



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Departamento de Engenharia Mecânica

DEM/POLI/UFRJ



ESTUDO PRELIMINAR PARA A ELABORAÇÃO DE UM SISTEMA NACIONAL
PARA A CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO AEROPORTUÁRIO

Conrado Souza e Silva

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 ENGENHEIRO MECÂNICO.

Aprovado por:

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

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

Prof. Daniel Alves Castello, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

SETEMBRO DE 2013

Dedico esse trabalho a minha família que eu amo.

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de deixar meus agradecimentos a meus pais e meu irmão que sempre me apoiaram durante a vida, guardaram por mim me repreendendo quando preciso ao mesmo tempo que me demonstram seu orgulho nos momentos de vitória. Sempre lutando na vida eles me ofereceram tudo, para o qual não há gratidão suficiente.

Também quero agradecer o meu orientador Jules por toda a paciência e empenho para me orientar neste trabalho e por tudo que eu já pude aprender com ele durante o período de iniciação científica. Aos professores que aceitaram participar da banca de avaliação do trabalho pela atenção e o profissionalismo prestado. Aos meus colegas que fizeram parte da minha caminhada durante esse período de graduação, no qual muitas alegrias e dificuldades foram compartilhados.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 A AVIAÇÃO NO BRASIL	3
1.2 A ATIVIDADE AEROPORTUÁRIA	4
1.2.1 Aspectos Importantes da Implantação e Operação dos Aeroportos.....	7
1.2.2 Encroachment Urbano	8
1.2.3 O Apagão Aéreo	11
1.3 OBJETIVO	12
1.4 JUSTIFICATIVA.....	13
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	14
1.6 CONTRIBUIÇÕES	15
2 RUÍDO AEROPORTUÁRIO	16
2.1 CONCEITUAÇÃO FÍSICA	17
2.1.1 Interferência de Ondas.....	19
2.1.2 A Onda Sonora	20
2.2 PERCEPÇÃO HUMANA DO SOM	22
2.2.1 Percepção do Ruído	23
2.3 MÉTRICAS DE RUÍDO.....	26
2.3.1 Métrica SEL.....	27
2.3.2 Métrica Leq	28
2.3.3 Métrica DNL	29

2.3.4 Curvas de Ruído	30
2.4 ABORDAGEM EQUILIBRADA – <i>BALANCED APPROACH</i>	32
3 LEGISLAÇÃO E EFEITOS DO RUÍDO	35
3.1 EFEITOS DO RUÍDO NO HOMEM	36
3.1.1 Mascaramento da Fala	37
3.1.2 Interferência no Sono.....	39
3.2 RELAÇÃO ENTRE DNL E INCÔMODO.....	41
3.3 LEGISLAÇÕES APLICADAS AO RUÍDO AEROPORTUÁRIO	43
3.3.1 Planos de Zoneamento de Ruído	45
3.3.2 Licenciamento Ambiental.....	46
3.3.3 Referências Normativas.....	48
4 ESTUDO DE CASO	50
4.1 O AEROPORTO INTERNACIONAL DE VIRACOPOS	51
4.2 TABELA HOTRAN.....	56
4.3 SIMULAÇÃO.....	59
4.3.1 Resultados das Simulações.....	60
5 CONCLUSÕES	63
APÊNDICE A	68
APÊNDICE B	69

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1-1 - Crescimento do número de movimentos	4
Tabela 2-1 - Porcentagem estimada de pessoas altamente incomodadas	32
Tabela 3-1 - Valores SIL com a distância	38
Tabela 3-2 - Níveis critérios de avaliação	48
Tabela 3-3 - Avaliação do incômodo gerado pelas operações aeroportuárias ...	49
Tabela 4-1 - Procedimentos de decolagem do SBKP	53
Tabela 4-2 - Composição da frota de tráfego doméstico regular	55
Tabela 4-3 - Composição da frota tráfego internacional regular	55
Tabela 4-4 - ATM HOTRAN 1/2013	57
Tabela 4-5 - ATM HOTRAN 1/2013 por dia	57
Tabela 4-6 – Comparação das áreas de exposição sonora dos cenários Atual e 2018.....	60
Tabela 4-7 - Comparação das áreas de exposição sonora entre os cenários semanais e o atual	60
Tabela 4-8 - Nível sonoro nos receptores críticos para os cenários atual, e os cenários hora-pico	61
Tabela 5-1 - Desvio relativo dos coeficientes angulares dos cenários semanais em relação ao Atual.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 - Aeroportos administrados pela INFRAERO	6
Figura 1-2 - Principais conexões da malha aeroviária	8
Figura 1-3 - Aeroporto de Congonhas (SBSP) recém construído.....	9
Figura 1-4 - Crescimento do entorno do SBSP	10
Figura 2-1 - Propriedades de uma onda senoidal	17
Figura 2-2 - Propagação da onda no a	18
Figura 2-3 - Frentes de propagação de onda.....	21
Figura 2-4 - Curva de Fones de Fletcher e Munson	24
Figura 2-5 - Filtros usados nas ponderações A, B e C	25
Figura 2-6 - Métricas usadas para avaliação do ruído	27
Figura 2-7 - Evolução do nível de pressão sonora.....	28
Figura 2-8 - Curva de ruído simulada.....	31
Figura 3-1 - Estudos sobre interferência do sono	40
Figura 3-2 - Curva de Schult	42
Figura 3-3 - Plano Básico de Zoneamento de Ruído	46
Figura 4-1 - Aeroporto de Viracopos (SBKP).....	51
Figura 4-2 - Previsão de demanda de passageiros	52
Figura 4-3 - Previsão de demanda de movimentos	52
Figura 4-4 - Horas-pico SBKP	58
Figura 4-5 - Curvas de ruído e receptores críticos em Viracopos.....	62

Figura 5-1 - Regressão linear das áreas em escala logarítmica 65

1 INTRODUÇÃO

A aviação tem ganho um papel muito importante em diversos aspectos no mundo todo desde seu início no início do século XX. Nesse século houve um processo gradual e contínuo onde as distâncias entre as pessoas, países e nações foram perdendo magnitude progressivamente em detrimento de um mundo mais globalizado e coeso.

O avanço tecnológico fez o papel de agente catalizador no qual diversas barreiras foram sendo quebradas, sendo elas no campo das telecomunicações, broadcasting, transportes, e a própria internet. A ação conjunta de todos esses fatores mudou drasticamente a forma e cara da sociedade influenciando diretamente as estruturas políticas e econômicas, onde seus agentes em todo o mundo se viam obrigados a acompanhar toda essa revolução sem nem mesmo haver um preparo uniformizado nesse mesmo mundo para tantas mudanças em tão pouco tempo.

Um desse fatores contribuintes de importância foi a aviação que com o tempo veio se desenvolvendo gradualmente desde o primeiro voo em 1906, quando Santos Dumont levantou voo em uma aeronave auto propelida pela primeira vez, até ganhar um forte impulso na utilização militar devido ao seu grande potencial estratégico para então finalmente começar a ser explorada amplamente nos setores civis da sociedade, seja transportando passageiros ou cargas.

Assim aos poucos a aviação civil foi se estabelecendo como um setor econômico com um grande mercado em potencial. Empresas aéreas são formadas dando impulso a indústria aeronáutica e ao turismo em escalas cada vez mais maiores destacadamente em países desenvolvidos e emergentes além de criar oportunidades comerciais que a medida que o tempo passa se tornam, com bastante pressa, artérias vitais do modelo econômico estabelecido na sociedade.

Conforme essas estruturas vão se estabelecendo, o setor de aviação civil também evolui de forma a se tornar mais eficiente, atrativo e seguro, uma vez que a competitividade vai selecionando as empresas que melhor se adequam ao mercado oferecendo melhores conforto, tarifas, serviços, etc. Passa a ser necessário também que o setor seja regulado afim de que normas e exigências essenciais para a

viabilidade da aviação civil seja possível. Normas essas que vão não apenas incorporar o caráter de segurança necessária a uma atividade de risco como a aviação como também refletir cada vez mais as pressões ambientais que com o passar do tempo vão se tornando mais rígidas e os impactos ambientais mais valorizados. Um grande marco a nível internacional desse processo de normalização foi em 1944 quando foi então criada a ICAO – *International Civil Aviation Organization* (Organização Internacional de Aviação Civil) – que assumidamente tem por fim a regulação de itens relacionados a eficiência, segurança, regularidade e proteção ambiental através da cooperação de seus países membros (Organização Internacional de Aviação Civil). Há também ações de alcance regional tomadas por governos que buscam regular o setor em seus respectivos territórios, como por exemplo no Brasil onde as resoluções estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) visam implementar a política nacional do meio ambiente.

Dentre os impactos ambientais previstos na aviação, se destaca como mais grave a poluição sonora causada pelos equipamentos que operam no pátio do aeroporto e pelas movimentações de decolagem e pouso das aeronaves (INFRAERO, 2013). Esse impacto é considerado uma externalidade uma vez que o principal alvo deste é a população urbana que se encontra próxima ao aeroporto e que ele é decorrente direto da própria atividade de exploração da aviação. Nesse caso o principal agente da poluição sonora é o ruído sonoro, sendo chamado de ruído aeroportuário.

O ruído aeroportuário é considerado de grande importância pois é um efeito colateral da própria aviação e requer para sua mitigação ações interconectadas de diferentes órgãos governamentais, dos administradores do aeroporto e de avanços tecnológicos desafiadores além também de ser considerado como um dos agentes mais nocivos para a saúde física e psíquica das pessoas. Esse requerimento é uma questão tão crítica quanto o próprio problema do ruído pois essa interconexão necessária não é bem consolidada, onde muitas vezes as autoridades procuram tratar do problema de modo segmentado, quando ele se encontra em uma intercessão de diferentes níveis de atuação.

1.1 A Aviação no Brasil

O início da exploração da atividade no Brasil vai remontar as primeiras décadas do século XX até os dias de hoje. Durante todo esse período a aviação civil passou por diversos momentos turbulentos que se não tinham origem nas tentativas de regulação e incentivo do setor, vinham de um reflexo das situações políticas e econômicas que o país se encontrava e diante disso as empresas eram obrigadas a se adequarem correndo o risco até de decretarem falência ou perderem a autorização da exploração econômica da atividade.

Em 1927 deu-se o estabelecimento da primeira linha aérea de voos regulares que ligava as cidades Rio de Janeiro, Pelotas e Porto Alegre e também houve a fundação da empresa que viria a ser uma representante dos altos e baixos que o setor encontrou durante a sua história., a VARIG (Viação Aérea Rio-Grandense). Nos anos 60 o Brasil já se encontrava em uma posição privilegiada, pois devido a sua grande extensão já possuía a segunda maior rede comercial em volume de tráfego do mundo, ficando atrás apenas dos EUA. Nessa época o setor era povoado por 16 empresas, mas por serem incentivadas pelo governo a serem fundidas, esse número caiu para apenas 4 (Perez, 2009). Diante de fatos como esse vai se mostrando o quanto o setor é sensível e as dificuldades de controlar suas instabilidades ao mesmo tempo em que ele se expande de uma forma não muito bem comportada e imprevisível. Não obstante, nesse mesmo período nasce a TAM (Transporte Aéreo Marília) que hoje é a maior empresa do aviação civil no hemisfério sul.

Nos anos seguintes a situação foi piorando e o mercado ficou gravemente abalado chegando basicamente ao congelamento dos preços durante as décadas de 80 e 90. As principais causas apontadas são os sucessivos planos econômicos e uma política tarifária dissonante com os custos operacionais das empresas (Perez, 2009). Esse período foi marcante devido ao grande endividamento acumulado pelas empresas que se mostrou crucial no futuro quando algumas das mesmas tiveram que encerrar suas atividades por não conseguirem mais aplicar um plano de recuperação.

A fim de salvar o setor, o governo foi obrigado a aplicar uma flexibilização das políticas do setor, facilitando a entrada de novas empresas e permitindo uma competitividade mais livre e um mercado mais saudável. Porém em 2003 o governo passou a interferir no mercado novamente de forma mais direta em um processo de

“re-regulação” justificado pela falta de controle do “excesso de capacidade” e uma “competição ruinosa”.

No Brasil a demanda ainda vem causando pressão no mercado da aviação civil, apenas entre 2008 e 2012 a quantidade de passageiros passou de pouco mais de 112 (cento e doze) milhões para quase 200 (duzentos) milhões de pessoas (INFRAERO, 2012), um aumento agressivo para a infraestrutura aeroportuária nacional uma vez que o número de movimento de aeronaves aumenta naturalmente em proporção.

Tabela 1-1 - Crescimento do número de movimentos

Ano	Movimentos	% Anual
2008	2.128.823	-
2009	2.290.950	7,62
2010	2.645.918	15,58
2011	2.893.203	9,26
2012	3.001.946	3,76

Fonte: Anuário Estatístico Operacional, INFRAERO, 2012

Como é possível verificar na Tabela 1-1, essas quantidades de movimento de aeronaves são números massivos que tendem a continuar crescendo. Esse fato representa também um aumento da concentração desses voos uma vez que pouco menos de 70% dos movimentos se encontram em apenas 10 aeroportos (INFRAERO, 2012) que são localizados nos centros urbanos mais povoados do país. Quando o uso intensivo da malha aeroviária (aerovias) ocorre sem ações que levem em conta o ruído aeroportuário, seus efeitos também se tornam mais intensos. Isso faz parte do caráter dinâmico do problema, que requer portanto não apenas medidas mitigadoras como também um acompanhamento regular e rigoroso.

1.2 A Atividade Aeroportuária

O correto funcionamento, organizado e seguro das aerovias requer uma infraestrutura operacional e logística especial. No Brasil esse funcionamento é de

grande importância, além dos motivos já apresentados, também por ser um país de dimensões continentais e apresentar grande dificuldade em interconectar todas as regiões em seu território. As alternativas rodoviárias, apesar de terem sido priorizadas por governos durante muito tempo, não possuem condições adequadas e não representam soluções efetivas de praticidade, principalmente na maioria dos centros urbanos. As alternativas ferroviárias foram quase que completamente ignoradas e o país também não desenvolve e utiliza seus potenciais recursos hidroviários. Fica então a aviação responsável por cobrir a falta de opções para transporte de cargas e passageiros e as limitações das opções rodoviárias.

O aeroporto é parte fundamental da infraestrutura que suporta a aviação. De acordo com a ANAC (Portal ANAC, 2013) – Agência Nacional de Aviação Civil – os aeroportos são “aeródromos públicos dotados de instalações e facilidades para apoio de operações de aeronaves e de embarque e desembarque de cargas” e “aeródromo é toda área destinada para pouso, decolagem e movimentação de aeronaves”. A principal administradora de aeroportos é a INFRAERO que é responsável por 63 aeroportos em todo território nacional, onde estão concentrados uma quantidade de voos regulares que representam aproximadamente 97% do total e seus serviços de navegação aérea cobrem uma extensão de mais de 140.000 (cento e quarenta mil) quilômetros de aerovias inferiores e outros 55.000 (cinquenta e cinco mil) de aerovias superiores (INFRAERO Aeroportos, 2013).



Figura 1-1 - Aeroportos administrados pela INFR AERO

Fonte: Relatório Anual, INFR AERO, 2012

Então sendo o aeroporto uma estrutura indispensável, ele também por outro lado é também a representação da ação antrópica na área em que está localizado, tendo sobre a mesma diversos impactos, inclusive os ambientais, dentre eles o ruído aeroportuário como já apontado. No entanto não pode ser mais considerado como solução o simples deslocamento do aeroporto para regiões mais afastadas dos centros urbanos ou regiões de baixa densidade populacional uma vez que outros problemas surgiriam na mesma proporção, como a questão da preservação de áreas livres da ocupação urbana (Caldas, 2013).

Assim ocorre inevitavelmente a necessidade da gestão do ruído, que também não pode ser restrito apenas à limitação do número de movimento de aeronaves (fator determinante) permitidos no aeroporto pois isso acarretaria graves prejuízos econômicos o que seria um contrassenso, já que uma das premissas da aviação é o desenvolvimento econômico.

1.2.1 Aspectos Importantes da Implantação e Operação dos Aeroportos

Normalmente uma das justificativas da implantação ou expansão de um aeroporto são de caráter econômico, ou porque o já instalado não apresenta capacidade de funcionar com as operações necessárias ou porque não existe de fato um aeroporto. Portanto são feitos estudos objetivando caracterizar a região economicamente quanto ao seu potencial de tráfego aéreo. Dentre os lugares propostos, aquele que melhor se enquadra aos objetivos do futuro aeroporto é escolhido.

Os administradores aeroportuários são responsáveis pela elaboração do Plano Diretor Aeroportuário (PDIR) onde estarão formalizadas diretrizes para a implantação e operação do aeroporto objetivando o melhor desenvolvimento do mesmo e otimização do espaço e das capacidades operacionais. O PDIR deve ser atualizado sempre que for necessário adequar-se a novas realidades do país.

Ele é feito em quatro etapas. A primeira está envolvida com a coleta de dados de diversas naturezas. É nessa etapa também tomado bastante atenção às questões urbanas e ambientais visando minimizar os possíveis efeitos gerados pela implantação do aeroporto. É fundamental para tal a colaboração das autoridades municipais. Nas duas etapas seguintes são analisadas a demanda e as possíveis alternativas para o desenvolvimento do aeroporto dentro desse cenário. Na quarta e última etapa é organizado todo o planejamento já realizado e apresentado uma proposta para o desenvolvimento do aeroporto, onde constam as Diretrizes Urbanas, Ambientais e de Acessibilidade, que procuram instruir as autoridades do governo como se adequar a instalação do aeroporto e mostram delimitas a Área de Segurança Aeroportuária, Zona de Proteção e o Zoneamento de Ruído. Todos esses itens são essenciais para o funcionamento apropriado do aeroporto a longo prazo.

O melhor planejamento possível deve ser alcançado em visão não apenas do aeroporto mas porque ele faz parte de uma rede maior de fluxos de aeronaves onde um gargalo operacional pode afetar diversas outras regiões do país.

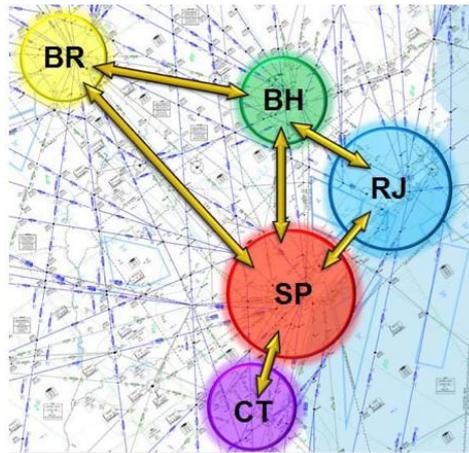


Figura 1-2 - Principais conexões da malha aeroviária

Fonte: site INFRAERO, acesso em 2013

ambiental é imperativa desde os primeiros estágios da implantação de um aeroporto, sendo o órgão ambiental estadual a instituição que deverá zelar pela aplicação das normas do CONAMA. Os responsáveis pelo aeroporto são encarregados do Estudo de Impacto Ambiental e de seu respectivo relatório (EIA/RIMA) que são exigidos para a certificação e o licenciamento.

Uma vez em operação, o aeroporto deve seguir as diretrizes sobre as quais ele pode ser autorizado a existir, que englobam aspectos de controle da segurança e da gestão do meio ambiente. Esta última compõe um corpo de procedimentos para diversos objetivos e situações que envolvam controle de áreas degradadas, resíduos, recursos naturais dentre outras, todas objetivando a atenuação dos impactos e riscos ambientais e podem envolver parcerias entre os administradores do aeroporto e outras instituições do governo e ONGs. Uma parte desses procedimentos faz parte do Programa de Controle e Uso do Solo no Entorno que busca cuidar do ruído aeroportuário através de amparações legais.

1.2.2 Encroachment Urbano

Apesar de a operação de aeroportos ser por si só uma atividade especializada e individualizada, há um contexto secundário que inevitavelmente tem surgido a medida que os aeroportos vão ganhando destaque na região em que estão situados.

A atividade aeroportuária vai depender de outras atividades que não impactam ou são relacionadas com a aviação propriamente, mas sim com a ocupação do solo urbano. Conforme o tempo passa, o aeroporto vai se tornando um ponto de convergência, onde são atraídas aos poucos a comunidade de uma forma geral, além de atividades comerciais que se relacionam tanto com a comunidade como com a infraestrutura aeroportuária. Esse fenômeno confere um adensamento populacional e urbano incomum em regiões adjacentes ao aeroporto.

De uma forma geral planos de urbanização não preveem tal fenômeno, até porque não é algo de simples visualização uma vez que nas décadas do século XX não ocorreu apenas o desenvolvimento da aviação civil no Brasil mas também um crescimento acelerado das principais cidades brasileiras e suas populações. Nas imagens abaixo pode-se observar como esse processo foi ocorrendo nos arredores do aeroporto de Congonhas.



Figura 1-3 - Aeroporto de Congonhas (SBSP) recém construído

Fonte: GERA (2012)



Figura 1-4 - Crescimento do entorno do SBSP

Fonte: GERA (2012)

A ocupação acaba naturalmente ocorrendo em áreas que sofrem grande impacto devido ao ruído, ou se não for esse o caso, essas áreas têm um grande potencial para no futuro sofrerem esse impacto, quando então seria ainda pior pois a vítima é a população que vive ou trabalha nessas áreas.

Para o CAEP – *Committee on Aviation Environmental Protection* – é caracterizado como *encroachment* o adensamento populacional em áreas “incompatíveis” ou “potencialmente incompatíveis” com o ruído das aeronaves. Ele acaba assim se tornando um conceito relativo pois é apontado que se de um lado ele, o *encroachment*, tem como causas fatos de ordem irregular em relação a legislação aeronáutica, por outro, a forma como o ruído é tratado e quantificado é inadequada para esse fim porque mesmo que não haja irregularidades ainda poderá haver regiões onde os efeitos do ruído sejam presentes (Heleno, 2010).

O *encroachment* acaba por refletir as dificuldades que estão associadas a gestão do ruído acoplada a gestão do uso do solo nas áreas urbanas próximas ao sítio aeroportuário e incorpora em seus efeitos a queda da qualidade de vida da população dessas áreas.

1.2.3 O Apagão Aéreo

Em 2006 a aviação civil no Brasil viveu sua maior crise. O setor que era considerado o mais bem estruturado (em relação aos demais modais de transporte do país) viu-se de repente com sua reputação nacional e internacional fortemente abalada e sua segurança passou a ser considerada duvidosa com suas repercussões chegando até a presidência da república.

A crise tem como principais causas a falta de infraestrutura dos principais aeroportos e a falta de investimentos adequados pelo menos desde 2002. Em 2006 houve uma colisão entre uma aeronave Boeing da empresa GOL com um Jato Legacy da Embraer com a morte de todos os passageiros assim como da tripulação. Em decorrência desse fato, alguns controladores de voo foram afastados havendo uma sobrecarga sobre os que restaram. Essa sobrecarga foi somada as reivindicações já existentes por parte dos mesmos controladores e poucos meses depois foi iniciada uma greve para pressionar o governo.

Na mesma época houve uma pane no centro processamento de dados do Cindacta (Centro Integrado de Defesa Aérea e Controle de Tráfego Aéreo), quando então houve a necessidade de desligar o radar no sul do país. Esses fatores combinados causaram um funcionamento instável da aviação civil, sendo normal naquela época a ocorrência de diversos atrasos por vários dias.

Menos de um ano depois, no aeroporto de Congonhas (SP) uma aeronave Airbus da TAM ao aterrissar na pista, choca-se com o terminal de cargas da própria companhia deixando 199 (cento e noventa e nove) vítimas fatais.

Todas essas “pequenas” ocorrências desencontradas apenas refletem a falta de seriedade que o setor vem sofrendo desde o início desse século. Até o estopim da crise é dito que a FAB sofreu cortes em todos os anos de verbas provenientes dos recursos necessários para a continuidade plena dos empreendimentos já iniciados (O Estado de São Paulo, 2007).

1.3 Objetivo

Esse trabalho estará focado na questão ambiental relacionada ao controle do ruído aeroportuário. O objetivo é montar um sistema de dados que permita ter o conhecimento do impacto do ruído nas regiões adjacentes a aeroportos no presente dos mesmos de forma que facilite a tomada de decisões e estratégias mitigadoras no decorrer de longos períodos de tempo.

A partir das informações de operações de voos regulares dos aeroportos, que comportam a grande maioria dos voos comerciais (cargas e passageiros) e portanto considerados os agentes causadores do ruído, serão feitas simulações computacionais, dispensando assim procedimentos que necessitam mobilização de pessoal técnico e equipamentos, que mostram como o ruído se propaga nos arredores do aeroporto e é sentido em locais característicos de atividades sensíveis ao ruído, como escolas e hospitais.

O processamento e formatação desses dados de forma apropriada e levando em consideração as legislações aplicáveis deverão formar um banco de dados que permita o controle do ruído aeroportuário uma vez que se aplicado a diversos aeroportos estaria sendo representada de forma virtual e compilada a situação real da aviação civil, pois como os voos são obrigatoriamente operações entre dois aeroportos, o ruído aeroportuário de dois aeroportos (no caso de voos domésticos) estariam conectados de forma que as atividades de um aeroporto geram efeitos em um outro, não sendo relevante a distancia entre eles. O controle do ruído seria mais efetivo partindo da perspectiva de que o ruído aeroportuário é fruto de um número massivo de operações entre diversos aeroportos interconectados. Uma outra utilidade seria no auxílio de estudos de demanda e de planos diretores de aeroportos buscando colaborar para definir cenários futuros para aeroportos que estejam sendo ampliados ou instalados.

No Estudo de Caso serão feitas simulações através do software INM (*Integrated Noise Model*) no Aeroporto de Viracopos (Campinas, SP) baseada nos dados públicos de movimentações regulares e das previsões de demanda buscando mostrar a evolução do ruído aeroportuário no longo prazo e como são afetadas as escolas da região.

1.4 Justificativa

O setor da aviação vem crescendo no Brasil e como pode ser concluído, não vem acontecendo um acompanhamento deste crescimento por parte de toda a infraestrutura que permite o funcionamento contínuo das atividades.

Nos últimos anos o país chegou a passar por uma crise que engloba outras crises menores, não obstante há pressões pelo aumento da qualidade de serviço, não apenas pelo crescimento natural, mas também por eventos como a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016. O Aeroporto de Congonhas (São Paulo, SP) já se encontra saturado, o Aeroporto de Viracopos já se fala em saturação até 2030, com os demais aeroportos responsáveis por voos nacionais e internacionais caminhando para situações semelhantes, além de já haver estudos mostrando que o Brasil pode passar novamente por uma crise no setor aéreo (Miotto, 2013).

A explosão de crescimento e desenvolvimento desses aeroportos não compartilha mais de espaço para planejamentos mais demorados e cuidadosos de modo que grossos investimentos deverão trazer benefícios a curto e médio prazo. O governo vem de forma abrupta injetando investimentos ao mesmo tempo que o mercado se torna mais dinâmico e flexível a medida que aeroportos de importância estão indo para o espaço da iniciativa privada através de concessões, como aconteceu com os Aeroportos de Guarulhos (SP), Viracopos (SP) e Brasília (DF).

Esse processo todo acontece no momento presente, e dependendo de sua evolução, os efeitos colaterais que hoje já são sentidos aumentarão em intensidade não apenas pela intensificação dos serviços prestados mas também de falta de planejamento e organização das quais o processo se valeu. Esses efeitos seriam sentidos pelas pessoas envolvidas mais diretamente com a aviação como também, por exemplo, populações urbanas próximas a aeroportos devido ao ruído aeroportuário.

As dificuldades de tratamento desse problema tendem a se tornar mais complicadas além de o país não estar preparado para enfrentá-lo da mesma maneira que países de primeiro mundo o fazem.

1.5 Estrutura do Trabalho

A estrutura adotada neste trabalho procura oferecer ao leitor uma compreensão contínua e linear de seu conteúdo de forma que a medida que se percorre pelo corpo do trabalho, exista uma progressão lógica e encadeada onde o conteúdo de um determinado capítulo seja ou uma sequência natural de seu antecessor ou um item fundamental para o seguinte até que a conclusão do trabalho seja alcançada. No final há uma bibliografia contando com todo o conteúdo pesquisado durante esse trabalho e anexos, cujo conteúdo são dados ou informações que foram usados no trabalho mas não fora necessário incorporá-los ao corpo do trabalho.

O primeiro capítulo consta de uma introdução, onde são contextualizados o tema e como ele se apresenta no país, a partir de sua história e as principais atividades relacionadas a ele. Então são apresentados o objetivo do trabalho e sua justificativa fundamentada na descrição das seções anteriores.

O segundo capítulo é dedicado a descrição acadêmica do ruído aeroportuário a partir de conhecimentos mais elementares, uma fundamentação teórica tratando da fenomenologia do ruído, da percepção do som (o seu caráter subjetivo) e das métricas – índices que permitem avaliar o ruído de acordo com as circunstâncias e as aplicações.

No capítulo seguinte, uma vez descrito de forma sucinta o ruído aeroportuário, é apresentado como ele afeta o homem em seu meio, através de seus impactos nocivos e prejudiciais, deixando claro o porquê dele ser indesejado. Também são apresentadas as principais normas que buscam a princípio limitar e regular o impacto do ruído nos ambientes, nos quais o homem se apresenta.

O quarto capítulo vai então tratar do estudo de caso do trabalho, fazendo uma demonstração do objetivo deste trabalho, englobando as informações sobre a simulação, características do aeroporto em questão, compilação e descrição final dos dados.

Por último é feita uma conclusão a respeito dos resultados alcançados na etapa anterior, como eles incorporam o objetivo final desse trabalho e o que eles representam em uma visão mais ampla da questão.

1.6 Contribuições

Para a realização das simulações necessárias a conclusão desse trabalho, houve o desenvolvimento de um algoritmo de pré-processamento de dados, tornando assim os dados recolhidos compatíveis com o exigido pelo *software* INM e também de forma a adequar os dados a diferentes métricas de ruído, conforme o apropriado a metodologia de estudo.

2 RUÍDO AEROPORTUÁRIO

Para uma visão mais abrangente sobre a fenômeno que deve ser estudado, se torna fundamental a compreensão de sua natureza, suas principais características e como elas ocorrem. Quando estamos falando de ruído aeroportuário, estamos trabalhando com o som, ou melhor, fenômenos ondulatórios e como é a eles possível impactar o ser humano.

A percepção humana do som é talvez o principal fator que torna a questão tão delicada, não apenas pelo seu caráter subjetivo, mas existe um meio intermediário entre o som (fenômeno ondulatório) que alcança o ouvido e o momento em que esse som é transformado em sinais que são interpretados no cérebro. Esse meio intermediário é um sistema biomecânico (e psicológico) cuja estrutura é composta por fluidos, ossos e membranas responsáveis pelo sistema auditivo humano, um sistema de rede neuronal cerebral que permite interpretar os sons. Esse mecanismo permite o homem diferenciar os sons, além de protegê-lo contra sons excessivamente altos, mas transforma a percepção a tal ponto que esta se faz relevante nos estudos de percepção sonora pois o homem se torna sensível de maneiras diferentes para sons diferentes.

Ao mesmo tempo a percepção do som é de importância tópica pois está envolvida na forma do homem interagir com o seu meio e com outros seres humanos através da comunicação por exemplo. O ruído é um outro resultado da percepção humana do som, mas se torna complicado uma definição fechada dele pois uma vez que ele seja um som ainda há fatores adicionais implícitos quando ele é percebido. Ele acaba por ser bastante pessoal e varia de pessoa a pessoa assim como as reações de desconforto associadas a ele.

De uma forma geral, um som será caracterizado de ruído quando este for indesejado, assim a noção de ruído é fortemente qualitativa e vai ser adequada dependendo da situação e das circunstâncias não havendo portanto diferenciação física entre som e ruído. No contexto deste trabalho, a origem do ruído é o aeroporto em suas diferentes formas de atividades, sejam movimentação de pouso ou decolagem de aeronaves, ou utilização de aparelhagem aeroportuária, procedimentos de teste de motores entre outros.

Se a percepção do som é totalmente necessária na civilização, o ruído vai trazer diversos efeitos não apenas relacionados a sua natureza sonora prejudicando assim as outras formas onde o som é útil, mas outros que se manifestam na saúde física e mental. É inclusive relatado (Caldas, 2013) que os primeiros estudos de impacto de ruído aeroportuário foram feitos devido a evidências como reclamações e interferência do comportamento das pessoas.

2.1 Conceituação Física

O som é descrito como uma onda que se propaga a partir de uma fonte através de um meio. A parte da ciência que estuda as ondas e seus fenômenos é a ondulatória.

A onda é descrita como uma perturbação que se propaga por um meio físico, quando ondas mecânicas. Podem também ser independentes de meio de propagação, sendo nesse caso de natureza eletromagnética. Em ambos os casos haverá uma energia associada ao fenômeno.

A perturbação vai estar associada a variação de alguma grandeza física do meio físico de propagação. Essa perturbação ocorrendo de forma regular gera pulsos onde a grandeza física vai alcançar um nível máximo para depois chegar a um nível mínimo, para cada pulso ao longo do tempo, formando assim uma onda.

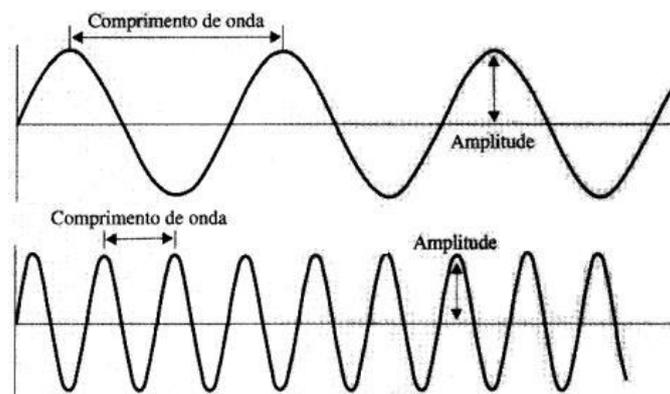


Figura 2-1 - Propriedades de uma onda senoidal

Fonte: GERA (2012)

Cada onda então será caracterizada por algumas propriedades básicas:

Amplitude: Representa a altura máxima que a grandeza a variar alcança enquanto se propaga, sendo assim seu pico. São importantes em ondas senoidais.

Frequência: Esta ligada a periodicidade dos pulsos. Sendo os pulsos periódicos, haverá um intervalo de tempo entre cada pico de onda. Esse intervalo é chamado de período (quando tratar de uma onda periódica) e a frequência é o inverso do período. Ela é medida em Hz (Hertz).

Comprimento de Onda: É a distância entre dois picos da onda. É inversamente proporcional a frequência, portanto quanto maior o comprimento de onda, menor será a frequência ou o contrário.

O comprimento de onda e a frequência estão relacionados pela velocidade que a onda se propaga pelo meio. Esta velocidade é uma característica do meio, sendo portanto constante e independente da fonte de onda a onda se origina.

No caso do som, o meio é o ar, uma mistura de gases que se comporta semelhante a um gás ideal, portanto um meio elástico. Quando exposto a algum esforço, como o de uma membrana vibrando por exemplo, a porção de ar imediatamente próximo a membrana (em contato com ela) sofrerá uma compressão e então em seguida uma rarefação de acordo com o movimento da membrana. Assim haverá picos onde a densidade e a pressão serão altos e entre estes haverá níveis mínimos onde o ar é mais rarefeito conforme esses pulsos se propagam, caracterizando assim a onda sonora.

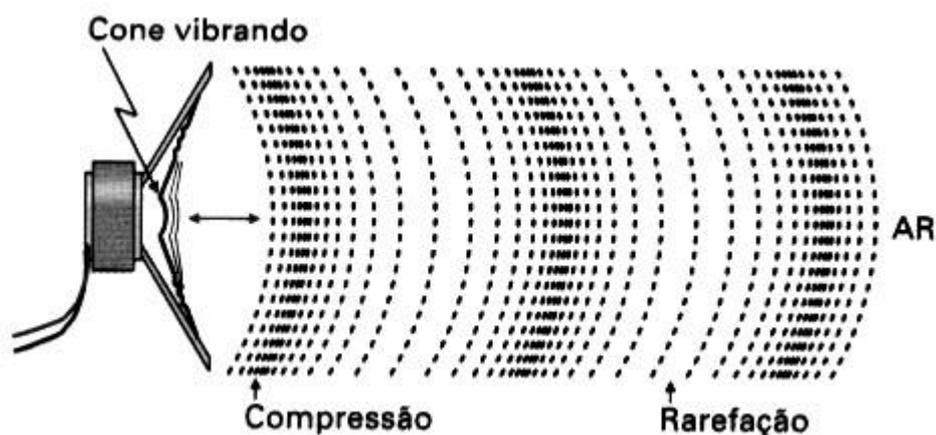


Figura 2-2 - Propagação da onda no a

Fonte: GERA (2012)

A forma mais elementar de uma onda periódica é representada pela função senoidal, que é derivada do movimento harmônico e caracterizada por uma frequência específica, além de amplitudes e comprimentos de onda também específicos.

$$s(x, t) = A \cdot \text{sen} \left(2\pi f \cdot t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x \right) \quad (2.1)$$

Onde:

A: Amplitude máxima

λ : comprimento de onda

f: frequência

2.1.1 Interferência de Ondas

Um fenômeno especial do comportamento ondulatório é a interferência de ondas. As ondas podem ser consideradas como a propagação da energia em um meio, em diferença a matéria, as ondas quando se cruzam não se afetam entre si, mas se combinam. Quando há, por exemplo, duas fontes em um meio, um ponto qualquer estaria recebendo energia das duas fontes, e as características do ponto vão ser ditados pela combinação das características das duas fontes. Uma vez que uma das ondas deixa de existir, as características do ponto passam a obedecer a onda que permaneceu atuante. Diz-se então, no período de tempo que o ponto era atravessado pelas duas ondas, que elas interferiram ou que houve interferência no devido ponto.

A interferência pode se valer de múltiplas ondas. Quando elas interferem entre si, há então como resultado uma outra onda, uma onda resultante que se vale do princípio de superposição, onde um efeito final resultante é a sobreposição (soma) dos efeitos individuais simultâneos. Assim dois pulsos que se sobrepõe, geram um único pulso final.

$$s'(x, t) = s_1(x, t) + s_2(x, t) \quad (2.2)$$

A onda resultante vai depender das ondas que estão em interferência. Os efeitos vão ser relacionados com a diferença de fase das ondas que se interferem. A diferença de fase é a distância entre os picos de duas ondas diferentes. Caso a frequência delas não seja a mesma, haverá uma diferença de fase não constante durante toda a propagação da onda. Conforme as ondas causam interferência, a diferença de fase entre elas vai resultar na amplitude da onda final, podendo então aumentar a amplitude ou diminuir de acordo com o princípio de superposição de ondas. Quando a amplitude da onda final se apresenta no seu máximo, tem-se uma interferência totalmente construtiva e quando esta cai ao seu valor mínimo há uma interferência totalmente destrutiva.

2.1.2 A Onda Sonora

Uma onda sonora pode ser genericamente conceituada como uma onda mecânica (portanto que necessita de um meio físico para se propagar) longitudinal, isso significa que as oscilações sofridas pelo meio conforme a onda se propaga se dão na direção de propagação.

Assim há uma gama relativamente alta de aplicações de ondas sonoras, seja como sonares em sistemas de localização, ou em mapeamentos de subsuperfície em altas profundidades, análise de qualidade de soldas e peças e obviamente para comunicação também. Em todo o caso dependendo do meio físico no qual os pulsos sonoros estão sendo gerados, suas aplicações vão se tornando mais numerosas e diversas.

O devido estudo das ondas sonoras não se presta apenas a ampliar sua utilização, mas também para tratar de efeitos indesejados como ondas de choque que são geradas ao se quebrar a barreira do som quando da decolagem de caças supersônicos ou mesmo projetar turbo máquinas mais eficientes quando operadas em regime supersônico. Em se tratando da percepção humana de ondas sonoras, estamos considerando esses efeitos indesejados como ruído.

A emissão de ondas sonoras em fontes reais pode ser bastante complexa (a onda pode ter uma direção específica de propagação e interferir com suas próprias reflexões) mas em um modelo simples pode-se considerar uma fonte pontual e

isotrópica, aquela que emite ondas em todas as direções com a energia uniformemente distribuída entre elas.

Conforme uma fonte isotrópica emite um pulso, a onda vai se espalhando e se distanciando da fonte, formando assim uma superfície que vai se expandindo durante a propagação da onda onde as amplitudes $s(x, t)$ que conferem simultaneidade em sua origem (quando $t = 0$) são assim chamadas de frentes de onda. Sendo um meio uniforme e tridimensional, as frentes de onda se distanciariam da fonte a mesma velocidade configurando assim uma onda esférica. A medida que a distância entre uma determinada frente de onda e sua fonte vai crescendo, a sua curvatura diminui proporcionalmente de forma que a uma distância suficientemente grande as frentes vão se aproximando de ondas planas para um receptor de dimensões pequenas em relação a dimensão da distância percorrida pela frente de onda.



Figura 2-3 - Frentes de propagação de onda

Fonte: GERA (2012)

Em condições ideais a energia mecânica da onda se conserva durante a sua propagação, então quando a fonte fornece uma potência, a área que essa potência atravessa cresce de acordo com a expansão da frente de onda e a energia vai se tornando mais diluída. É definida como intensidade sonora a taxa com a qual a energia atravessa ou é absorvida por uma unidade de área.

$$I = \frac{P}{A} \quad (2.3)$$

Onde:

P : Potência sonora da fonte

A : Área da frente de onda

Nas ondas sonoras que se propagam pelo ar, a fonte produz oscilações que causam amplitudes na pressão do ar, de acordo com a equação (2.3) sua intensidade vai cair quadraticamente com a distância (considerando uma frente de onda esférica) e é proporcional à energia da onda, ou seja, ao quadrado da amplitude da pressão sonora (Walker, 2009).

2.2 Percepção Humana do Som

A interação do ser humano com as ondas sonoras é representado pelo sentido da audição, que é composto de um sistema completo de captação dessas ondas no meio para então serem transformadas em sinais elétricos que são interpretados pelo cérebro. Uma das características da audição é ser altamente sensível a pequenas vibrações do ar ao mesmo tempo que é também sensível a uma faixa muito extensa de pressões sonoras. A razão entre os limites de pressão sonora superior e inferior, dos quais o ouvido humano é capaz de captar, sua faixa audível, é da ordem de 10^6 , o que representa em um espectro de frequências valores de 20 Hz até 20 kHz.

Além de uma ampla faixa audível, a percepção do volume não é linear, mas logarítmica, sendo assim a percepção é baseada na proporção e não na diferença. Diante disso convém representar as grandezas relativas a ondas sonoras em escala decibel cujo o símbolo é dB (a décima parte do Bel). Assim temos a intensidade sonora representada pelo nível de intensidade sonora:

$$L_i = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (2.4)$$

Onde:

I : Intensidade sonora

I_0 : Intensidade sonora de referência (10^{-12} W/m²)

A escala decibel é baseada na razão entre a grandeza a ser representada e um valor de referência. É portanto relativa e não possui unidades sendo apropriada para grandezas com grandes variações. No caso, o L_0 é o valor de referência corresponde ao som de menor intensidade na faixa audível humana. Analogamente ao L_i há também o nível de potência sonora (SWL) e o nível de pressão sonora (SPL) com seus próprios valores de referência.

$$SWL = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \quad (2.5)$$

Onde W_0 corresponde a 10^{-12} W.

$$SPL = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad (2.6)$$

Onde P_0 corresponde a 2×10^{-5} Pa, o limiar da audibilidade a 1 kHz.

2.2.1 Percepção do Ruído

O ruído como já discutido é de difícil definição de forma que o conceito se torna abrangente possuindo algumas generalidades. No entanto a existência do ruído está fortemente atrelada a capacidade do homem de perceber o som, o que lhe confere uma qualidade subjetiva importante.

Uma dessas generalidades é a sensação de incômodo que uma pessoa pode ter. Apesar do som ser um fenômeno físico bem estabelecido, não existe uma relação unívoca entre as características física do som e suas características qualitativas percebidas pelo homem e a origem dessa discordância acontece justamente na transição dessas características.

O sistema auditivo humano é bastante sensível e é capaz de captar oscilações mínimas no ar. A medida que essas oscilações aumentam de intensidade é alcançado

um nível máximo associado a dor chamado de “limiar da dor”. Durante esse processo há o aparecimento, a partir de um ponto não definido, de uma região de incômodo.

Essa região porém, além de não ser definida também não é constante pois o homem percebe as diferentes frequências sonoras de maneira não uniforme, ou seja, o ouvido humano não é igualmente sensível a todas as frequências havendo assim como consequência a existência de regiões do espectro sonoro nas quais o homem é supersensível (frequências relacionadas a fala) e outras que beiram a insensibilidade (baixas frequências por exemplo).

Desse modo as amplitudes percebidas serão diferentes daquelas da fonte sonora e a percepção do ruído não vai depender apenas da intensidade da fonte sonora mas também de seu conteúdo espectral (Caldas, 2013). Assim em relação ao volume (intensidade) percebido pelo homem há o conceito de sonoridade chamado *loudness* como também o *noiseness* (ruidosidade) relacionado com o incômodo ao ruído percebido.

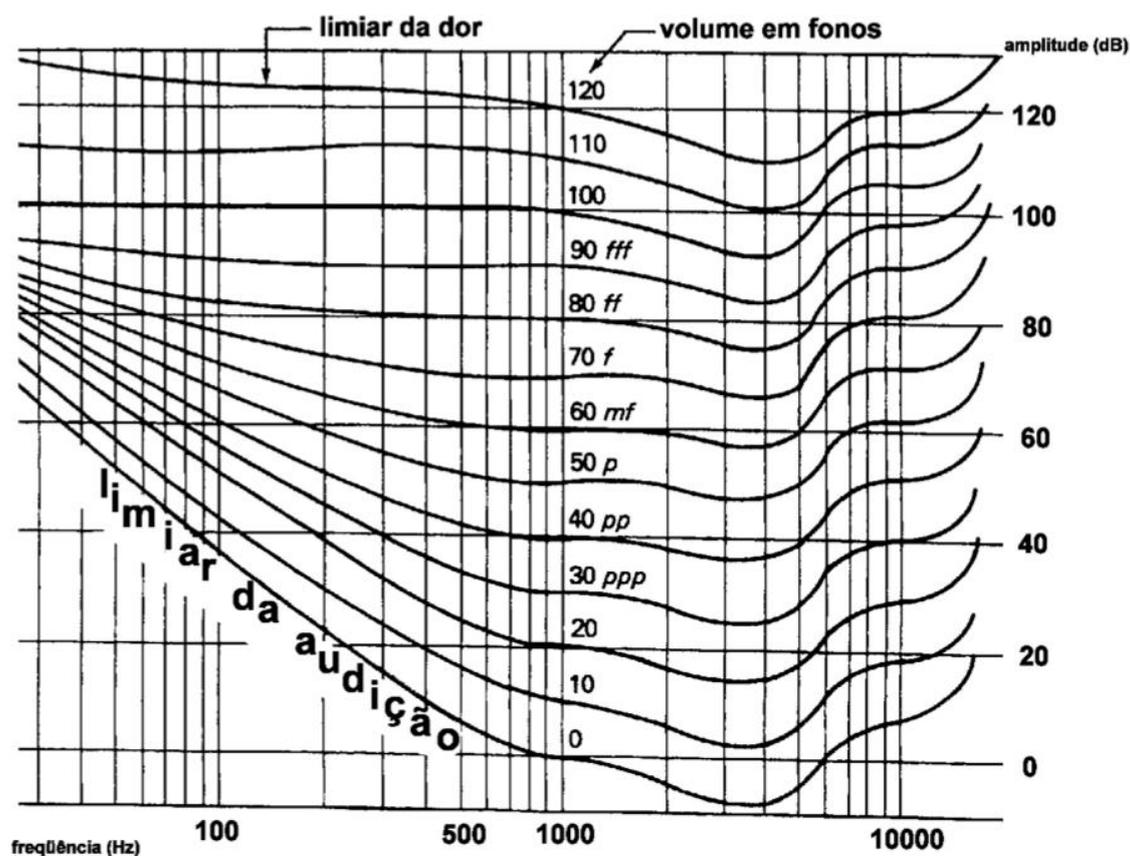


Figura 2-4 - Curva de Fones de Fletcher e Munson

Fonte: GERA (2013)

Em 1933 dois pesquisadores, Fletcher e Munson, fizeram uma pesquisa a respeito da percepção humana do som onde através de experiências com diversas pessoas foi procurado traçar curvas de valores equivalentes para diversos níveis de *loudness*. As curvas são representadas na unidade *fon* de forma que o valor em *fon* seja, na frequência de 1000 Hz, equivalente ao valor em dB (da fonte) na mesma frequência. Os resultados são mostrados na Figura 2-4. Pode-se observar como a intensidade e a frequência variam claramente ao longo de uma curva de *fon* constante (quando a percepção *loudness* não se altera).

Esse estudo contribuiu para a elaboração de diferentes *ponderações* nos sons medidos. O microfone dos equipamentos usados para medição de ruído tem uma sensibilidade plana para as frequências, não correspondendo portanto à percepção humana. Dessa forma são feitos ajustes que visam aproximar um sinal de ruído à percepção de *loudness*. Para isso são adicionadas, por banda de oitava ou terços de banda, correções em dB ao ruído medido. Existem variadas ponderações que são usadas para objetivos e em circunstâncias diferentes, onde cada ponderação compreenderá uma tabela de correções própria. Algumas delas são desenhadas na Figura 2-5.

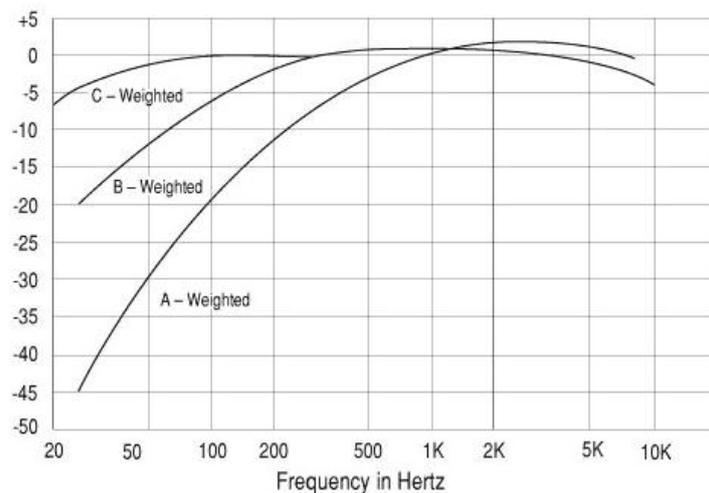


Figura 2-5 - Filtros usados nas ponderações A, B e C

Fonte: GERA (2013)

Dentre as ponderações, a ponderação “A” é usada em diferentes avaliações de impacto de ruído, como o ambiental, assim como para avaliar ruídos relacionados a potenciais danos auditivos e outros efeitos deles sobre a saúde. Atualmente uma parte das demais ponderações caíram em desuso. Apesar de estudos posteriores terem

qualificado a ponderação A como uma boa aproximação para o *loudness*, ela foi criada originalmente para a avaliação de níveis baixo de ruído, uma vez que a curva dela é feita a partir da curva equivalente a 40 fones no estudo de Fletcher e Munson, não obstante ela (ponderação A) é mandatória nos dias de hoje. Os valores de intensidade sonora, quando corrigidos pela ponderação “A” são expressos em dB(A).

2.3 Métricas de Ruído

Para a grande maioria das pessoas, o ruído não representa um fenômeno isolado e determinado, ele se faz presente durante as atividades que as pessoas fazem no seu dia-a-dia, seja na rua, em casa, durante trabalho, atividades de lazer ou até mesmo descanso. Tão pouco se presta a ser definido, mas possui um carácter variado sendo naturalmente uma percepção de algo bastante complexo em virtude das diversas possíveis amostras espectrais existentes no ruído, além de ser indiferente quanto ao ciclo de vida de alguém, apesar de ser determinantemente indesejado, um mesmo ruído pode influir nas pessoas de forma diferente em relação a momentos diurnos e noturnos, sendo mais ou menos intolerável.

As métricas de ruído buscam então qualificar de que forma e em que nível as pessoas, ou uma comunidade estão em exposição ao ruído sendo portanto uma ferramenta empregada não apenas para estudos mas também para avaliação de impactos de poluição sonora e gerenciamento do ruído, principalmente no ruído aeroportuário. Há dessa forma uma diversidade de métricas de ruído de acordo com seus objetivos e natureza, conforme ilustrado no diagrama da Figura 2-6.

Uma métrica de ruído aeroportuário ideal, ou conjunto de métricas deveria cobrir satisfatoriamente um conjunto de especificações (Hanscom Noise Workgroup, 2001):

- Expressar o nível de ruído acima do nível de ruído ambiente;
- Considerar a duração do ruído dos eventos de aeronaves;
- Considerar a quantidade de eventos de aeronaves;
- Expressar a quantidade de pessoas afetadas;
- Expressar o nível de ruído absoluto dos eventos.

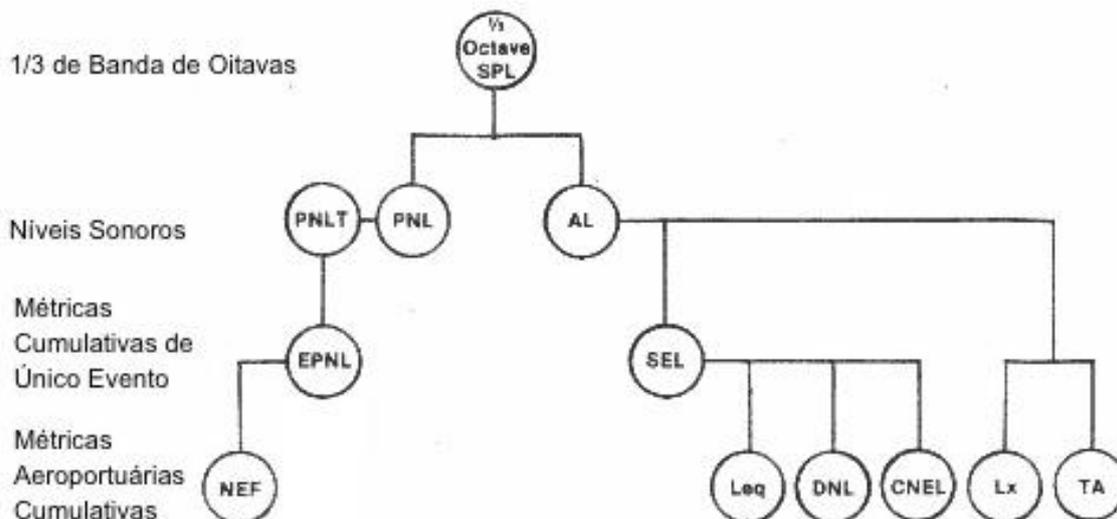


Figura 2-6 - Métricas usadas para avaliação do ruído

Fonte: Valim, 2006, alterada

Dentro de um panorama mais geral, as métricas foram sendo desenvolvidas conforme a necessidade, havendo então uma sequência gradual formando não apenas uma diversidade, mas havendo dentre elas características em comum. Genericamente elas consideram o conteúdo espectral do ruído em bandas de oitavas (ou terças de oitava) e aquelas voltadas para estudos de impacto de ruído são corrigidas pela ponderação A (*A-weighted Sound Level* – AL) havendo nesse caso um subscrito “A”, sendo estas mostradas na ramificação direita da Figura 2-6, enquanto que as da esquerda estão relacionada a certificação de aeronaves. Devido a relevância, nesse trabalho serão apresentadas as métricas SEL, Leq e DNL.

2.3.1 Métrica SEL

A métrica SEL – *Sound Exposure Level* – e as demais derivadas dela são formadas tendo por base o nível de pressão sonora SPL (equação 2.6), no entanto as aeronaves como principal fonte de ruído, estão em movimento, o que causa ao receptor uma percepção gradativa, sendo hora crescente e em seguida decrescente (Figura 2-7). A partir de uma análise temporal o ruído de uma única aeronave é uma curva com um nível máximo e duração determinadas. Esses fatores são importantes e

não são considerados uma vez que ele fosse expresso apenas no nível de pressão sonora.

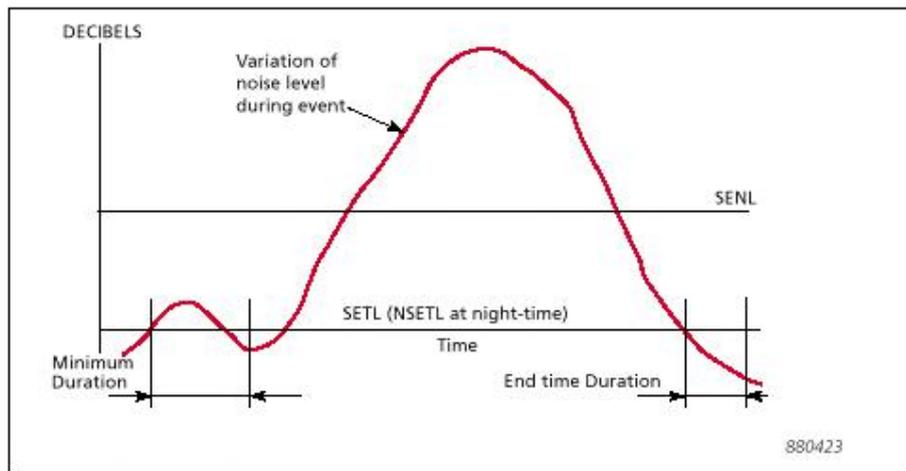


Figura 2-7 - Evolução do nível de pressão sonora

Fonte: GERA (2013)

Assim a métrica SEL irá representar a energia associada a um evento único, sendo cumulativa no tempo de duração do evento possuindo assim um aspecto absoluto, porém restrito.

$$SEL = 10 \log_{10} \left[\int_{t_1}^{t_2} \frac{P_A(t)^2}{P_0^2} dt \cdot \frac{1}{[s]} \right] \quad (2.7)$$

Onde t_1 e t_2 são respectivamente os instantes onde o ruído do evento começa a ser percebido e quando ele não mais se distingue do ruído ambiente. Para que não haja incompatibilidade de unidades devido ao dt , divide-se a expressão pela unidade de tempo “s” do SI (segundo).

2.3.2 Métrica Leq

A métrica Leq – *Equivalent Sound Level* – é derivada da SEL a medida que também está contabilizando a energia contida no ruído, porém por ser uma média temporal ela vai representar um valor equivalente (em energia) ao do ruído.

Naturalmente o valor do ruído nessa métrica dependerá da janela de tempo utilizada. Qualitativamente ela representa o nível de ruído constante durante um período de tempo arbitrário que possui a mesma quantidade de energia ao do ruído.

$$L_{Aeq} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \frac{P_A(t)^2}{P_0^2} dt \right] \quad (2.8)$$

Ela também difere por não ser utilizada para caracterizar um evento único, mas procura qualificar de forma mais abrangente o nível de exposição que uma região está ao ruído. Consequentemente ela vai englobar ruído de diferentes fontes, não sendo sensível as particularidades do ruído de uma fonte se torna menos clara as relações entre fonte, nível de ruído e efeitos.

Ainda assim é bastante utilizada em normas e regulações, mais frequentemente de duas formas, uma levando em consideração todo o período diurno (das 7:00 a.m até as 10:00 p.m.), chamada nesse caso de *nível equivalente diurno* L_{AeqD} . A outra é considerando o período noturno (das 10:00 p.m. até as 7:00 a.m.), chamada então de *nível equivalente noturno* L_{AeqN} . As fórmulas do L_{AeqD} e do L_{AeqN} estão presentes no Apêndice A.

2.3.3 Métrica DNL

A métrica DNL – *Day-Night Average Sound Level* – foi criada durante a década de 70 pela FAA (*Federal Aviation Administration*) em substituição da métrica NEF, e está ainda hoje em uso na maioria dos países europeus, Estados Unidos, Brasil entre outros, sendo creditado a ela grande sucesso na avaliação do ruído aeroportuário em comunidades.

Sua aplicação está condicionada a exposição sonora de uma comunidade por longos períodos de duração, especificamente durante o período de 24 (vinte e quatro) horas. No entanto ela não se preza a ser simplesmente um nível médio equivalente como a L_{eq} , mas corporifica um aperfeiçoamento da métrica L_{eq} sendo voltada para a resposta da comunidade ao ruído e aos impactos diretos do ruído na vida humana.

Possui um significativo suporte científico, mas não se faz de fácil entendimento perante a comunidade.

Assim como a L_{eq} , há um descomprometimento com relação às fontes do ruído, mas por outro lado procura compensar sendo mais rigorosa quando aos níveis de ruído noturnos. A DNL vai ser então um único número representativo da exposição sonora através de uma ponderação matemática entre o L_{AeqD} e o L_{AeqN} baseada na diferença de duração dos períodos diurnos e noturnos ao mesmo tempo que corrige o L_{AeqN} em +10 dB(A).

$$DNL = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{24} \left(15 \cdot 10^{\frac{L_{AeqD}}{10}} + 9 \cdot 10^{\frac{L_{AeqN}+10}{10}} \right) \right] \quad (2.9)$$

2.3.4 Curvas de Ruído

Ainda que se consiga elaborar métricas cada vez melhores, capazes de avaliar o impacto do ruído em populações, será difícil acomodar de forma justa e equilibrada as várias complexidades que se encontram nas fontes do ruído aeroportuário.

Esse nível de complexidade vai ser dependente das características das atividades de aeronaves do aeroporto, sendo portanto únicas de aeroporto para aeroporto além também de sofrer alterações ao longo do tempo. Tudo isso irá influir na forma com que a população está exposta ao ruído. Essas características podem ser o conjunto de aeronaves que opera regularmente no aeroporto, que além de depender do aeroporto pode vir também a ser diferente dependendo do dia da semana, quando por exemplo finais de semana podem possuir um padrão de voos diferente do que os do meio da semana, ou também as rotas seguidas pelas aeronaves vão ser determinantes na forma com que o ruído se expande pelas áreas urbanas de modo que 2 (dois) observadores separados podem estar sendo afetados de maneiras semelhantes ou distintas em virtude de quais rotas de pouso e decolagem estão sendo usadas, que são dependentes de fatores como o destino (ou origem do voo) e a direção vento e assim por diante. Por outro lado, há outras características que são refletidas pelas métricas de maneiras mais simples e diretas, como a quantidade absoluta de operações de um aeroporto.

Assim como o objetivo de qualificar melhor o incômodo devido ao ruído e a parte da população por ele atingida é utilizado também como ferramenta *curvas de ruído*, também chamadas de *curvas isofônicas de ruído*. Elas são um conjunto de curvas baseadas em alguma métrica plotadas sobre um mapa plano da região no entorno do aeroporto. Cada uma das curvas é traçada pelo critério de cada ponto da curva possuir o mesmo nível sonoro, conseqüentemente as curvas de valores menores vão estar contidas em uma curva de valor maior.

O desenvolvimento das curvas se tornou possível graças ao avanço da simulação computacional no estudo do ruído aeroportuário e está em constante aprimoramento. A combinação entre a métrica e o espaço bidimensional ao redor do aeroporto permite obter com maior precisão a propagação do ruído a partir do aeroporto e quais áreas estão mais ou menos expostas ao ruído.

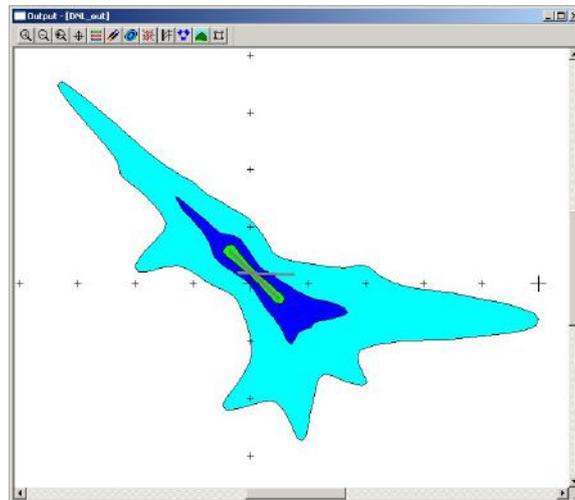


Figura 2-8 - Curva de ruído simulada

Fonte: print screen do software INM

No Brasil as curvas de ruído são utilizadas por autoridades governamentais e sua elaboração está na competência da ANAC, mas pode também ser elaborada por outras instituição, quando assim, sua validade estará regida pela aprovação da ANAC. De acordo com o plano de atenuação do aeroporto de Portland (Valim, 2006) estima-se que a quantidade de PAI (pessoas *altamente* incomodadas) localizadas entre as curvas DNL de 60 e 65 dB(A) é de 37,5% – vide Tabela 2-1.

Tabela 2-1 - Porcentagem estimada de pessoas altamente incomodadas

Nível de exposição (DNL)	PAI
55 – 60 dB(A)	12,5%
60 – 65 dB(A)	37,5%
65 – 70 dB(A)	62,5%
70 – 75 dB(A)	87,5%
> 75 dB(A)	100,0%

Fonte: Valim, 2006

Mesmo possuindo uma grande acurácia em se tratando do nível de exposição sonora que as curvas podem oferecer, para que possam servir como uma ferramenta eficaz deve ser levado em consideração o aspecto dinâmico do aeroporto, onde o aeroporto está constantemente alterando o padrão de suas atividades aeroportuárias. Assim as áreas expostas ao ruído estão se alterando com o tempo, e há a necessidade de uma metodologia que forneça uma quantidade satisfatória de curvas isofônicas para estudos de cenários futuros de exposição sonora.

2.4 Abordagem Equilibrada – *Balanced Approach*

O *Balanced Approach* faz parte de um conceito para gerenciamento de ruído em aeroportos internacionais que emerge na resolução A33-7 da ICAO, quando esta então foi adotada pelos países contratantes durante a 33ª Seção da assembleia da ICAO em outubro de 2001. O conceito enfatiza a necessidade de tomar múltiplas medidas, conforme disponível e apropriado em relação ao contexto da evolução do ruído em aeroportos individualmente, uma vez que Estados podem ter políticas mais ou menos abrangentes quanto ao ruído e que em alguns lugares algumas medidas já são adotadas, mas deve haver cuidado pois medidas descoordenadas podem prejudicar o papel da aviação civil no panorama do desenvolvimento econômico. Há então de haver uma responsabilidade econômica e ambiental de forma a solucionar o problema do impacto do ruído sem prejudicar outros ganhos já conquistados e os requisitos de segurança e eficiência.

(FICAN)São englobados 4 (quatro) principais elementos:

- Redução de ruído na fonte;
- Planejamento e gerenciamento do uso do solo;
- Procedimentos operacionais de abatimento de ruído;
- Restrições operacionais em aeronaves.

O primeiro elemento é voltado para as aeronaves, mais especificamente o ruído gerado pelos propulsores das mesmas que são os maiores responsáveis do ruído aeronáutico. Deve-se procurar avanços tecnológicos nesses equipamentos que permitam as aeronaves serem menos ruidosas, enquanto os administradores aeroportuários procuram regular as aeronaves que são permitidas em seus aeroportos. Muito tem sido alcançado nesse aspecto, onde em aeroportos importantes aeronaves capítulos 1, 2 já não são autorizadas a operarem ou operam sob restrição e aeronaves menos ruidosas estão se tornando mais difundidas nas companhias aéreas, porém a previsão de novas melhorias desse elemento não são atualmente muito otimistas, o que faz com que os demais ganhem mais importância.

No segundo elemento, planejamento de gerenciamento do uso do solo, há de ser considerado a complexidade de medidas a ele relacionadas por requerer mais diretamente ações da esfera da administração pública. O objetivo é controlar os tipos de atividades e construções urbanas que permeiam as áreas vizinhas do aeroporto, através de medidas políticas voltadas controle de urbanização como zoneamentos locais, assim como facilidades e incentivos financeiros.

A ICAO nesse aspecto ainda propõe o uso de *curvas de ruído* para o gerenciamento do uso do solo. Apesar de a exposição sonora ser relativamente subjetiva e depender de vários aspectos da atividade aeroportuária, seu uso de forma objetiva e concreta é positivo para planos de zoneamento (International Civil Aviation Organization, 2007). É também endossado o uso da métrica DNL de forma cumulativa ao longo de períodos de meses, podendo chegar a 1 ano, havendo ainda destaque para a curva de 65 dB(A).

Os procedimentos operacionais de abatimento de ruído (*Noise Abatement Departure Procedure – NADP*) visam reduzir o impacto sonoro nas regiões que são sobrevoadas por aeronaves durante suas operações. Elas são um conjunto de instruções e operações que são usadas pelos pilotos quando as aeronaves decolam ou pousam capazes de diminuir e distribuir o ruído aerodinâmico e mecânico sem

comprometer a operação e a performance, onde se valem de ajustes específicos de flaps, potência de propulsão, diferentes *slopes* entre outros. No estabelecimento e uso desses procedimentos especiais deve sempre ser prioritário a segurança da operação.

O quarto e último elemento do *balanced approach* é bastante delicado por poder refletir em custos nas linhas aéreas e nos serviços comerciais e incorpora um ramo de medidas bastante ampla atualmente, onde encontra-se qualquer medida que possa impedir ou controlar o acesso de uma aeronave ao aeroporto. Decorre então de recomendações da ICAO que medidas que adotem tais restrições não devem se sobrepor em relação aos outros elementos do *balanced approach*, mas devem ser usadas uma vez que tenha sido levado em consideração outras medidas referentes aos outros elementos e seus respectivos benefícios.

Sobre resolução de medidas baseadas no *balanced approach* é dito ainda que devem ser feitas de acordo com os problemas específicos de cada aeroporto, sendo responsabilidade de cada um dos países membros a implementação dessa medidas da maneira que melhor for conveniente a eles, pois cada um vive em um contexto próprio, assim o problema do ruído deve ser abordado diferentemente e sempre embasados em estudos próprios, mas sempre com a meta de benefícios ambientais máximos sob os melhor custo-benefício possível.

3 LEGISLAÇÃO E EFEITOS DO RUÍDO

O problema do ruído aeroportuário se faz cada vez mais visível, ganhando cada vez mais importância como um efeito que deve ser solucionado pois o maior atingido por ele é a população, que em si não está envolvida diretamente nas atividades que são responsabilidades de governos e instituições, mas em virtude do fato de esta por razões sociais e de capital se concentrar em centros urbanos, se torna inevitavelmente vulnerável a efeitos que degradam a qualidade de vida da mesma, dentre eles os efeitos relativos ao ruído.

O fato do ruído ser um grande causador da perda de qualidade de vida, o coloca na condição de problema de saúde ambiental, sendo a saúde humana a principal afetada. Segundo a OMS (Organização Mundial da Saúde) a saúde é definida como o estado condicionado não somente a ausência de doenças, mas a um estado completo de bem-estar físico, mental e social (Heleno, 2010). Desse modo, apesar de o ruído ser raramente a causa de efeitos “catastrófico” no ser humano, há uma série de outros efeitos que podem ser igualmente indesejáveis e que podem se manifestar em circunstâncias diferentes e pode variar de pessoa para pessoa.

Dentro desse panorama, o incômodo sonoro sentido pela população também é motivação para reclamações e atividades que demonstrem insatisfação da população para com instituições. Assim desde as últimas décadas o ruído vem sendo considerado como alvo de políticas públicas em decretos, leis, resoluções, etc. Assim como também tem sido usado como critério restritivo em normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para definir níveis aceitáveis de conforto e aceitabilidade para diferentes atividades.

3.1 Efeitos do Ruído no Homem

Apesar do grau de subjetividade do ruído, seus efeitos podem ser comuns havendo correlações com a forma a que as populações foram expostas ao ruído ou em relação a fonte do ruído.

A gravidade dos efeitos do ruído pode ser ambígua, pois se por um lado na maioria dos casos o ruído não será forte o suficiente para danificar a aparelhagem humana auditiva, por outro lado há diversas ramificações dos efeitos não-auditivos que muitas vezes são transitórios em um primeiro nível, mas podem ir se tornando cumulativos conforme vão se prolongando o tempo de exposição ao ruído e também com a repetitividade dele. Há ainda evidências, segundo a OMS, que demonstram que o ruído pode afetar a saúde geral da mesma maneira que faria um estado de *stress* crônico.

Dentre esses efeitos, dos quais os níveis de ruído não prejudicam a audição distingue-se os efeitos de desempenho e os fisiológicos, que podem ser de curta duração, os chamados temporários como por exemplo: palpitações, dilatação das pupilas, tensão muscular, aceleração dos batimentos cardíacos. São esses chamados de temporários. Há também os permanentes que vão impactar na capacidade de foco, concentração e atenção, áreas da memória e interferências de comunicação e de sono.

De um modo geral, a partir de muitas pesquisas realizadas a fim de coletar respostas da população, todos esses efeitos estão ou ligados ou paralelos ao *incômodo* ao ruído que pode ser definido como “uma sensação de insatisfação associada a qualquer agente ou condição, conhecido ou acreditado por um indivíduo ou grupo ser responsável por afetá-los adversamente”. Não obstante, as pessoas costumam reagir de maneiras diferentes em relação ao incômodo sonoro, o que revela que o grau de incômodo individual de cada um não é o melhor indicador para a questão, propondo então uma busca de um nível médio que pode ser próprio de comunidade para comunidade e da disposição dessas comunidades a uma determinada resposta perante a situação de incômodo.

Nesse caso então há o destacamento de uma perspectiva mais ampla e coletiva, onde além da sensibilidade pessoal de cada um ao ruído, há a capacidade de reação

da população de acordo como a mesma se mobiliza. Diante disso, a ruído aeroportuário se torna um agente crítico causador de poluição sonora, já que tem um vasto alcance diante da população. Há também que se considerar, que novos fatores, que não os puramente acústicos, se tornem diferenciais no impacto sofrido pela exposição sonora. Fatores esses de natureza social, psicológica e econômica, onde variáveis demográficas, situação econômica e perfil populacional vão estar associados ao maior ou menor incômodo.

Sendo assim, se torna necessário também considerar os impactos do ruído a nível social e comportamental que em muitas vezes são complexos e sutis envolvendo mudança de padrões de comportamento do dia-a-dia, alteração de humor geral da população e de indicadores sociais como taxa de acidentes, mobilidade residencial, nível de consumo entre outros.

Há ainda também casos especiais onde o impacto do ruído pode ser melhor visualizado, como por exemplo quanto existe uma atividade ou uma parte da população que são mais sensíveis a exposição sonora como crianças, que devido a exposição vão sofrer dificuldades de aprendizado e pessoas idosas que já possuem o estado de saúde comprometido. Em decorrência desses casos, escolas e hospitais devem estar devidamente protegidos ou livres dos efeitos do ruído em decorrência da exposição sonora causada por um aeroporto por exemplo.

3.1.1 Mascaramento da Fala

Muitos dos problemas do ruído estão relacionados a comunicação, especificamente a comunicação verbal quando se utiliza da fala como canal de comunicação entre emissor e receptor. O mascaramento de fala irá afetar a inteligibilidade da mensagem que no cotidiano depende do nível de voz do orador, da distância entre ele e o(s) receptor(es), da mensagem oral e do nível de ruído ambiente no local.

Quando um ambiente está sob um elevado nível de exposição ao ruído, a comunicação será afetada do lado do orador, pois este terá que exercer um maior esforço vocal (mesmo a nível de gritar), como do lado do receptor que terá que compensar os efeitos do mascaramento na interpretação da mensagem que pode

significar um nível de tensão maior e também afetar a sensibilidade auditiva pois eleva a audibilidade da pessoa.

Os efeitos desde processo vão depender dos que são afetados como já dito, podendo ser sentido especialmente em crianças, idosos e também deficientes auditivos. Diversos problemas já foram relacionados com estes últimos como falta de concentração, diminuição de rendimento no trabalho, irritação, fadiga, etc.

Uma das técnicas desenvolvidas para avaliar a qualidade de um ambiente para a comunicação oral e que está sob a exposição do ruído é representada pelo indicador SIL – *Speechless Interference Level* (Nível de Interferência na Comunicação) – que é uma média aritmética dos níveis sonoros contido nas faixas de oitavas deferentes às frequências 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz e 4000 Hz. Alguns exemplos representativos do valor do SIL estão na Tabela 3-1.

$$SIL = \frac{L_{500} + L_{1000} + L_{2000} + L_{4000}}{4} \quad (3.1)$$

Tabela 3-1 - Valores SIL com a distância

SIL	Distância limite para conversação normal
40	5 m
45	3 m
50	2 m
55	1 m
60	0,5 m

Fonte: Heleno, 2010

Os níveis sonoros requeridos para o SIL estão em sintonia com a distribuição da energia sonora característica da fala humana, que possui sua maior parte concentrada entre as frequências de 100 Hz e 6000 Hz, portanto são os níveis que mais podem causar mascaramento da fala.

3.1.2 Interferência no Sono

Os impactos relacionados à perturbação do sono devido ao ruído é talvez um dos mais antigos conhecidos, que vêm causando incômodo nas comunidades. O ruído aeroportuário é nesse caso também um grande agente uma vez que a exposição das comunidades adjacentes a aeroportos estão sujeitas ao impacto periódico de eventos de decolagem e pouso de aeronaves durante o período noturno. A maioria dos efeitos adversos sentidos, quando não relacionados diretamente a saúde, têm sua causa em alterações do sono.

O sono é um estado de grande importância para a saúde e o bem-estar pois é fundamental para um bom funcionamento fisiológico e estado mental, mas é relativamente frágil a perturbações, como o ruído. A perturbação dele é indesejável e estima-se que entre 80 a 90% dos casos relatados de perturbação do sono estejam relacionados ao ruído ambiental (Heleno, 2010).

As pessoas expostas a ruído durante o período noturno estarão comprometendo a qualidade do sono, ou por uma noite não bem dormida, ou por sucessivos momentos de despertar. Dentre aquelas que são especialmente sensíveis ao ruído noturno encontram-se os idosos e os que sofrem de enfermidades psíquicas. Por essa razão as residências e hospitais que se encontram próximos a aeroportos estão sujeitos a efeitos devido a perturbações do sono.

Dentre os principais efeitos são citados dificuldades de adormecer, despertar durante o sono, acordar prematuramente, crises de insônia e alterações do sono e seus estágios de profundidade. Alguns dos efeitos vão aparecer também na parte fisiológica como o aumento da pressão arterial, arritmia cardíaca e vasoconstrição.

Em 1992 foi recomendada pela FICON (*Federal Interagency Committee on Noise*) uma curva que relacionasse o percentual de pessoas despertadas devido a um único evento (pouso ou decolagem) dentro de uma população ao nível de intensidade do evento. O evento se utiliza da métrica SEL e os resultados obtidos são ajustados de acordo com a curva da equação 3.2.

$$FICON(1992) = 0,7079 \cdot 10^{-5} \cdot SEL^{3,496} \quad (3.2)$$

A reação da comunidade ao ruído serviu como propósito para a continuidade das pesquisas e estudos envolvendo a perturbação do sono. Assim houveram maiores investigações que utilizaram diversos métodos e um número também grande de localidades e também obteve-se assim uma melhor consistência dos dados.

A FICAN (*Federal Interagency Committee on Aviation Noise*) em 1997 propôs uma nova curva dose-resposta (ambas as curvas, a de 1992 e a de 1997 estão na Figura 3-1) para correlacionar também o percentual da população acordada do sono durante a exposição sonora de um único evento. A nova curva é ajustada pela equação seguinte.

$$FICAN(1997) = 0,0087 \cdot (SEL - 30)^{1,97} \quad (3.3)$$

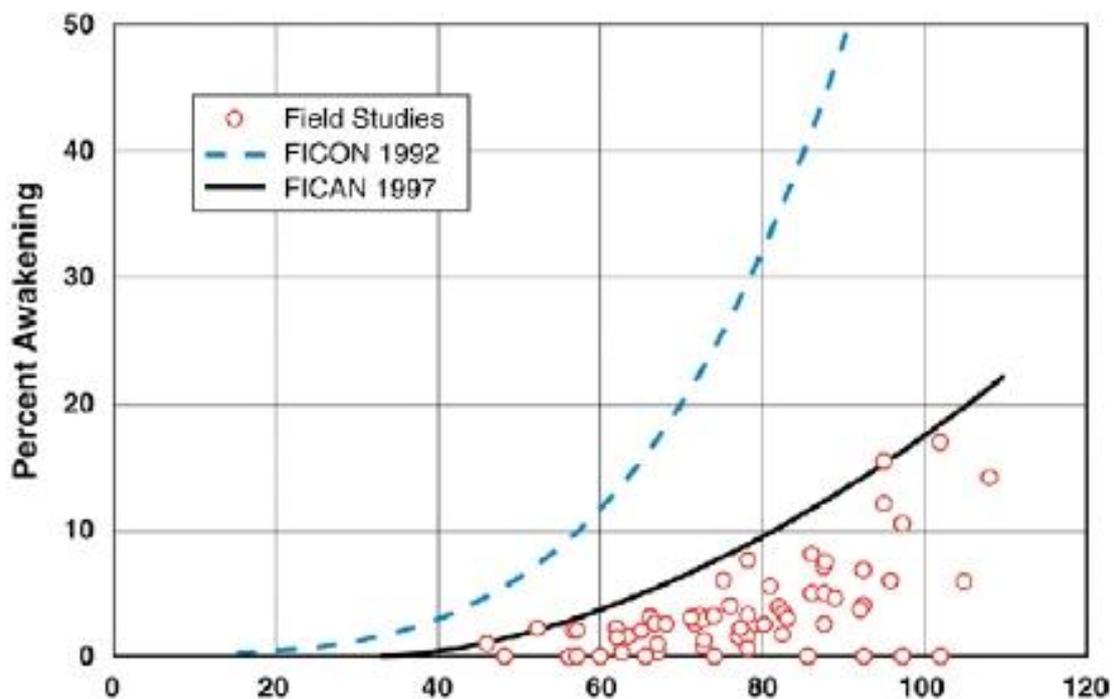


Figura 3-1 - Estudos sobre interferência do sono

Fonte: FICAN, acesso em 2013

O eixo das abcissas representa o nível de exposição sonora na métrica SEL em dB. A curva da FICAN procura se ajustar ao limite superior dos dados obtidos nas pesquisas de campo e se valem da metodologia que Schultz utilizou em seus estudos, conforme descrito na seção seguinte.

3.2 Relação entre DNL e Incômodo

Durante os anos 50, com o aumento da quantidade de bases aéreas instaladas nos EUA e o uso crescente de aviões a jato foi se tornando relevante a questão da exposição ao ruído que a população estava começando a sentir. Mas foi apenas na década de 70 que começaram a surgir ações verdadeiras que procuravam controlar o ruído. Nesta altura, porém, já haviam sido feitos diversos estudos e tentativas de construir ferramentas capazes de caracterizar o impacto do ruído devido à exposição sonora.

Nos primeiros estudos a abordagem utilizada se baseava apenas em reações adversas da comunidade, ou seja, buscava-se inferir o grau de incômodo devido a exposição sonora através de reclamações, queixas e comportamentos ostensivos em escalas de grau crescente. A caracterização do ruído se dava devido a questão da “queixa comunitária” ao invés da saúde das pessoas, que pode ser atingida de diversas maneiras como já descrito.

Em 1976 o Departamento de Moradia e Desenvolvimento dos EUA contratou Schultz para desenvolver estudos consistentes relacionados ao grau de exposição sonora. Os estudos de Schultz são um marco no campo de impacto de ruído. Apesar de ainda possuir certas críticas e ter demorado razoavelmente para chegar a um nível sensível de aceitação. Até hoje seus resultados e sua metodologia são usados como referências para a literatura e novas pesquisas por diversas agências.

Schultz foi o primeiro a conseguir resultados consistentes para avaliar o grau de incômodo de uma população à exposição sonora, correlacionando-o com a métrica DNL. Uma das características do trabalho de Schultz era que a exposição sonora estaria ligada a quantidade de pessoas *altamente* incomodadas (%HA), e não a quantidade de pessoas incomodadas. A principal razão de haver essa diferença é por causa de que na situação de *incômodo alto* as variáveis não-acústicas passam a não ser tão relevantes, assim considerando apenas estes casos a relação entre incômodo sonoro e nível de exposição estão em correlação de uma maneira mais acurada e precisa segundo a EPA – *Environment Protect Agency* (Agência de Proteção do Meio Ambiente) (Heleno, 2010). De acordo com o trabalho de Schultz em sua publicação de 1978 o índice de pessoas altamente incomodadas %HA é dado pela equação:

$$\%HA = 0,8533 DNL - 0,0401 DNL^2 + 0,00047 DNL^3 \quad (3.4)$$

O trabalho de Schultz envolvia o estudos de tipos diferentes de fontes sonoras: a aeronáutica, a rodoviária e a ferroviária (é concluído futuramente em outro trabalho que a aeronáutica é a que está associada com o %HA de forma mais intensa). A metodologia por ele empregada se utiliza da coleta de informações das populações que eram afetadas pelos tipos de fonte de ruído estudadas de forma uniforme e em diferentes graus de intensidade, onde as pessoas individualmente deveriam qualificar seu incômodo em uma escala que possuía diversos níveis entre “não incomodado” e “muitíssimo incomodado”.

A caracterização de altamente incomodado vem de um faixa que na pesquisa de Schultz abrangia uma extensão de 27 a 29% da escala, além de ser levado em consideração também a possibilidade de a exposição estar afetando atividades particularmente. Dessa forma os resultados da pesquisa podem ser interpretados sob a forma de uma relação efeito-dose e compreendem valores médios dos valores referentes às fontes de ruído consideradas.

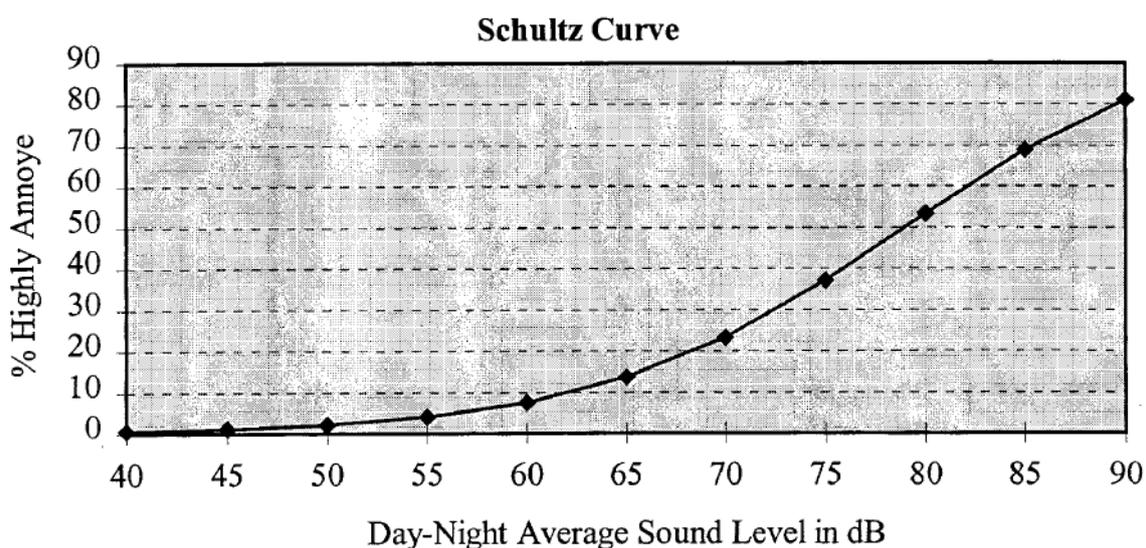


Figura 3-2 - Curva de Schultz

Fonte: GERA (2012)

A aplicação dos resultados é feita particionando uma população que esteja sendo exposta ao ruído em divisões de acordo com o nível de exposição (quantificado pela métrica DNL) e então aplica-se o índice %HA a cada uma dessas partes para que somadas representem a porção da população altamente incomodada.

Essa metodologia tem sido adotada por diversas agências para qualificar os efeitos devido à exposição sonora como também para pesquisas que aconteceram posteriormente. A própria curva de Schultz veio a ser atualizada depois que passou a contar com uma base de dados de 453 pontos em contraste aos 161 pontos de seu primeiro estudo. Também foi utilizado outro critério de interpolação dos pontos, que valeu de uma diferença entre as curvas de cerca de 4 dB e vai decaindo conforme o nível DNL aumenta chegando a 1,5 dB no nível DNL 70.

A pesquisa de Schultz também é acompanhada por algumas críticas, que estão ligadas ao trabalho que Schultz teve no início de sua pesquisa por utilizar diferentes métricas convertidas para DNL, a arbitrariedade presente quando se usa como variável o “altamente incomodado” como também a possível falha ao se considerar quais diferentes tipos de fonte vão causar incômodos semelhantes ou iguais.

Outro fator é a capacidade da métrica DNL de qualificar precisamente o incômodo sonoro uma vez que ela é um índice que engloba o período completo de 24 (vinte e quatro) horas e os incômodos em períodos diurnos tem características diferentes aos incômodos noturnos.

3.3 Legislações Aplicadas ao Ruído Aeroportuário

No Brasil a preocupação governamental com a questão do ruído nas áreas urbanas tardou a aparecer. As primeiras manifestações explícitas de ação, por parte do governo, a favor do controle e gerenciamento do ruído veio aparecer apenas na entrada da década de 80, embora já nos anos 60 já se tenha mencionado em decreto a necessidade de organizar a ocupação do solo no entorno dos aeroportos, mas aparentemente sem a visão do impacto do ruído aeroportuário agregado a este.

Ainda assim as regulamentações vieram evoluindo lentamente sem que haja a possibilidade de se botar em ação planos de controle de ruído duradouros e de longo prazo, pois regularmente marcos regulatórios relacionados ao problema eram revogados ou substituídos por outros textos cujo conteúdo deixava faltando ou no mínimo incerto aspectos relacionados ao ruído aeroportuário.

Portanto, apesar de tecnicamente desde os anos 80 o Brasil estar tratando do problema do ruído, através de planejamentos e diretrizes, os ganhos têm sido pequenos ou em certos casos insignificantes indiferentemente dos esforços empenhados. O conflito entre cidade e aeroporto veio se adensando com o tempo ao ponto que atualmente aeroportos importantes do país têm sua capacidade de expansão restrita devido a ineficiência do cumprimento das diretrizes dos planejamentos nacionais (Caldas, 2013).

As ferramentas de maior valia para o controle do ruído aeroportuário são os Planos de Zoneamento de Ruído (PZR) que de acordo com a lei 6.997/82 englobam o *Plano Específico de Zoneamento de Ruído* e o *Plano Básico de Zoneamento de Ruído*, respectivamente PEZR e PBZR.

Porém essa estrutura de planejamento na época, havia apenas sido identificada, mas não havia qualquer atribuição a esses termos. Assim perdurou vazio até 1984 , quando então é emitido um decreto que dispõe de informações precisas sobre esses dois planos de zoneamento de ruído e 90 (noventa) planos específicos são aprovados.

Novamente em 1986 ocorre um vazio regulatório na área devido a revogação da lei 6.997/82 que trazia à norma os planos PEZR e o PBZR. A regulamentação volta a existir junto com a divulgação da portaria 1.141/GM-5 que mantém as orientações anteriores a respeito do PEZR e o PBZR, mas também traz orientações mais afirmativas para o ordenamento do uso do solo e a consideração das particularidades locais de cada aeroporto.

Há então um período de certa estabilidade, porém sem garantias de cumprimentos rigorosos por parte dos municípios das regulamentações vigentes. Em 2011, no mês de maio volta a ser emitida uma portaria que vêm revogando “expressamente” a anterior fazendo com que o setor fique descoberto de marcos regulatórios novamente.

No final de setembro do mesmo ano é aprovado então um novo marco regulatório, o RBAC 161 (Regulamento Brasileiro de Aviação Civil) contido na resolução 202 da ANAC. Há um nova tentativa de planejamento do uso do solo através do PEZR e PBZR além de detalhes técnicos aplicáveis a análise de questões referentes ao ruído aeroportuário.

3.3.1 Planos de Zoneamento de Ruído

De acordo com a lei 6.938 de 1982 faz parte da política nacional do meio ambiente (fundamentada pela mesma lei) o controle e o zoneamento de atividades potencialmente ou efetivamente poluidoras, conforme alínea V do Art. 2º. Onde é considerado como poluição a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente prejudiquem a saúde, segurança, o bem-estar da população e criem condições adversas às atividades sociais e econômicas.

Como já mencionado, a atual normalização relacionada as diretrizes do PNMA (plano nacional do meio ambiente) está contida no RBAC 161, onde é definido o *Plano de Zoneamento de Ruído*, PZR, como um instrumento que tem por resultado a preservação do desenvolvimento de aeródromos em harmonia com as comunidades localizadas em seu entorno através da representação geográfica da área de impacto de ruído aeronáutico decorrente das operações próprias dos aeródromos aliado ao ordenamento adequado das atividades dessa área, dividindo assim a responsabilidade entre órgãos reguladores e fiscalizadores e instituições que representam a administração pública dos municípios.

Todos os aeroportos são obrigados a possuir um PZR e este pode aparecer em duas formas distintas, a se dizer, o PEZR – Plano Específico de Zoneamento de Ruído – quando o aeroporto possuir mais de 7.000 (sete mil) movimentos tomando por base uma média anual em relação aos três últimos anos a elaboração e cadastramento do PZR junto a ANAC. Nos demais casos, é facultado ao operador do aeroporto a utilização do PBZR ou do PEZR.

O conteúdo do PZR consiste de curvas de ruído para a delimitação geográfica da área de impacto do ruído, caracterizando as curvas de acordo com o nível de exposição ao ruído e são utilizadas em conjunto para avaliar a compatibilidade do uso do solo, delimitando quais áreas podem estar sendo sujeitas a determinados níveis de exposição. Essas áreas são classificadas de acordo com as categorias: residencial, usos públicos, usos comerciais e de serviços, usos industriais e de produção e usos recreacionais.

A diferença básica entre o PBZR e o PEZR se dá na forma como é deliberada a compatibilização do uso do solo com o nível de exposição sonora, a quantidade e metodologia para se obter as curvas de ruído.

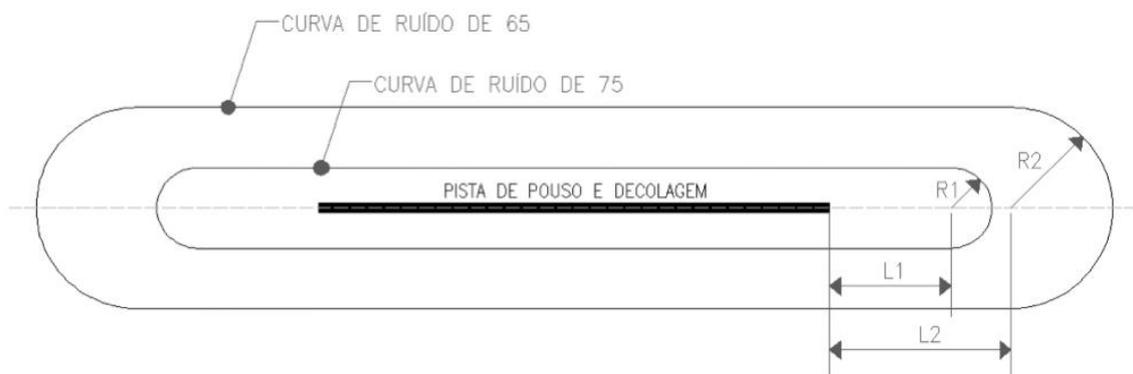


Figura 3-3 - Plano Básico de Zoneamento de Ruído

Fonte: RBAC 161, 9/2011

No PBZR as curvas utilizadas são duas, a curva de ruído de 65 (que representariam o nível de ruído referente a 65 dB) e a curva de ruído de 75, com a mesma característica que a de 65, salvo por representar um nível diferente. Ambas porém são definidas segundos parâmetros geométricos (que podem ser vistos na Figura 3-3) e não há observância quanto a situação acústica da área.

No PEZR o número de curvas aumenta para 5 (cinco), que são as curvas de ruído de 65 até 85 dB, aumentado gradualmente a cada 5 dB (vide Figura 4-5). Diferentemente do PBZR, aqui as curvas são definidas pela métrica DNL referente a cada nível respectivamente e são estabelecidas os dados requeridos para o cálculo computacional das curvas. Há também que ser atendido os parâmetros do PDIR do aeroporto levando em consideração os planos de expansão da infraestrutura do aeroporto contida no mesmo documento.

3.3.2 Licenciamento Ambiental

Novamente, segundo a lei 6.938 de 1982, está estabelecido como competência do CONAMA o estabelecimento de normas e padrões nacionais de controle da poluição de aeronaves (e também de demais meios). Em seu Art. 9º que trata dos instrumentos da PNMA, está evidenciado o estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, a avaliação de quaisquer impactos ambientais e o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras. No Art. 10 esse licenciamento passa

a ser necessário a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos que possam causar poluição e degradação do meio ambiente.

Através das competências adquiridas pelo CONAMA, é então emitida pelo próprio em 1997 a resolução nº 237 que revisa procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental, que segundo o mesmo órgão consiste de condições e restrições que devem ser obedecidas.

A emissão (e renovação) das licenças às atividades a elas submetidas se torna dependente da prévio *estudo de impacto ambiental* e seu respectivo *relatório de impacto ambiental*, respectivamente EIA e RIMA. De acordo com a resolução as licenças a serem expedidas são as seguintes:

- Licença Prévia (LP) – Concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo requisitos básicos para fases futuras do empreendimento.
- Licença de Instalação (LI) – Autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações presentes nos programas e planos já aprovados, incluindo medidas de controle ambiental.
- Licença de Operação (LO) – Autoriza a operação da atividade ou empreendimento após verificação do cumprimento das especificações presentes nas licenças anteriores.

Os requisitos e condicionamentos para o desenvolvimento do EIA e do RIMA são apresentados pela resolução nº 1 de 1986, também do CONAMA. Nesta resolução é, similarmente a lei 6.938 de 1982, considerado genericamente como atividades referente a aeroportos sendo aquelas modificadoras do meio ambiente e portanto dependentes de EIA e RIMA para fins de licenciamento.

Segundo a resolução, é desenvolvido dentro do EIA atividades que no mínimo ofereçam um diagnóstico ambiental da área de influência do projeto. Também que sejam feitas análises de impactos ambientais considerando a discriminação dos impactos e suas magnitudes segundo diversos critérios para diferentes cenários, seu ônus e benefícios sociais. Adicionalmente, há a definição de *medidas mitigadoras* dos impactos considerados negativos e a elaboração d um programa para monitorar e acompanhar tais impactos.

O RIMA reflete as conclusões alcançadas no EIA, porém é prezado nesse documento a objetividade e a apresentação dos dados e informações relevantes. Deve possuir um caráter sintético dos demais itens contidos no EIA.

3.3.3 Referências Normativas

Alguns padrões para controle e restrição de ruído são definidos também pela ABNT, servindo como referências para variados projetos, procedimentos e demais atividades que envolvam o ruído.

Há bastante relevância para a norma ABNT NBR 10.151 – “Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento” – que fixa as condições de conforto ao ruído em comunidade, não havendo nenhuma dependência quanto ao nível de queixa da mesma. A norma estabelece critérios limites chamados de nível de critério de avaliação – NCA – que é determinado segundo a métrica L_{Aeq} para períodos diurnos e noturnos, se tratando então do L_{AeqD} e do L_{AeqN} , quando este nível for maior que o nível de ruído ambiente, caso contrário o nível de ruído ambiente passa a ser considerado o NCA. Os diferentes NCA expressos em dB(A) da norma estão na Tabela 3-2.

Tabela 3-2 - Níveis critérios de avaliação

Tipos de Áreas	Diurno	Noturno
Sítios e Fazendas	40	35
Residencial urbana, hospitais e escolas	50	45
Área mista residencial	55	50
Área mista comercial	60	55
Área mista recreacional	65	55
Área Industrial	70	60

Fonte: Norma ABNT NBR 10.151

Uma outra norma de referência é a ABNT NBR 13.368 que trata do ruído gerado pelas aeronaves com a finalidade de monitoramento do ruído aeroportuário. O critério adotado nessa norma é considerar como desprezível o impacto do ruído de uma aeronave, em relação ao ruído de fundo (quando não há movimentação de

aeronaves), se este não for superior em no mínimo 3 dB, apenas sendo assim se torna significativo. A avaliação do impacto das aeronaves está ligado a avaliação do incômodo pelas operações aeronáuticas, que está também presente na norma e é mostrada na Tabela 3-3.

Tabela 3-3 - Avaliação do incômodo gerado pelas operações aeroportuárias

Reclamações Esperadas	Diurno	Noturno
Sem queixas, ou esporádicas	$L_{AeqD} < 65$	$L_{AeqN} < 55$
Queixas generalizadas – Ações comunitárias são possíveis	$65 < L_{AeqD} < 75$	$55 < L_{AeqN} < 65$
Ações comunitárias vigorosas	$L_{AeqD} > 75$	$L_{AeqN} > 65$

Fonte: Norma ABNT NBR 13.368

4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso desse trabalho pretende construir o conceito explicitado no objetivo (discutido na seção 1.3 da página 12) fazendo uma demonstração com o Aeroporto Internacional de Viracopos, SBKP (Campinas, SP), onde serão feitas simulações para a obtenção de dados que permitam o controle do ruído aeroportuário, ou seja, suportando o gerenciamento do uso do solo e a avaliação da exposição de locais sensíveis ao ruído, para isso as escolas nos arredores do aeroporto SBKP serão focadas nesse trabalho.

Assim o método deve representar a realidade do instante do aeroporto e também ser flexível de forma que possa ser atualizado periodicamente e possibilite acompanhar as atividades operacionais do aeroporto. Será mostrado que para tanto será necessário trabalhar com as operações caracterizadas como voos regulares.

O aeroporto escolhido foi o de Viracopos por ser um aeroporto cuja operações de aeronaves estão crescendo em quantidade de forma acelerada além de ser um aeroporto estratégico uma vez que os outros aeroportos da região, como o de Guarulhos e o de Congonhas, já se encontram com diversos problemas e operam perto do limite. Outro motivo é também pelo SBKP apresentar uma aviação regular de peso em relação a aviação geral.

Os dados a serem obtidos por simulação serão os valores das áreas contidas nas curvas de ruído referentes aos valores e métrica utilizados no PEZR regido pela RBAC 161 para cada dia da semana, sendo então comparado o nível sonoro dessas situações com nível que seria considerado segundo o método que utiliza a média mensal das operações do aeroporto. Também será mostrado como o nível sonoro das áreas adjacentes do aeroporto SBKP evolui baseada nas projeções de demanda documentada.

Em relação à evolução do nível sonoro com o tempo (projeções de demanda) ainda será avaliado a exposição das escolas próximas ao aeroporto, que serão chamadas de receptores críticos. Baseada também nos estudos de movimentações de hora-pico do aeroporto será avaliado o impacto nesses receptores devido ao período de maior utilização do aeroporto, e para tanto, será utilizada a métrica Leq

considerada no intervalo de uma hora para que possa assim refletir a hora de funcionamento crítico do aeroporto.

4.1 O Aeroporto Internacional de Viracopos

O Aeroporto Internacional de Viracopos nos dias de hoje cresce rapidamente, o edifício atual do terminal de passageiros excedeu em muito já a sua capacidade projetada (NACO, 2013). O aeroporto possui uma única pista de pouso e decolagem, a 15-33 (nome referente as cabeceiras da pista), com 3.240 (três mil duzentos e quarenta) metros de comprimento para atender primeiramente a cidade de Campinas e a região de São Paulo. O crescimento explosivo da demanda de passageiros deu-se a partir 2009, quando a empresa Azul Linhas Aéreas Brasileiras iniciou suas operações lá e em três anos a demanda pulou de 1 (um) milhão para 7,5 (sete e meio) milhões de passageiros e atualmente é o segundo maior aeroporto de cargas do Brasil.



Figura 4-1 - Aeroporto de Viracopos (SBKP)

Fonte: PDIR Aeroporto Viracopos, 2013

De acordo com o projeto do plano diretor do aeroporto, a previsão de demanda no horizonte (em 2042) é de 75 (setenta e cinco) a 80 (oitenta) milhões de passageiros anuais (vide Figura 4-2). Seu histórico operacional mostra uma consistência de movimentações da aviação regular (discutida na seção seguinte) que em 2005 contabilizava 97% do movimento total de passageiros (INFRAERO, 2013). Ainda segundo o plano diretor, a pista 15-33 tem capacidade declarada de 28 movimentos por hora, quantidade que nas horas-pico já estaria sendo superada.

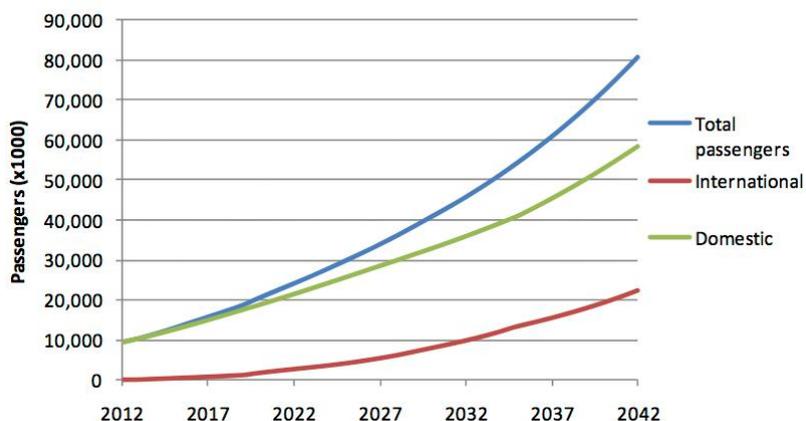


Figura 4-2 - Previsão de demanda de passageiros

Fonte: PDIR Aeroporto Viracopos, 2013

O plano de desenvolvimento do aeroporto prevê ainda a construção de três outras pistas, que são vistas como medidas de solução aos futuros gargalos operacionais do aeroporto. Nesse caso, o gargalo principal é a quantidade de movimento de tráfego aéreo (pouso e decolagem de aeronaves) – ATM (*Air Traffic Moviments*). Porém, se necessário, o investimento em uma nova pista pode vir devido ao limite de capacidade operacional nas horas-pico do aeroporto.

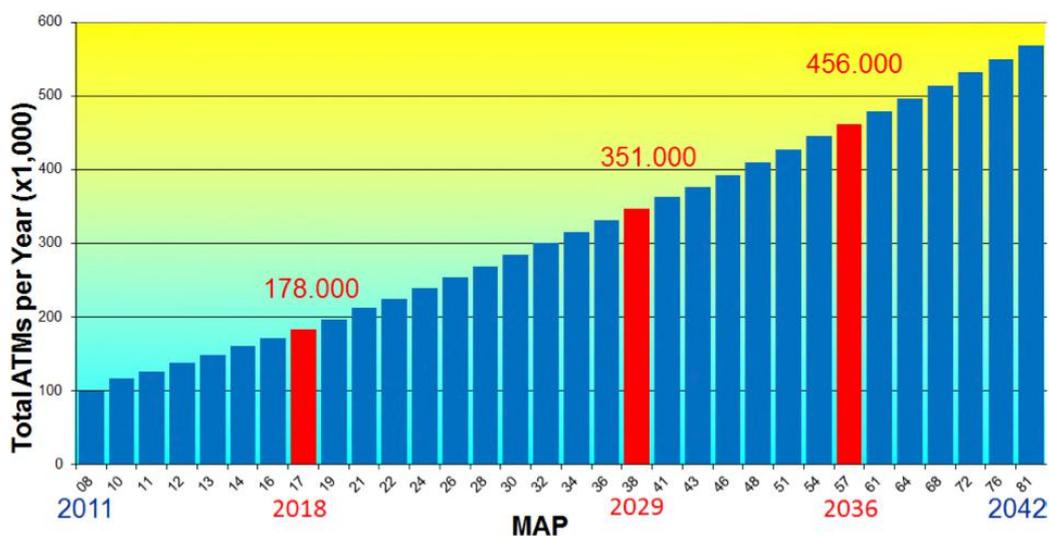


Figura 4-3 - Previsão de demanda de movimentos

Fonte: PDIR Aeroporto Viracopos, 2013

De acordo com os estudos feitos pelo Aeroporto de Munique para Viracopos a demanda por movimentos de aeronaves, quando estes forem gargalos limitantes da capacidade operacional, será de 178 (cento e setenta e oito) mil movimentos anuais

em 2018 devendo possuir uma capacidade mínima de 41 movimentos por hora para atender a demanda nas horas-pico do aeroporto. A construção da terceira e quarta pistas atenderia para os anos de 2029 e 2036 respectivamente.

Em vista dos objetivos do trabalho, a simulação que representará a projeção futura será relativa ao ano de 2018, pois a construção de novas pistas alteram as configurações do aeroporto e interferem nas características operacionais dele, o que impactaria em outros dados necessários para a simulação. Assim se for utilizando qualquer ano posterior haverá um grande risco de os resultados perderem significado e base concreta.

Os procedimentos de pouso e decolagem são padrões e específicos, pois dependem de critérios de segurança de pilotagem e de características geográficas e meteorológicas da região, dependendo de avaliação e aprovação do DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo). Portanto os dados referentes à distribuição do movimentos pelo procedimentos e as características destes, contidos na Tabela 4-1 serão aplicados para as simulações e serão os mesmos para cada uma delas, pois são fruto de estatística baseadas nas operações anteriores do aeroporto.

Tabela 4-1 - Procedimentos de decolagem do SBKP

DEP	%	RETA[m]	CURVA	ÂNGULO
01	9,4	3.740	Direita	152
03	22,2	3.740	Direita	105
05	42,5	3.740	Esquerda	81
02	15,6	3.740	Direita	159
04	3,3	3.740	Esquerda	88
06	7,0	3.740	Esquerda	135

Fonte: INFRAERO

Os procedimentos de decolagem são chamados de **DEP**. São três para cada cabeceira, onde as 01, 03 e 05 pertencem à cabeceira 15 e as 02, 04 e 06 à cabeceira 33. Os percentuais associados a cada uma delas representa a distribuição dos movimentos entre elas e os demais campos definem o traçado que a aeronave deve seguir.

Outro dado relevante para a simulação é a frota de aeronaves que operam no aeroporto SBKP. São elas as responsáveis pela difusão do ruído nas áreas vizinhas

ao aeroporto. As aeronaves que operam no aeroporto SBKP no cenário atual (referente a data da tabela HOTRAN utilizada, discutida na seção seguinte) seguem listadas acompanhadas de seus códigos.

- Boeing 727-700 / 727200;
- Boeing 737-700 / 737700;
- Boeing 737-800 / 737800;
- Boeing 747-200 / 747200;
- Boeing 747-400 / 747400;
- Boeing 757-200 / 757PW;
- Boeing 767-300 / 767300;
- Boeing 767-200 / 767CF6;
- Boeing 777-200ER / 777200;
- Air Bus A320-211 / A320-211;
- Air Bus A330-301 / A330-301;
- Avions de Transport Regional ATR-42 / ATR42;
- Avions de Transport Regional ATR-72 / ATR72;
- Embraer EMB-170 / EMB170;
- Embraer EMB-190 / EMB190;
- MD-11 / MD11GE.

Para o cenário referente ao ano de 2018 a frota de aeronaves não sofrerá modificação e a proporção de utilização das aeronaves serão as mesmas do cenário atual. Como pode ser visto na Tabela 4-2 e na Tabela 4-3 os percentuais das faixas se alteram pouco na janela de tempo que vai de 2013 a 2018 (usando interpolações). Cada faixa representa um grupo de aeronaves agrupadas pela capacidade de passageiros dela (número de assentos), portanto quando maior a faixa, maior o tamanho da aeronave, onde aeronaves maiores tendem a ser mais ruidosas.

Na frota de voos domésticos o uso das aeronaves das faixas 3 e 4 vão diminuir em torno de 7%, em contrapartida o aumento absoluto da quantidade de voos equilibra essa queda percentual, de forma que o aumento do ruído fica condicionado majoritariamente aos aviões das outras faixas já bem estabelecidas, em particular a faixa 5.

Tabela 4-2 - Composição da frota de tráfego doméstico regular

ANO	FAIXA 2	FAIXA 3	FAIXA 4	FAIXA 5	FAIXA 6	FAIXA 7
2010	1%	10%	14%	75%	--	--
2015	1%	7%	10%	77%	5%	--
2025	1%	4%	6%	79%	10%	--

Fonte: Demanda Detalhada dos Aeroportos Brasileiros (2005)

Já em relação a frota de voos internacionais há um aumento real do uso de aeronaves de faixas superiores, principalmente as das faixa 6. Porém de acordo com o estudo do Aeroporto de Munique (vide Figura 4-2) a quantidade de passageiros internacionais para meados de 2018 não é significativa em relação aos domésticos.

Tabela 4-3 - Composição da frota tráfego internacional regular

ANO	FAIXA 3	FAIXA 4	FAIXA 5	FAIXA 6	FAIXA 7	FAIXA 8
2010	5%	20%	60%	15%	--	--
2015	5%	17%	55%	18%	18%	--
2025	5%	15%	45%	22%	8%	5%

Fonte: Demanda Detalhada dos Aeroportos Brasileiros (2005)

Os demais dados utilizados para caracterizar o aeroporto SBKP que são relevantes para a simulação e a lista de receptores críticos onde são avaliados o nível de exposição sonora são apresentados no Anexo B. Os receptores foram escolhidos de forma a serem apenas escolas e que estejam distribuídas de forma uniforme ao máximo possível, pois dessa forma a simulação não apenas caracteriza o nível de ruído nelas, mas através das mesmas pode-se inferir quais áreas urbanas estariam sendo prejudicadas pelo ruído aeroportuário e inadequadas segundo as normas do RBAC. Assim o conjunto de dez escolas forma um conjunto amostral que em termos práticos deve ser estendido para todas escolas e hospitais no entorno de aeroportos.

4.2 Tabela HOTRAN

A atividade da aviação civil é basicamente dividida em linhas operadas por operadoras (empresas de transporte aéreo) em caráter regular e não-regular. Em uma operação regular, a empresa que possui certificação para exercer essa função precisa informar previamente os horários, locais de partida e chegada de suas operações, passando por um processo específico até sua aprovação. Assim constituem um corpo de operações programadas e fixas, enquanto as operações não-regulares se diferenciam por serem dependentes da demanda e não há as mesmas características que nas operações regulares.

A ANAC disponibiliza em seu portal de forma atualizada todos os voos regulares autorizados através da tabela HOTRAN (Horário de Transporte), onde incluem-se os vigentes e os que ainda entrarão em vigência. A metodologia, assim como o objetivo e resultados desse trabalho se apoiam firmemente nas características dos voos regulares, pois por eles é possível simular as situações presentes do aeroporto, permite que se façam atualizações regularmente aos dados já incorporados e são uma base mais sólida para estudos de cenários futuros para aeroportos.

Em contrapartida a outras fontes de dados, onde o campo sonoro do aeroporto é estudado a partir de dados que representam situações do passado e os resultados possuem predominantemente um caráter sintético e mediano, uma vez que para se tornarem consistentes são requeridos amostra de tempo longas, os dados da tabela HOTRAN representam o presente tanto em escala de tempo pequenas como em escalas medianas. Dessa forma é possível caracterizar o impacto sonoro de forma mais precisa, independente se está sendo usado uma métrica que engloba as 24 horas do dia como a DNL ou se é procurado um nível equivalente Leq em um período mais curto. Consequentemente, por exemplo, estudos para impacto sonoro nas horas-pico se tornam mais acurados.

Para a simulação e o objetivo desse trabalho, a tabela HOTRAN fornece para cada voo de cada empresa aérea informações que retratam as aeronaves a serem usadas, os dias da semana nos quais a operação é realizada, locais de origem e destino e o horário da operação. O resultado do pré-processamento desses dados é mostrado na Tabela 4-4 e na Tabela 4-5.

Tabela 4-4 - ATM HOTRAN 1/2013

Aeronaves	DEP		APP		TOTAL
	DIA	NOITE	DIA	NOITE	%
727200	5	0	0	5	0,4
737700	12	6	12	6	1,5
737800	46	7	47	7	4,5
747200	0	1	0	1	0,1
747400	7	2	5	4	0,8
757PW	2	0	1	1	0,2
767300	31	9	27	13	3,4
767CF6	2	0	2	0	0,2
777200	8	3	7	4	0,9
A320-211	14	17	21	10	2,6
A330-301	2	0	0	2	0,2
ATR42	28	0	28	0	2,4
ATR72	192	12	175	29	17,3
EMB170	0	13	0	13	1,1
EMB190	636	107	592	145	62,8
MD11GE	11	8	12	7	1,6

Tabela 4-5 - ATM HOTRAN 1/2013 por dia

SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
362	361	363	362	357	255	297

De acordo com o HOTRAN o aeroporto SBKP teria 2.357 movimentos de pousos e decolagens por semana, o que nos dá 122.901 movimentos por ano. Seguindo as previsões de demanda para o aeroporto, esse número até 2018 ainda aumentará em 45%. Essa proporção será usada para montar o cenário referente a 2018 mantendo-se a mesma porcentagem de utilização das aeronaves, por questões já discutidas essa distribuição não tende a mudar significativamente, que pela Tabela 4-4 mostra que somadas as aeronaves da Boeing, Air Bus e Embraer somam quase 80% do total de movimentos, são aeronaves predominantemente propelas a jato e capítulo 3 (categoria de ruído).

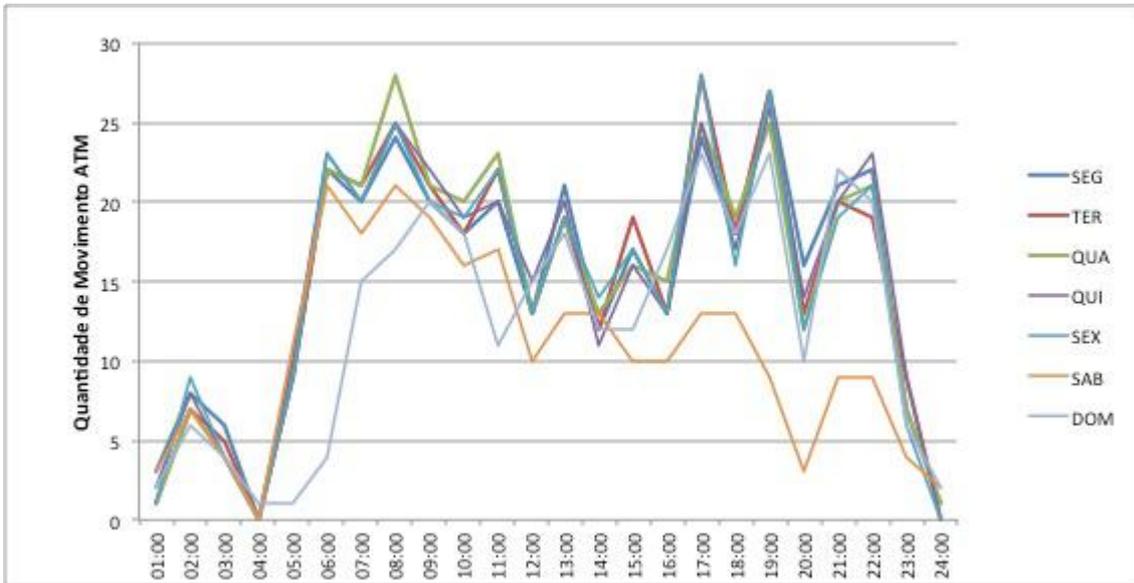


Figura 4-4 - Horas-pico SBKP

Ainda segundo o HOTRAN, os dias da semana seguem um mesmo padrão de demanda ao longo do dia enquanto nos sábados e domingos a movimentação do aeroporto é parcialmente ou inteiramente distinta. Os períodos de horas-pico decorrente de alta demanda e atividade intensa do aeroporto se dão claramente as 8:00 horas da manhã, as 17:00 e 19:00 horas da tarde, quando há uma movimentação entre 24 e 28 movimentos por hora e não há movimentação noturna significativa (período entre 22:00 da noite e 7:00 da manhã).

Resultante disso, o nível sonoro DNL pode ser subvalorizado se ele for calculado utilizando uma média semanal ou mensal, já que a movimentação característica de sábado e domingo trazem o índice para baixo mascarando o nível consistente sentido pela população durante a semana. Também devido as flutuações relativamente altas da demanda, a exposição sonora nas horas-pico do aeroporto pode também não estar sendo bem representada. Pode-se também questionar a eficácia da métrica DNL para gerenciamento do uso do solo para esse aeroporto uma vez que os voos noturnos do aeroporto contabilizam apenas 18% do total. O dados detalhados usados para a simulação são dispostos no Apêndice B.

4.3 Simulação

As simulações são realizadas no software INM – *Integrated Noise Model*. Ele é usado vastamente por instituições civis para avaliação do impacto do ruído aeronáutico e vem sendo desenvolvido desde 1978 pela FAA, o que lhe permite uma diversidade de aplicações específicas.

Ele possui um banco de dados interno com as características acústicas de diversas aeronaves, assim o usuário pode modelar uma grande quantidade de aeroportos, cada um com seu perfil de aeronaves próprios. Possui suporte para decolagens e pousos personalizados e conta com uma infraestrutura interna que suporta diversas abordagens para um mesmo estudo, assim diferentes cenários podem ser montado dependendo do objetivo do usuário e que parâmetros ele quer avaliar. Também oferece uma grande oferta de *outputs* entre curvas de ruído, níveis de exposição em receptores críticos, contabilização de área e população atingida (através de dados censitários).

Para a finalidade desse trabalho, serão montados casos para a movimentação nas segundas, terças, quartas, quintas, sextas, sábados, domingos, para as horas-pico e para representar uma média anual referentes ao momento atual e um caso representando a média anual referente ao ano de 2018. Para cada caso de hora-pico será montado um cenário que avalia nível sonoro no dia de maior exposição sonora nos receptores críticos através da métrica L_{eq} (vide seção 2.3.2) avaliada para o período de 1 (uma) hora (fórmula consta no Apêndice A). Nos demais casos serão montado cenários que avaliam a exposição ao ruído através de métrica DNL (seção 2.3.3) tanto para os receptores críticos como para contabilizar as áreas contidas nas curvas de ruído discriminadas no RBAC 161/11 (seção 3.3.1). Totaliza-se assim 12 simulações.

Os dados para caracterização do aeroporto dentro do software são obtidos direto do DECEA e estão dispostos no Apêndice B, os dados referentes a movimentação do aeroporto, que servirão para montar os casos discutidos no parágrafo anterior são obtidos na tabela HOTRAN (disponível online pela ANAC), houve porém a necessidade de desenvolvimento de algoritmos para o pré-processamento dos dados, dos quais dependerá do objetivo da análise. Para este trabalho foi empregado um algoritmo para que se obtenha os dados exatos para cada dia de semana e uma outra

metodologia para se obter os dados a serem usados no caso horas-pico. Os resultados são mostrados a seguir.

4.3.1 Resultados das Simulações

Crescimento das áreas cobertas pelo campo sonoro entre o cenário atual e a projeção de 2018. Os valores DNL estão em dB(A) e os de área de exposição sonora dos cenários estão em km².

Tabela 4-6 – Comparação das áreas de exposição sonora dos cenários Atual e 2018

DNL	ATUAL	2018	%
65	6,963	9,425	35,4
70	2,867	3,791	32,2
75	1,191	1,582	32,8
80	0,492	0,658	33,7
85	0,185	0,263	42,2

Diferença percentual entre as áreas de exposições sonoras exatas para cada dia com as calculadas nos valores médios de movimentação – área de exposição sonora do cenário atual, vide Tabela 4-6.

Tabela 4-7 - Comparação das áreas de exposição sonora entre os cenários semanais e o atual

DNL	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
65	29,8%	6,9%	6,8%	22,7%	5,5%	-10,3%	-10,2%
70	23,8%	1,0%	-10,4%	17,3%	-0,2%	-15,0%	-13,1%
75	13,5%	-8,1%	-16,5%	10,4%	-9,7%	-20,7%	-19,0%
80	7,5%	-13,2%	-20,3%	6,5%	-15,2%	-22,6%	-20,5%
85	5,4%	-21,6%	-29,7%	7,0%	-24,3%	-29,7%	-28,1%

Comparação do nível sonoro dos receptores críticos no cenário atual com o do cenário referente ao dia de maior exposição sonora (segunda-feira), ambos na métrica DNL, e o nível de exposição sonora durante a hora-pico do dia de maior exposição na métrica L_{Aeq}1h em dB(A).

Tabela 4-8 - Nível sonoro nos receptores críticos para os cenários atual, e os cenários hora-pico

	ATUAL	2018	8:00	17:00	19:00
RC01	63,8	65,5	60,9	59,2	60,6
RC02	50,3	51,9	47,4	44,6	45,8
RC03	51,5	53,1	48,9	46,0	47,1
RC04	56,8	58,4	51,9	49,3	51,6
RC05	52,4	54,0	48,3	45,6	47,6
RC06	51,5	53,1	41,8	45,3	46,9
RC07	60,5	62,1	57,9	55,2	56,4
RC08	49,4	51,0	46,4	43,8	44,7
RC09	48,2	49,8	45,3	47,2	43,7
RC10	66,3	67,9	63,9	61,5	61,7

Imagem das curvas isofônicas referentes ao níveis DNL estabelecido pela norma brasileira RBAC 161, respectivamente 65, 70, 75, 80 e 85 dB DNL calculadas pelo *software* INM. As curvas estão sobrepostas ao mapa urbano dos arredores do aeroporto de Viracopos. Estão representados também a localização relativa a pista do aeroporto das escolas utilizadas como receptores críticos em acordo com o apêndice B.

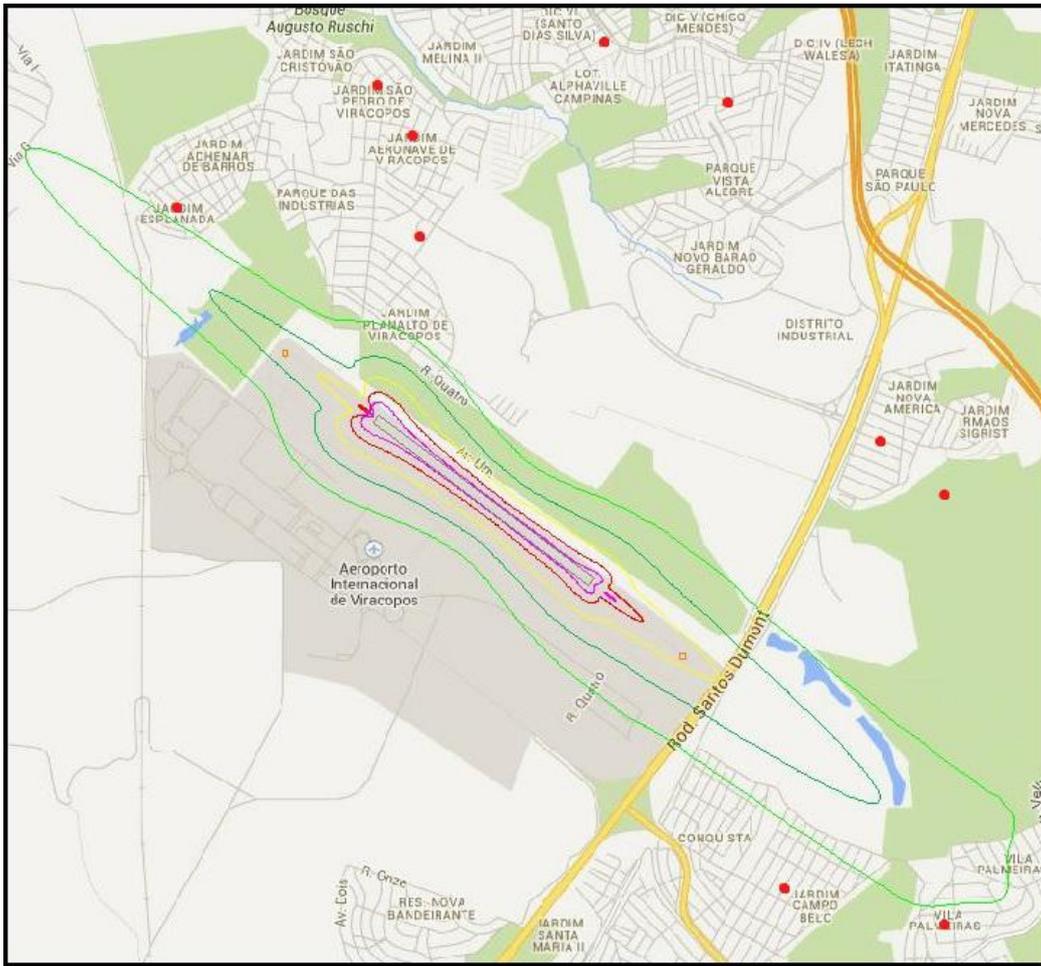


Figura 4-5 - Curvas de ruído e receptores críticos em Viracopos

5 CONCLUSÕES

Esse projeto final de curso teve por objetivo apresentar um estudo preliminar para o desenvolvimento de um sistema de informação de caráter nacional com o estudo de caso relacionado ao aeroporto de internacional de Viracopos. Graças a disponibilidade dos dados da tabela HOTRAN foi possível desenvolver um algoritmo que permitiu a transmissão direta dos dados da tabela para o ambiente de simulação no software INM, onde serviram para o desenvolvimento de doze cenários.

A conclusões feitas nesse trabalho foram possíveis graças ao cruzamento dos dados obtidos pela simulação dos doze diferentes cenários contemplados nesse trabalho. Uma vez em posse desses dados, eles são formatados em tabelas (apresentadas inicialmente na seção 4.3.1 página 60) para que se possa fazer análises mais ricas, onde aspectos importantes para o controle do ruído aeroportuário se tornem mais claros e objetivos.

A primeira análise trata da evolução no tempo, que as áreas sob exposição sonora delimitadas pelas curvas da norma brasileira (vide seção 3.3.1, página 4560), sofrem devido ao previsto aumento da intensidade das movimentações regulares no aeroporto de campinas entre os anos de 2013 e 2018. Os resultados são apresentados na Tabela 4-6. Segundo a mesma, as áreas tendem a cada vez mais invadir o espaço urbano e portanto cada vez maiores porções da população passarão a ser impactadas pelo ruído. A variação das áreas são relativamente altas para todos os intervalos DNL, sendo de no mínimo de 32,2% e o aumento mais crítico de 42,2%.

Há porém de ser considerado que nos maiores níveis DNL, são pequenas as áreas em valores absolutos, assim como o crescimento das mesmas, em outras palavras, têm um baixo potencial de impacto na população urbana enquanto que os índices de DNL 65 e 70 são mais agressivos nesse mesmo aspecto por possuírem áreas bem maiores onde crescimentos da ordem de mais de 30% são mais preocupantes. A exposição sonora têm um caráter dinâmico e apenas planos de zoneamentos fixos como os aplicados até hoje, podem facilmente perder sua eficácia a medida que partes da população, que antes não se encontravam em regiões potenciais a possíveis impactos, tornam-se sujeitas a níveis DNL superiores a 65, ou possivelmente níveis acima de 70 com a intensificação das movimentações do

aeroporto. O espaço de tempo analisado foi de apenas 5 anos, enquanto o aeroporto é projetado para horizontes bem maiores. A negligência em relação a esse aspecto pode levar a situações mais severas em relação ao impacto do ruído.

Posterior a essa análise, passou-se a utilizar as áreas dos cenários simulados para os dias da semana em conjunto com as mesmas áreas correspondentes ao cenário atual, as da norma brasileira. Conforme a Tabela 4-5 de segunda a sexta a movimentação permanece praticamente a mesma enquanto aos sábados e domingos há uma drástica queda. Essa análise visa primeiramente estudar quais consequências essa movimentação irregular dos finais de semana pode causar na avaliação da exposição sonora do cenário atual, este que depende de valores médios.

A Tabela 4-7 sintetiza os resultados mostrando a variação relativa entre as áreas de cada dia de semana com as do cenário atual (Tabela 4-6). As áreas de sábado e domingo apresentam em todas as faixas de níveis DNL um valor inferior às áreas do cenário atual (calculadas a partir do valor médio de movimentações). Já as áreas nos cenários dos dias de segunda a sexta há uma mescla, onde há dias em que certas faixas DNL são ora inferiores, ora superiores, o que confere a princípio a noção de “média” que acompanha o cenário atual. Mas há três apontamentos a serem feitos.

Em primeiro, excluindo-se o sábado e o domingo, em todos os demais dias a área da curva de 65 dB é superior a da de mesmo nível da média mensal (cenário atual), o que significa que trabalhando-se com valores médios para construção de curvas DNL, cria-se uma subvalorização do impacto sonoro nas localidades referentes a essa faixa, o que seria o caso mais indesejado pois como discutido anteriormente estão nessas faixas a maior parte da população exposta aos impactos do ruído. Por segundo fica aparente a importância do controle das aeronaves que são autorizadas a operarem. A partir de um controle rigoroso destas pode-se efetivamente reduzir as áreas de exposição a impactos sonoros, pois uma vez que nos dias de segunda a sexta são realizadas praticamente a mesma quantidade de operações, espera-se que esses dias possuam áreas semelhantes, mas observa-se diferenças notáveis entre elas. Enquanto segunda e quinta são bem semelhantes, terça difere grosseiramente das mesmas. Ou quando é vista a igualdade entre terça e quarta no nível DNL 65 (6,9% e 6,8 respectivamente), logo a seguir em DNL 70 há um salto entre esses mesmos dias (1,0% e -10,4% respectivamente). Todas essas diferenças provêm dos tipos de aeronaves operadas, e mostra-se claro que para um gerenciamento de ruído eficaz é necessário um controle, a medida do possível, das aeronaves.

Por último, observa-se também uma tendência na relação entre as áreas do cenário atual com aquelas dos cenários dos dias da semana, onde a medida em que se vai do nível DNL 85 para o 65, a diferença estará sempre aumentando. Na segunda por exemplo, a diferença começa aos 5,4% e termina em 29,8%. Nos cenários onde as áreas são inferiores às do cenário atual (os de porcentagem negativa), elas em algum momento se tornam superiores.

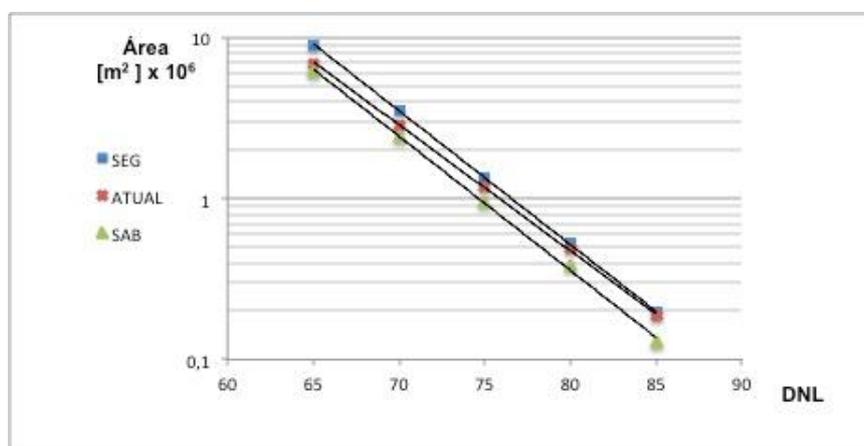


Figura 5-1 - Regressão linear das áreas em escala logarítmica

Para um melhor entendimento da questão, plota-se um gráfico das áreas em escala logarítmica pelos níveis DNL (Figura 5-1). Observa-se que os pontos tendem a se alinhar. Através de uma regressão linear averigua-se que há uma tendência a paralelismo nos dados dos cenários semanais. Fato que confirma-se quando são calculados os coeficientes angulares dessas retas, que são mostrados na tabela abaixo.

Tabela 5-1 - Desvio relativo dos coeficientes angulares dos cenários semanais em relação ao Atual

Ax+B	ATUAL	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SAB	DOM
A	0,078	0,083	0,085	0,084	0,082	0,086	0,083	0,083
B	11,942	12,368	12,411	12,305	12,235	12,438	12,225	12,202
%	—	+5,8%	+7,9%	+7,0%	+3,9%	+8,4%	+6,1%	+5,6%

Nota-se que essa tendência se mantém inclusive nos dias de sábado e domingo, que são diferentes dos demais em quantidade de movimentações, mas não no cenário atual, o que leva a conclusão de que o fato de se trabalhar com valores médios deixa-se de representar corretamente a propagação dos níveis de ruído nas áreas urbanas, mais especificamente, quanto menores os níveis DNL representados, maior a redução

de suas respectivas áreas de exposição sonora. Essa conclusão tem a mesma importância que as da discussão anterior, pois são nesses níveis (os mais próximos a 65) que estão as maiores áreas, as áreas que podem sofrer crescimento a taxas mais aceleradas e portanto os níveis que possuem maior potencialidade para impactar na população urbana. Justamente os níveis com os quais deve-se ser mais rigoroso são os que o cenário atual subvaloriza, mascarando a situação real da exposição sonora. Paralelamente em níveis DNL mais altos pode até haver uma supervalorização, porém dificilmente esses níveis estarão afetando a população.

As análises realizadas até o momento não são suficientes para avaliar como o impacto pode se apresentar em regiões específicas levando em consideração outras características das movimentações, como as do gráfico na Figura 4-4. Para tanto foram usados também cenários de simulação em escolas de diferentes regiões vizinhas ao aeroporto para as horas-pico do aeroporto, onde níveis de ruído maiores são esperados. Os resultados foram mostrados na Tabela 4-8.

Em ciência de primeira análise dessa conclusão, é esperado que os níveis calculados em um local específico sofra um aumento. Esse aumento apresenta-se o mesmo para qualquer outro local e equivalente a 1,6 dB(A). Efetivamente o RC01 entrou para dentro da curva DNL 65 que caracteriza toda uma nova área que deveria estar preparada para se adequar ao plano de zoneamento. Ao mesmo tempo a região onde o RC07 se localiza, se encontra potencialmente ameaçada pelos impactos do ruído. Como esses cenários são calculados a partir de médias mensais de movimentação, considerando as conclusões anteriores espera-se que o real aumento dos níveis de ruído devam ser superiores a 1,6 dB(A), principalmente porque essas regiões estão todas abaixo de DNL 70, muitas abaixo mesmo do nível DNL 60.

Esse fato pode ainda se tornar mais fundamentado quando são calculados os níveis equivalentes de ruído nas horas-pico do aeroporto nos mesmos 10 receptores críticos para o dia de exposição sonora mais intensa, segunda-feira. Fazendo o diagnóstico desses receptores com os padrões de aceitabilidade presentes na norma ABNT NBR 10.151, quatro desses receptores estariam completamente inadequados para o exercício de suas atividades, os de número 1, 4, 7 e 10 enquanto outros 2 estariam já sob um nível de exposição grande, na eminência de serem condenados pela norma. Lembrando que esses níveis equivalente nas horas-pico são calculados pelos dados atuais de movimentação, então como já apontado, com a intensificação

prevista das atividades em Viracopos esses níveis devem aumentar em todos os receptores críticos.

Todas essas análises trouxeram novas informações a respeito da caracterização do ruído aeroportuário. Novas questões envolvendo o método de se caracterizar o ruído e até que ponto o uso de curvas de ruído para plano de zoneamento como feito atualmente é eficiente. Assim sendo, uma nova abordagem como proposta de solução do problema merece ser estudada. Este trabalho procurou demonstrar quais tipos de informações são relevantes para a caracterização do ruído aeroportuário e que uma correta monitoração destas pode ser necessária para o controle e solução do problema. A possibilidade de tal medida existe graças a disponibilidade de obter essas informações através de simulações computacionais conforme foram efetuadas nesse estudo, não apenas em se tratando dos resultados do programa mas também da manipulação própria da tabela HOTRAN. A obtenção e organização desses dados caracterizam um sistema de informação, que estaria servindo como base para estudos e análises sobre o ruído aeroportuário de qualquer aeroporto do país.

APÊNDICE A

- Fórmula da métrica L_{AeqD}

$$L_{AeqD} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{15 \cdot S_H} \cdot \int_{07S_H}^{22S_H} \frac{P_A(t)^2}{P_0^2} dt \right] \quad (A.1)$$

- Fórmula da métrica L_{AeqN}

$$L_{AeqN} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{9 \cdot S_H} \cdot \left(\int_{22S_H}^{24S_H} \frac{P_A(t)^2}{P_0^2} dt + \int_{00S_H}^{07S_H} \frac{P_A(t)^2}{P_0^2} dt \right) \right] \quad (A.2)$$

- Fórmula da métrica L_{Aeq1h}

$$L_{Aeq1h} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{S_H} \cdot \int_{HS_H}^{(H+1)S_H} \frac{P_A(t)^2}{P_0^2} dt \right] \quad (A.3)$$

Onde:

H: Hora do dia na qual pretende-se avaliar o ruído

S_H : Valor segundos por hora. Equivalente a 3600.

A métrica L_{Aeq1h} passou a ser usada dentro do LAVI (Laboratório de Acústica e Vibrações) especificamente para avaliação do ruído no intervalo de 1 hora.

APÊNDICE B

Dados utilizados para a simulação

➤ Localização do Aeroporto Internacional de Viracopos:

Latitude: -23,006944

Longitude: -47,134444

Elevação: 2170 ft

➤ Localização das cabeceiras:

Cabeceira 15

Latitude: -22,998609

Longitude: -47,146946

Elevação: 2139 ft

Cabeceira 33

Latitude: -23,016390

Longitude: -47,121944

Elevação: 2170 ft

➤ Localização dos receptores críticos:

	Latitude	Longitude	Tipo
RC01	22°59'23.96"S	47° 9'13.90"O	ESCOLA MUNICIPAL DE ENSINO BÁSICO
RC02	23° 0'13.54"S	47° 6'34.18"O	ESCOLA MUNICIPAL DE ENSINO BÁSICO
RC03	23° 0'8.24"S	47° 6'19.57"O	ESCOLA PARTICULAR DE EDUCAÇÃO INFANTIL
RC04	22°59'30.18"S	47° 8'18.98"O	ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO BÁSICO
RC05	22°59'8.54"S	47° 8'20.30"O	ESCOLA MUNICIPAL DE ENSINO BÁSICO

	Latitude	Longitude	Tipo
RC06	22°58'58.41"S	47° 8'28.39"O	ESCOLA PARTICULAR DE EDUCAÇÃO INFANTIL
RC07	23° 1'47.63"S	47° 6'56.30"O	ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO BÁSICO
RC08	22°58'49.53"S	47° 7'37.11"O	ESCOLA MUNICIPAL DE ENSINO BÁSICO
RC09	22°59'2.08"S	47° 7'9.13"O	ESCOLA MUNICIPAL DE ENSINO BÁSICO
RC10	23° 1'55.88"S	47° 6'20.06"O	ESCOLA MUNICIPAL DE ENSINO BÁSICO

BIBLIOGRAFIA

ANAC. (2013). Acesso em 2013, disponível em Portal ANAC: www.anac.gov.br

Caldas, T. C. (2013). *Elementos para uma Política de Gestão Pública*. Tese de Doutorado em Engenharia de Transportes, UFRJ/COPPE, Programa de Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro.

FICAN. (s.d.). Acesso em 2013, disponível em The Federal Interagency Committee on Aviation Noise: www.fican.org

Hanscom Noise Workgroup. (28 de Fevereiro de 2001). Acesso em 2013, disponível em FICAN: <http://www.fican.org/pdf/HanscomNoise.pdf>

Heleno, T. A. (2010). *Uma Nova Metodologia de Zoneamento Aeroportuário com o Objetivo de Reduzir o Encroachment e os Efeitos Adversos do Ruído*. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, UFRJ/COPPE, Programa de Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro.

IAC. (2005). *Demanda Detalhada dos Aeroportos Brasileiros*. Departamento de Aviação Civil, Divisão de Planejamento e Pesquisa.

IAC. (2004). *Manual de Implementação de Aeroportos*. Acesso em 2013, disponível em Portal ANAC: www2.anac.gov.br

INFRAERO. (2013). Acesso em 2013, disponível em INFRAERO Aeroportos: <http://www.infraero.gov.br>

INFRAERO. (2012). *Anuário Estatístico Operacional*. Relatório Anual, INFRAERO, Diretoria de Planejamento, Brasília.

INFRAERO. (2011). *Relatório Ambiental*. INFRAERO Aeroportos. NJobs Comunicação.

INFRAERO. (2012). *Relatório Anual*. Brasília.

International Civil Aviation Organization. (2007). *Update of the Balanced Approach Guidance*. Working Paper, Committee on Aviation Environment Protection, Montreal.

Mioto, R. (20 de Maio de 2013). Estudo prevê nova crise aérea no Brasil em 7 anos. *Folha de São Paulo* .

NACO. (2013). *Plano Diretor Aeroporto Internacional de Viracopos*. Sumário Executivo, Aeroportos Brasil Viracopos S.A., Campinas.

O Estado de São Paulo. (25 de Março de 2007). Aeronáutica alerta para risco de apagão desde 2004. *O Estado de São Paulo* .

Organização Internacional de Aviação Civil. (s.d.). *About ICAO*. Acesso em 2013, disponível em ICAO: www.icao.int

Perez, D. (2009). *Aviação Civil no Brasil: Imapcto do conceito Low Fare, Low cost no mercado da aviação doméstica*. Monografia de Título de Tecnólogo, Centro Paula Souza, Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, São Paulo.

Valim, F. C. (2006). *Análise das Diferentes Formas de Atenuação do Ruído Aeronáutico*. Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Brasília: T. DM 004/2006.

Walker, J. (2009). *Fundamentos da Física* (8ª edição ed., Vol. II). Rio de Janeiro, RJ, Brasil: LTC.