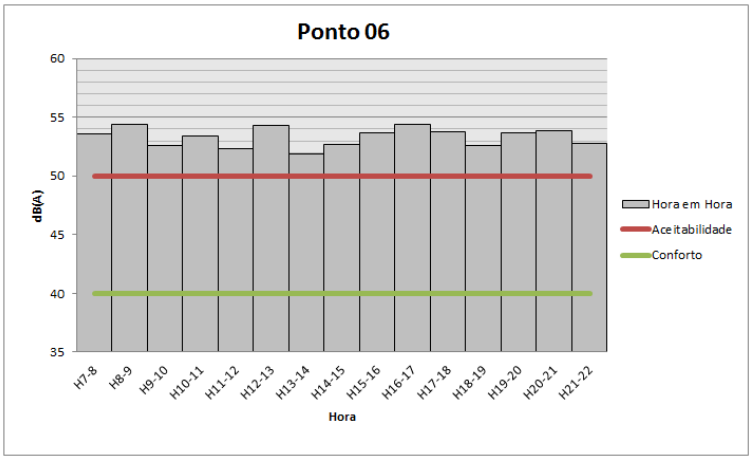


Figura 44: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Centro de Educação Infantil Vitória.

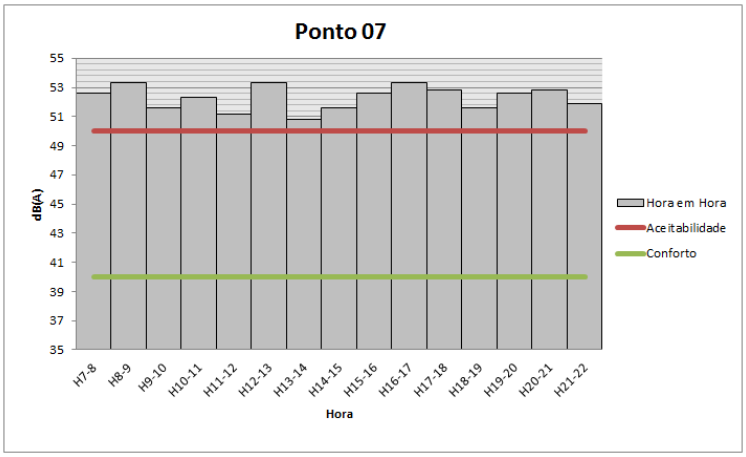


Figura 45: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Municipal Heitor Mauricio de Oliveira.

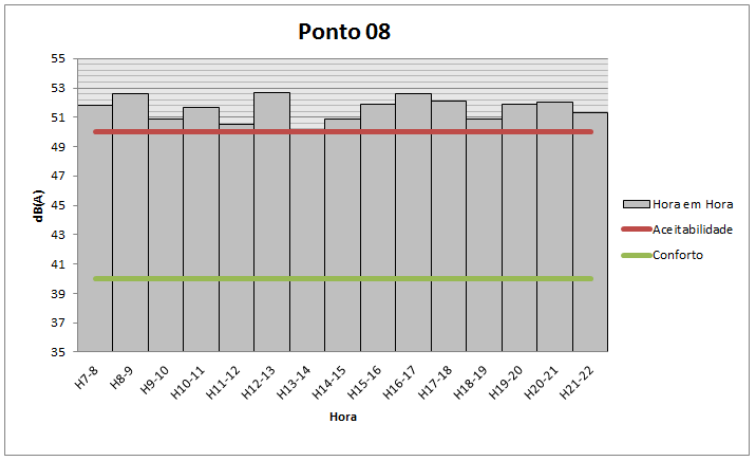


Figura 46: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Estadual Deputado Cantídio Sampaio.

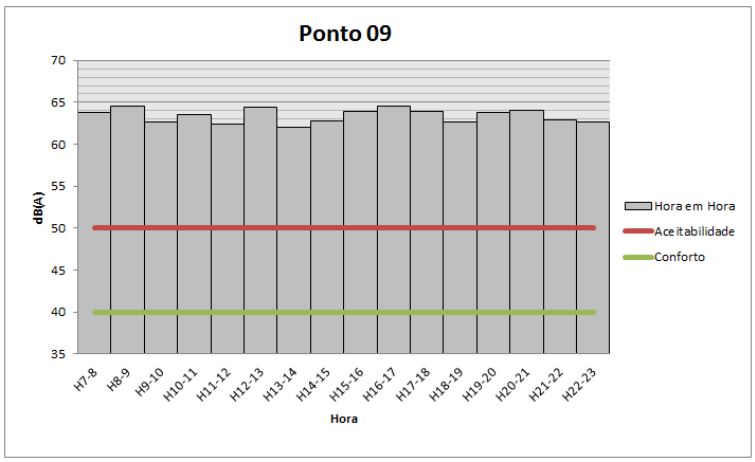


Figura 47: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Colégio Almeida Gasparin.

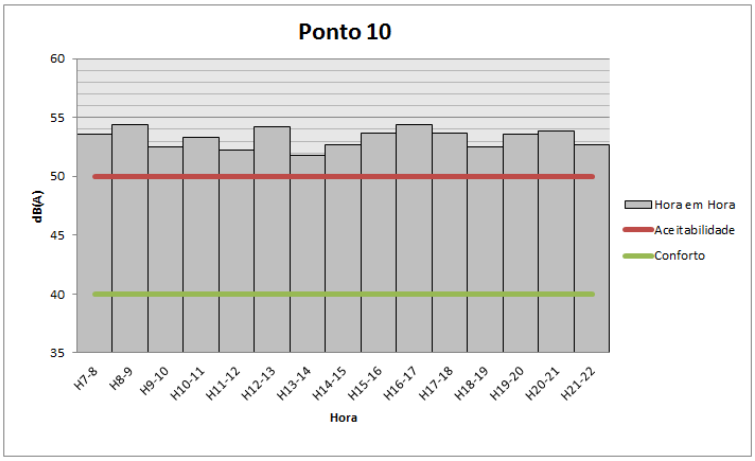


Figura 48: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola de Educação Infantil Gente Feliz.

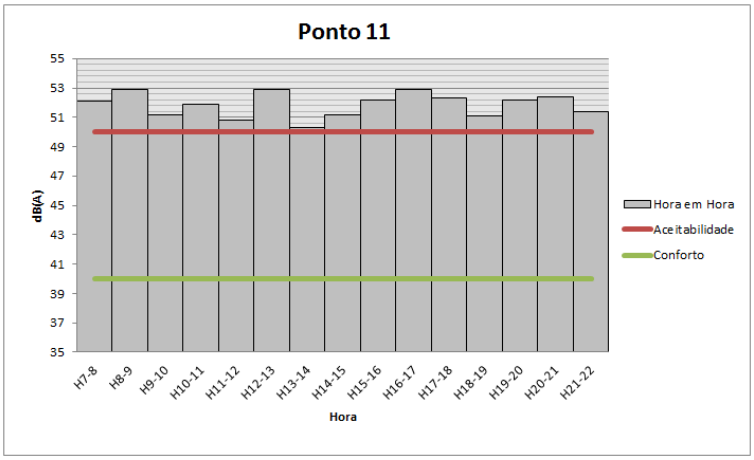


Figura 49: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Núcleo Educacional Santa Clara.

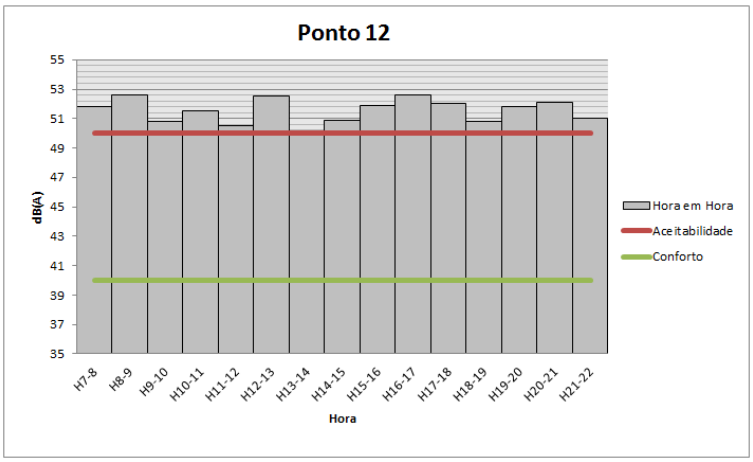


Figura 50: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Colégio Santa Clara.

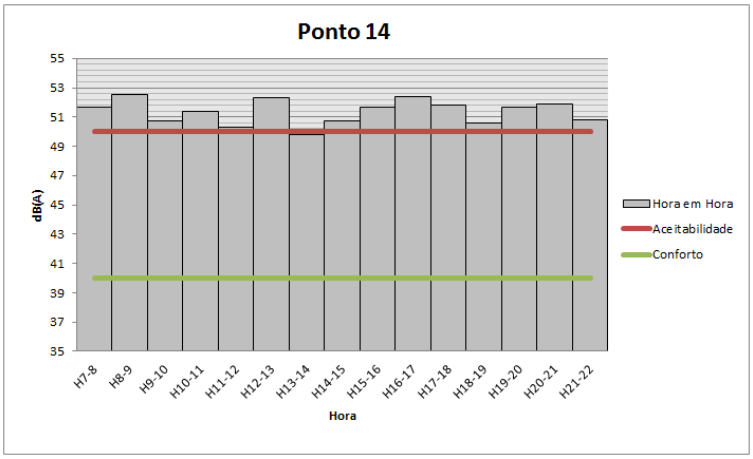


Figura 51: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Municipal Selma Colalillo Marques Domadora.

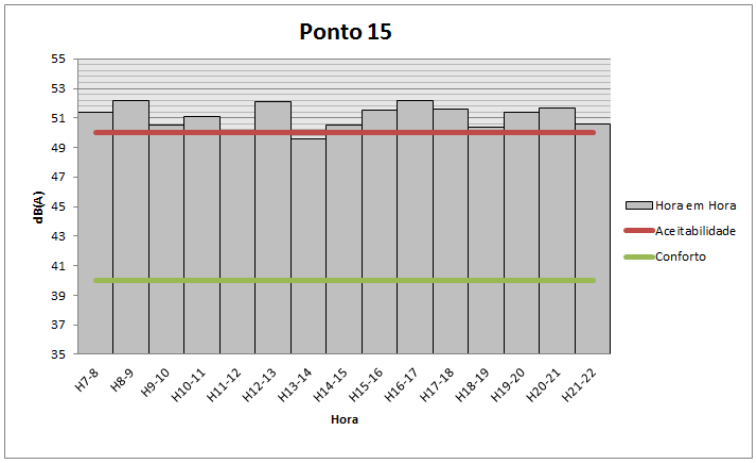


Figura 52: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Colégio Magnus.

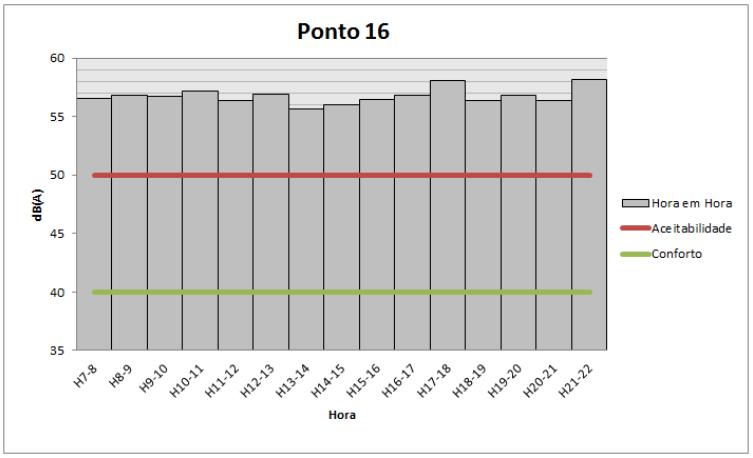


Figura 53: Avaliação de ruído de Hora e Hora na Escola Estadual Pastor Rubens Lopes.

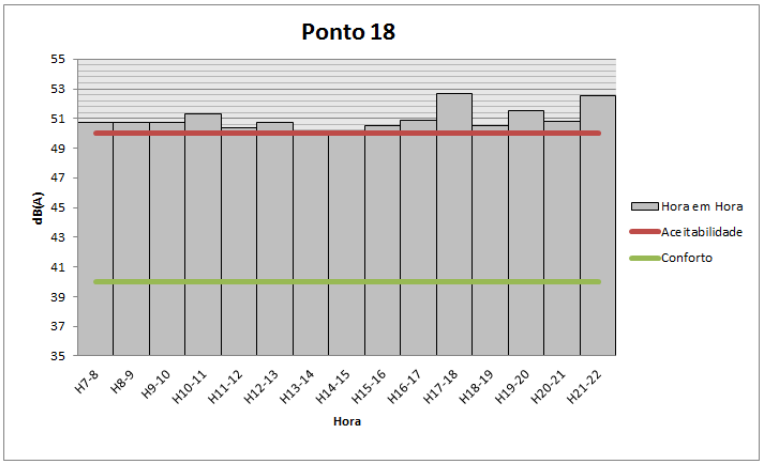


Figura 54: Avaliação de ruído na Escola Municipal Marfilha Belloti Gonçalves.

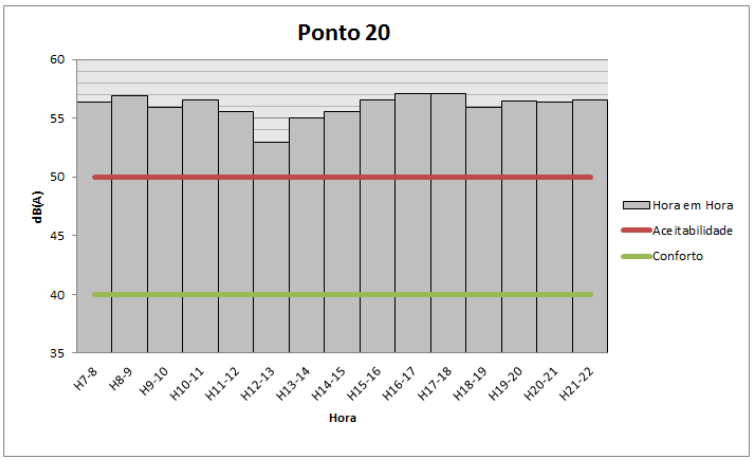


Figura 55: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Jardim Escola Pequeninos.

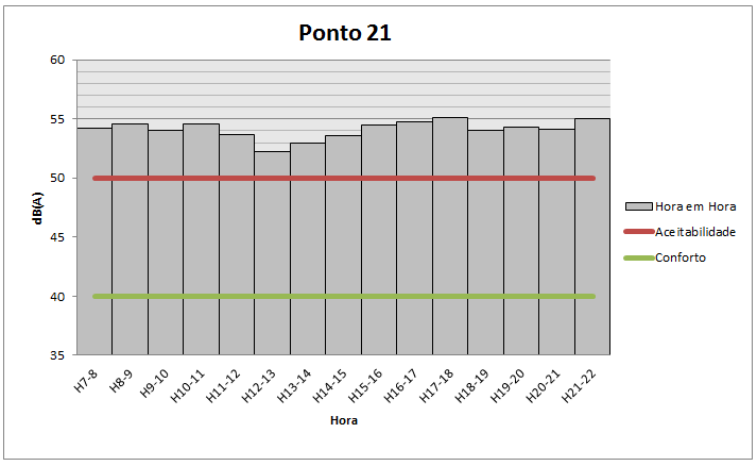


Figura 56: Avaliação de ruído de Hora em Hora no CMEI Mariazinha Rezende Fusari.

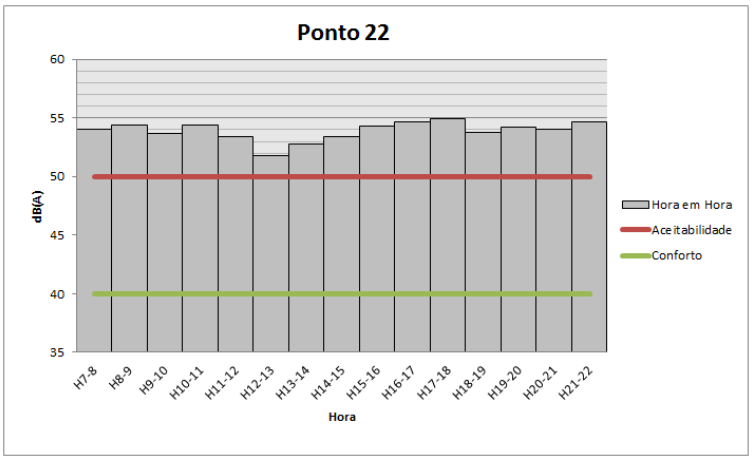


Figura 57: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Colégio Educar.

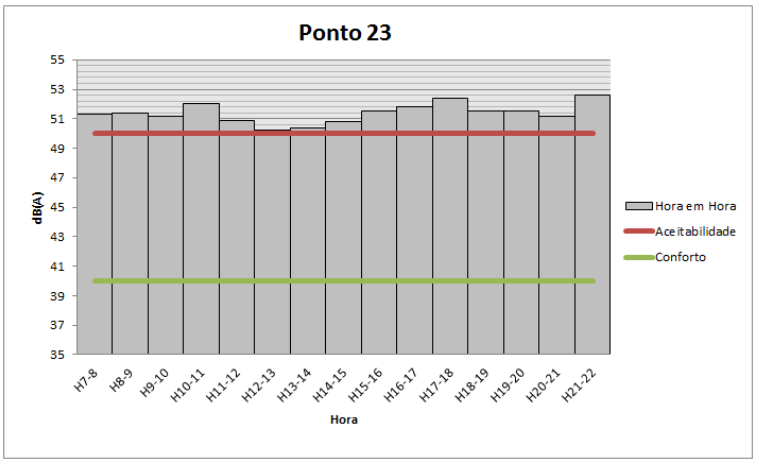


Figura 58: Avaliação de ruído de Hora em Hora no Colégio Educar.

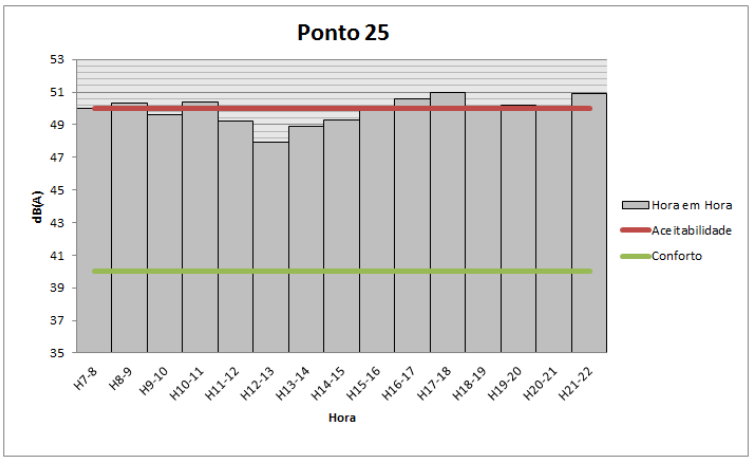


Figura 59: Avaliação de ruído de Hora em Hora na Escola Municipal Barbara Andrade Tenório de Lima.