



**ANÁLISE DO REGULAMENTO BRASILEIRO DE AVIAÇÃO CIVIL Nº 161 COM APLICAÇÃO  
NO CASO DO AEROPORTO DE CURITIBA**

Lucas Ribeiro Gomes Cifuentes Gonçalves

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

Orientador: Jules Ghislain Slama

Rio de Janeiro

Abril de 2013



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO**

Departamento de Engenharia Mecânica

DEM/POLI/UFRJ



**ANÁLISE DO REGULAMENTO BRASILEIRO DE AVIAÇÃO CIVIL Nº 161 COM APLICAÇÃO  
NO CASO DO AEROPORTO DE CURITIBA**

Lucas Ribeiro Gomes Cifuentes Gonçalves

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, DSc

---

Prof. Fernando Augusto Noronha Castro Pinto, Dr.Ing

---

Prof. Ricardo Eduardo Musafir, DSc

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL de 2013

Gonçalves, Lucas Ribeiro Gomes Cifuentes

Análise do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil N°161 com Aplicação no Caso do Aeroporto de Curitiba /Lucas Ribeiro Gomes Cifuentes Gonçalves – Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

VII, 54 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Jules Ghislain Slama, DSc.

Projeto de Graduação – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Mecânica, 2013.

Referências Bibliográficas: p. 52-54.

1. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil 161. 2. Plano Específico de Zoneamento de Ruído. 3. Curvas de Ruído. 4. Usos compatíveis do solo. I. Slama, Jules Ghislain. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Mecânica. III. Título.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Engenheiro Mecânico.

## ANÁLISE DO REGULAMENTO BRASILEIRO DE AVIAÇÃO CIVIL Nº 161 COM APLICAÇÃO NO CASO DO AEROPORTO DE CURITIBA

Lucas Ribeiro Gomes Cifuentes Gonçalves

Abril/2013

Orientador: Jules Ghislain Slama

Curso: Engenharia Mecânica

Nos últimos anos, a utilização dos transportes aéreos tem aumentado cada vez mais. Neste trabalho, discorreremos sobre as normas e regulamentos, no que diz respeito de níveis de som e ruído, e em seguida entraremos em detalhes do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 161, que foi criado em 2011 para atualizar a antiga portaria 1141/GM5. Explicaremos de modo detalhado, suas etapas e em seguida seguiremos o regulamento na realização de um Plano de Zoneamento de Ruído. Será feita uma simulação por meio de programa computacional, para que sejam identificadas as curvas de ruído, utilizando a metodologia pedida no regulamento, em seguida são identificados pontos, tais como escolas e hospitais, que serão investigados para sabermos se estão de acordo com o regulamento ou não, caso negativo, são indicadas as atitudes que devem ser tomadas.

*Palavras Chave:* Aeroportos, Curvas de Ruído, Plano Específico de Zoneamento de Ruído, Simulação Computacional, Regulamento Brasileiro de Aviação Civil 161.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Analysis of Brazilian Regulation of Civil Aviation 161 for the Case of Curitiba Airport

Lucas Ribeiro Gomes Cifuentes Gonçalves

April/2013

Advisor: Jules Ghislain Slama

Course: Mechanical Engineering

In the last years, the use of air transports has greatly increased. In this work, we will discuss the norms and regulation that talk about sound and noise levels, see Brazilian Regulation of Civil Aviation RBAC 161, that was created in 2011 to update old ordinance "Portaria 1141/GM5". It will be explained in details all points that the regulation discuss, and afterwards follow it in the realization of a Noise Zoning Plan for the airport. There will also be a simulation to see the noise curves generated by aircrafts of the airport, using the methodology explained on the regulation, followed by an investigation of points of interest around the airport, such as school and hospitals, and check the noise levels. If the noise on those points are in accordance with regulation or not, and if not, will explain the actions that should be taken.

*Key Words:* Airport, Noise Curves, *Noise Zoning* Plan, Computational Simulation.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

A meus pais, Luiz e Viviane, por me tornarem o que eu sou hoje. E por sempre acreditarem em mim.

Ao meu irmão, Gabriel, por estar sempre ao meu lado.

Ao professor Jules e a equipe do GERA, pela sua orientação e assistência no que me foi necessário.

A todos que, de alguma forma, me fizeram chegar até aqui.

## Sumário

<b>1 – INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 - Objetivo do Trabalho.....	2
1.2 - Estrutura do trabalho .....	2
<b>2 – SOM E RUÍDO</b> .....	4
2.1 – Definição.....	4
2.2 – Ruído Aeronáutico .....	7
<b>3 – EFEITOS DO RUÍDO NA SOCIEDADE</b> .....	9
3.1 – Efeitos adversos ao ruído aeroportuário.....	10
3.1.1 – Interferência na comunicação.....	11
3.1.2 – Interferência no sono .....	13
3.1.3 – Incômodo sonoro.....	15
<b>4 – MÉTRICAS DE RUÍDO</b> .....	16
4.1 – Leq - Nível Equivalente de Pressão Sonora Contínua.....	17
4.2 – LaeqD - Nível Equivalente de Pressão Sonora Ponderado em A Diurno.....	17
4.3 – LaeqN - Nível Equivalente de Pressão Sonora Ponderado em A Noturno .....	18
4.4 – DNL - Day and Night Level.....	18
4.5 – SEL - Sound Exposure Level .....	19
<b>5 – LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE RUÍDO</b> .....	20
5.1 – Norma NBR 10.151 .....	21
5.2 – Norma NBR 10.152.....	22
5.3 – Portaria 1141/GM5.....	24
5.4 – RBAC 161.....	25
5.4.1 – SUBPARTE A , Generalidades.....	25
5.4.2 – SUBPARTE B, Plano de Zoneamento de Ruído .....	26
5.4.3 – SUBPARTE C, Plano Básico de Zoneamento de Ruído .....	27
5.4.4 – SUBPARTE D, Plano Específico de Zoneamento de Ruído .....	31
5.4.5 – SUBPARTE E, USO DO SOLO .....	34
5.4.6 – SUBPARTE F, Do Relacionamento .....	38
5.4.7 – SUBPARTE G, Disposições Finais .....	40
<b>6 – Integrated Noise Model - INM</b> .....	41
<b>7 – Simulação e Resultados</b> .....	43
7.1 – Simulação no entorno do aeroporto .....	43
7.2.1 – Simulação no Aeroporto de Curitiba .....	44
7.4 – Análise dos Resultados.....	49
<b>8 – CONCLUSÃO E SUGESTÕES</b> .....	50
8.1 - CONCLUSÃO .....	50

8.2 – Sugestões para futuros trabalhos.....	52
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>52</b>



# 1 – INTRODUÇÃO

O transporte aéreo é um grande impulsionador do crescimento econômico, pois permite o escoamento produtivo e o turismo de forma eficiente, e com isso gerando circulação de capital pelo país. Mas necessita de regulação, por dois motivos: um de natureza técnica e outro de natureza econômica.

A razão técnica existe pelo fato de que as operações aéreas (tanto operações em terra quanto operações no ar) devem cumprir requisitos rigorosos de segurança e treinamento de mão de obra. Sem fiscalização e regulamentação, a segurança e o treinamento podem ser inadequados, gerando riscos. Portanto, a função regulamentadora é de mitigar essa falha. Sem regulamentação, a população não teria garantias acerca da sua segurança, e qualidade das operações aéreas.

A razão de natureza econômica refere-se à necessidade de otimização dos serviços oferecidos, assegurando aos usuários melhor qualidade, maior diversidade e menores preços, e estimulando a expansão da demanda.

O Brasil nos últimos anos vem crescendo cada vez mais, e com o desenvolvimento do país, e crescimento da população se faz necessário o aumento da mobilidade, tanto interna quanto externa, nesse contexto o transporte aéreo apresenta enorme importância. Para que esse desenvolvimento do setor aéreo não ocorra de forma desordenada, e que a qualidade de vida das pessoas não piore, principalmente devido ao ruído aeroportuário, foram criadas diversas normas e regulamentações para proteção da qualidade de vida das pessoas.

As pessoas que vivem no entorno de aeroportos lidam diariamente com níveis de ruídos elevados, e por isso são necessárias, em casos de criações de novos aeroportos, e também naqueles já existentes. Esses ruídos gerados pelas movimentações de aeronaves podem gerar diversos efeitos nas pessoas, tanto físicos quanto psicológicos, por isso devemos dar a devida importância a esses aspectos.

## *1.1 - Objetivo do Trabalho*

Esse trabalho tem por objetivo fornecer informações sobre o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil 161 (RBAC 161) e descrever as etapas necessárias para a criação de um Plano de Zoneamento de Ruído (PZR), seja ele um Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR) ou um Plano Específico de Zoneamento de Ruído (PEZR), que são escolhidos de acordo com a escala do aeroporto como veremos mais adiante. Além disso, ainda veremos como funcionam as metodologias por trás das simulações necessárias para a realização do PEZR.

## *1.2 - Estrutura do trabalho*

Este trabalho está dividido da seguinte forma.

No capítulo 1 é apresentada uma rápida introdução ao assunto, o objetivo e estruturação do trabalho.

No próximo capítulo, aprenderemos sobre o som e o ruído, suas definições, curvas isofônicas e a ponderação criada para melhor observação dos fenômenos auditivos. Também falaremos sobre o ruído aeronáutico e como são gerados.

No capítulo 3 serão apresentados os diversos impactos que o ruído implica na sociedade, que são os principais motivos de toda a legislação existente hoje.

No capítulo 4 apresentamos as principais métricas existentes que são usadas na área de ruídos aeroportuários, DNL, LAeqD, LAeqN e SEL, que são de fundamental importância para o entendimento das simulações que serão realizadas posteriormente.

O capítulo 5 apresenta a legislação existente sobre o assunto, que são as normas NBR – 10151, NBR – 10152, a portaria 1141/GM5 e o RBAC nº161. Este último é de fundamental importância sendo o principal base para este trabalho, utilizado para realização de Planos de Zoneamento de Ruídos.

O capítulo 6 descreve o funcionamento do *software* utilizado para as simulações, o *Integrated Noise Model*, seus dados de entrada, e de saída.

No capítulo 7 veremos como é realizado um Plano Específico de Zoneamento de Ruído, conforme a RBAC nº161, os passos que devem ser seguidos para a implementação do PEZR, e a simulação das curvas de ruído, no aeroporto de Curitiba, utilizado para exemplificar a aplicação do regulamento.

O capítulo 8 apresenta a conclusão do trabalho, e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 – SOM E RUÍDO

### 2.1 – Definição

O som que ouvimos nada mais é do que a vibração das partículas no meio, produzidas por flutuações na pressão, que possam ser detectadas pelo aparelho auditivo humano. Essas vibrações se propagam em forma de onda através do meio, seja este sólido, líquido ou gasoso. A velocidade de propagação está diretamente ligada com as características do meio. No ar, a velocidade do som é de 340 m/s.

As principais características do som são: timbre, amplitude, frequência e espectro. O som físico é uma perturbação produzida pelas vibrações de um corpo, ou o escoamento de um fluido, que se propaga num meio elástico (sólido, gasoso ou líquido) através de pequenas flutuações de pressão, densidade e temperatura. Quando uma onda sonora atravessa esse meio, o movimento das suas partículas está associado a uma variação de pressão. Esta variação de pressão será um som, se for capaz de criar uma sensação auditiva.

A pressão sonora ( $p$ ) é a diferença entre a pressão instantânea do ar na presença de ondas sonoras e a pressão atmosférica.

$$P(t) = P_0 + p(t)$$

onde:

$P_0$  é a pressão atmosférica

$P(t)$  é a pressão total

$p(t)$  é a pressão sonora

Pressão sonora eficaz é definida como a raiz quadrada da média quadrática temporal da pressão acústica instantânea, calculada sobre um intervalo de tempo apropriado. A sensação sonora é função da pressão sonora eficaz.

$$(p_{ef})^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} [p(t)]^2 dt$$

A potência sonora de uma fonte é a quantidade de energia por unidade de tempo em forma de ondas sonoras que partem de uma fonte. A unidade de medida de potência sonora é o Watt (W).

Gustav Weber e Ernst Fechner, no séc. XIX, propuseram um modelo em que, aproximadamente, as sensações humanas são proporcionais ao logaritmo da intensidade do estímulo. Posteriormente, com a criação da unidade Bel, essa unidade foi proposta para relacionar a intensidade do som a um nível de intensidade correspondente à sensação humana, sendo utilizada a escala logarítmica. Desta forma, as potências sonoras citadas acima podem ser expressas em decibéis (décima parte do Bel).

O Nível de Pressão Sonora é igual a dez vezes o logaritmo decimal da relação quadrática entre a pressão acústica eficaz e a pressão acústica de referência. Ou vinte vezes o logaritmo decimal da relação da pressão acústica eficaz com a pressão acústica de referência.

$$NPS = 10 \log_{10} \left( \frac{P^2}{P_0^2} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{P}{P_0} \right)$$

Na qual:

$p$  = pressão sonora medida em Pa,

$p_0$  = pressão de referência ( $p_0 = 0,00002$  Pa).

Para um melhor entendimento da percepção sonora humana foram criadas curvas de audibilidade, para relacionar as propriedades do som à percepção humana. Por exemplo, a faixa em que o som pode ser percebido varia de 20 Hz até 20.000Hz, sons acima de 20.000Hz não são notados, mas ainda assim podem ser prejudiciais a saúde.

Para melhor entendimento sobre a interpretação humana ao som, em 1933 Fletcher e Munson desenvolveram curvas isofônicas (de igual audibilidade) para tons puros. Elas representam a amplitude percebida pelo homem, com a dada amplitude sonora emitida. Com isso percebemos que a percepção humana varia conforme a frequência e amplitude sonora. (ROSSING,1990).

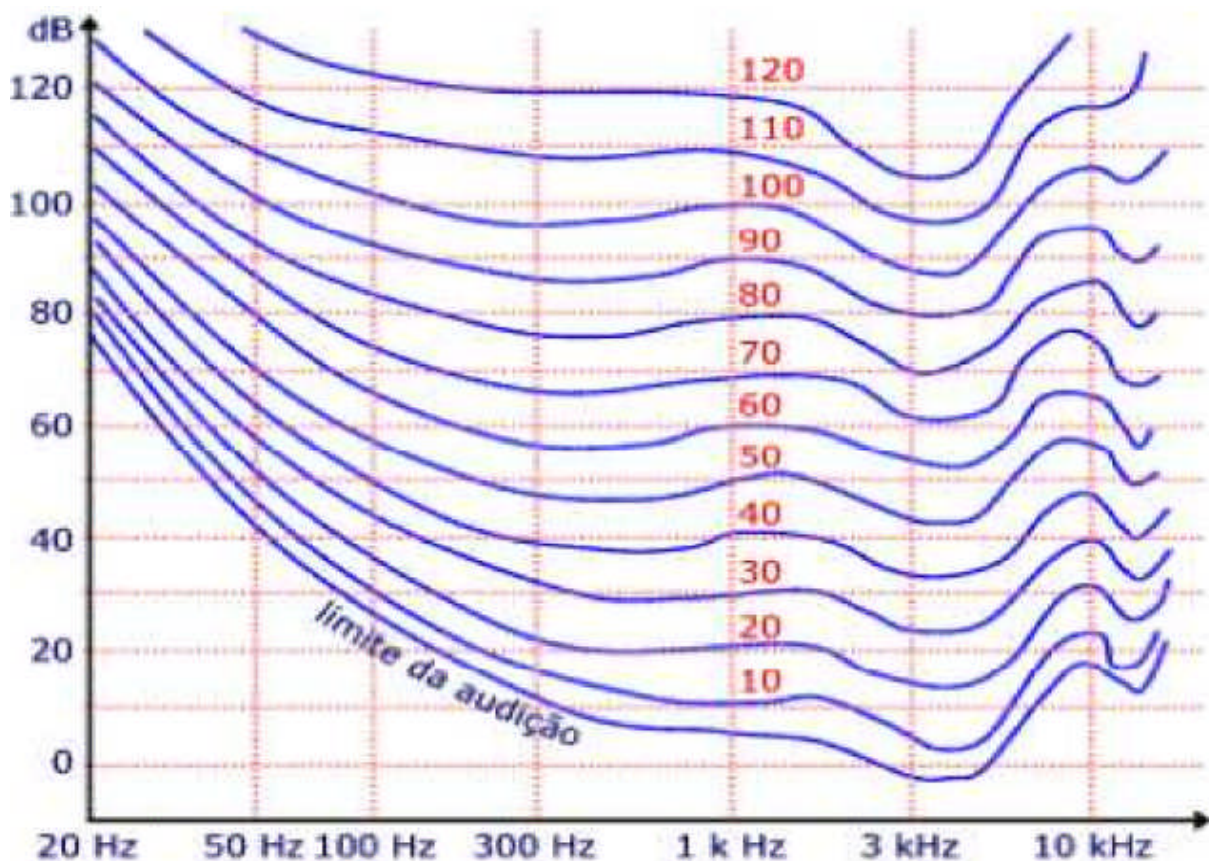


Figura 2.1 - Curvas Isofônicas

Fonte: HASSAL e ZAVERI, 1979.

No gráfico, podemos notar maior sensibilidade ao som entre 1 kHz e cerca de 5 kHz, fora desse intervalo a sensibilidade é menor e o nível de pressão deve ser aumentado.

Foram criadas ponderações associadas à escala logarítmica de decibéis, com o objetivo de relacionar em números à percepção sonora dentro da faixa dos sons correspondentes a audição humana. Existem quatro ponderações utilizadas pelas normas internacionais: A, B, C e D. Dentre elas, a mais utilizada é a ponderação A que melhor correlaciona os valores medidos com o incômodo sonoro ou risco de trauma auditivo. A sua unidade é expressa em dB(A) (HASSAL e ZAVERI, 1979).

## ***2.2 – Ruído Aeronáutico***

A presença dos aeroportos causa dois tipos de impactos principais, quanto a danos a sociedade, são eles: a poluição atmosférica e o ruído. Sendo o segundo o grande causador de problemas com a população no entorno do aeroporto, devido a grande movimentação em grandes aeroportos próximos a regiões residenciais ou de grande trânsito de pessoas.

As aeronaves geram dois tipos de ruídos, aqueles gerados pela passagem de ar ao redor das asas e fuselagem, chamados de ruídos aerodinâmicos, e os ruídos devido ao funcionamento do motor. Deve ser levada em conta a quantidade de aeronaves que circulam no aeroporto, tipo de nave dentre outras características que alteram a dimensão do ruído.

Em 1971, sob o título de Anexo 16 à Convenção relativa à Aviação Civil Internacional – *Environmental Protection*, Volume I – *Aircraft Noise*, foi estabelecido o primeiro conjunto de normas e práticas recomendadas sobre o ruído e a certificação de aeronaves. Desta

forma, antes que qualquer aeronave entre em operação, ela deve passar pelo processo de certificação.

As aeronaves podem ser classificadas de acordo com a sua tecnologia e com o nível de ruído que produzem, segundo a OACI – Organização da Aviação Civil Internacional, se divide em:

- NC (Não Certificadas) – aeronaves fabricadas nas décadas de 50 e 60 equipadas com motores da 1ª geração. Essas não são certificadas de acordo com o Anexo 16. São extremamente ruidosas. No Brasil, a operação dessas aeronaves está proibida desde 1998, através da Portaria Nº 628/GM5, de 25 de agosto de 1992. Exemplos: *Boeing 707*, *Douglas DC-08*, *Carvelle* e *Concorde*.
- Capítulo 2 – aeronaves equipadas com a segunda geração de motores e fabricadas nas décadas de 70 e 80. São menos ruidosas dos que as não-certificadas, apresentando valores de níveis de ruído menores nos testes de certificação, porém ainda são bastante ruidosas. Essas deveriam ser retiradas da frota mundial até abril de 2002 conforme previsto na Resolução A28-3, adotada pela OACI. Exemplos: *Boeing 727-100/200* e *Douglas DC-09*.
- Capítulo 3 – aeronaves equipadas com a terceira geração de motores e fabricadas a partir da década de 90. São mais modernas e consideradas pouco ruidosas, apresentando seus valores de nível de ruído ainda menores nos testes de certificação. Exemplos: *Boeing 737-300/700/800*, *DC10/30* e *Airbus 319*.



- Capítulo 4 – aeronaves fabricadas a partir de 2006 equipadas com motores de última geração e são as menos ruidosas, apresentando o nível de ruído muito baixo nos testes de certificação.

Apesar de terem sido inicialmente construídos em zonas afastadas das cidades, alguns aeroportos tiveram seu entorno sendo povoados gradativamente, devido tanto ao aumento populacional quanto a oferta de serviços na região, devido ao próprio aeroporto.

### **3 – EFEITOS DO RUÍDO NA SOCIEDADE**

Se a exposição ao som ocorre de forma inadequada, os danos podem ser graves, dependendo da intensidade, podem causar danos irreversíveis. A OMS – Organização Mundial da Saúde classifica os danos como:

- Diretos/Imediatos: A resposta a esse tipo de efeito é rápida e é sentido imediatamente ou em curto prazo, tais como: perda do sono, interrupção do sono, redução da capacidade de concentração, entre outros.
- Indiretos/Cumulativos: São aqueles gerados devidos a exposição inadequada contínua, são notados a longo prazo. Exemplos: estresse, irritação, perda de memória, queda da percepção auditiva.

Dentro os efeitos do ruído ao homem, podemos citar o estresse como um dos principais. Ele é gerado devido à exposição contínua a níveis de ruído acima do aceitável; o corpo começa a sentir alterações físicas e psicológicas, gerando efeitos tais como cansaço crônico, aumento da pressão cardiovascular, enxaquecas, ansiedade, agressividade, entre outros.

Além dessa classificação para os danos auditivos, existe outra, quanto ao tipo de resposta do organismo, são elas: auditivos e não auditivos.

Os danos auditivos são aqueles ligados a audição humana, doenças e/ou alterações. São eles:

- Mudança temporária no limiar de audição (redução temporária da audição);
- Mudança permanente no limiar de audição ou perda auditiva induzida (redução permanente da audição)

Os danos não auditivos estão ligados a outro tipo de resposta do homem, são danos psicológicos, emocionais ou fisiológicos e sem ligação com o aparelho auditivo. Alguns deles são:

- Dificuldade de comunicação;
- Sustos;
- Palpitação;
- Redução da capacidade de concentração.

### *3.1 – Efeitos adversos ao ruído aeroportuário*

Os principais efeitos do ruído aeroportuário as populações que cercam o aeroporto são, interferência na comunicação, interferência no sono e incômodo sonoro, eles são explicados a seguir.

### 3.1.1 – Interferência na comunicação

O principal efeito do ruído na comunicação é o mascaramento ou até mesmo interrupção na compreensão da fala, tornando-a ininteligível ou inaudível. Para compensar esse efeito a intensidade da voz deve ser aumentada, e se isso ocorre repetidamente, pode gerar alterações nas cordas vocais.

A OMS considera níveis de ruído de fundo de 35dB(A) perfeitos para inteligibilidade da fala, mas aceita como suficiente ruídos de 45dB(A). Ruídos superiores a 50dB(A) já provocam dificuldades na compreensão da fala, e superiores a 65dB(A) o esforço vocal é grande.

Esse efeito é particularmente importante quando consideramos as escolas no entorno do aeroporto, o ruído pode atrapalhar na concentração, e aprendizagem. Além do estresse (tanto as cordas vocais, como psicológicos) causado aos professores por terem de aumentar a voz para superar o ruído gerado.

Para medir a qualidade de um ambiente fechado, foi criada uma métrica, o SIL – *Speech Interference Level*. Ela avalia os efeitos das interferências, e é definida como a média aritmética do nível sonoro de quatro faixas de oitava, que são 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz e 4000 Hz.

A SIL é dada por:

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

No gráfico a seguir podemos relacionar o SIL com a distância, e demonstrar a influência do ruído na comunicação verbal em recintos fechados.

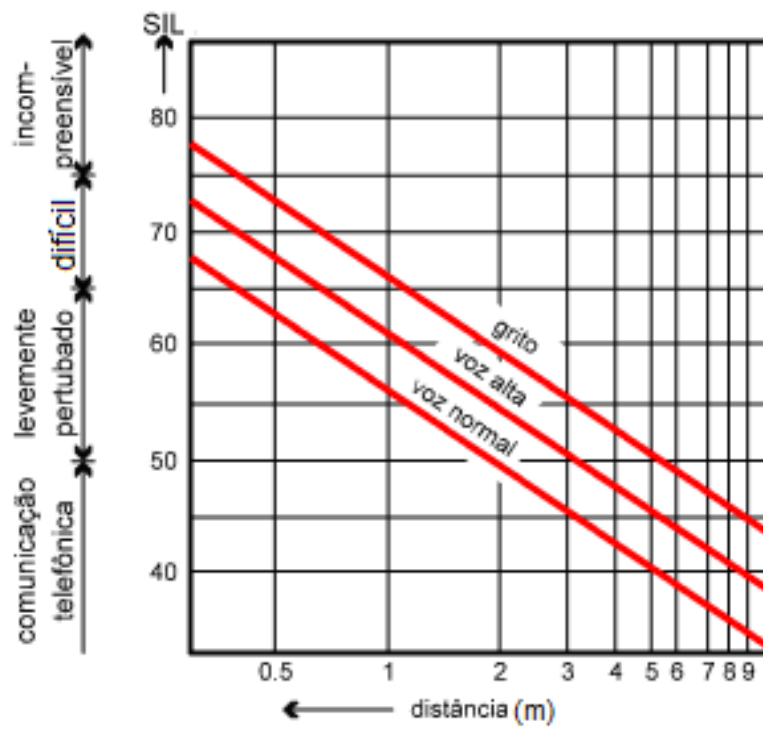


Figura 3.1 – Influência do ruído na inteligibilidade da comunicação verbal em ambientes fechados.

Fonte: SLAMA (2007a).

E, analogamente, para ambientes abertos, temos:

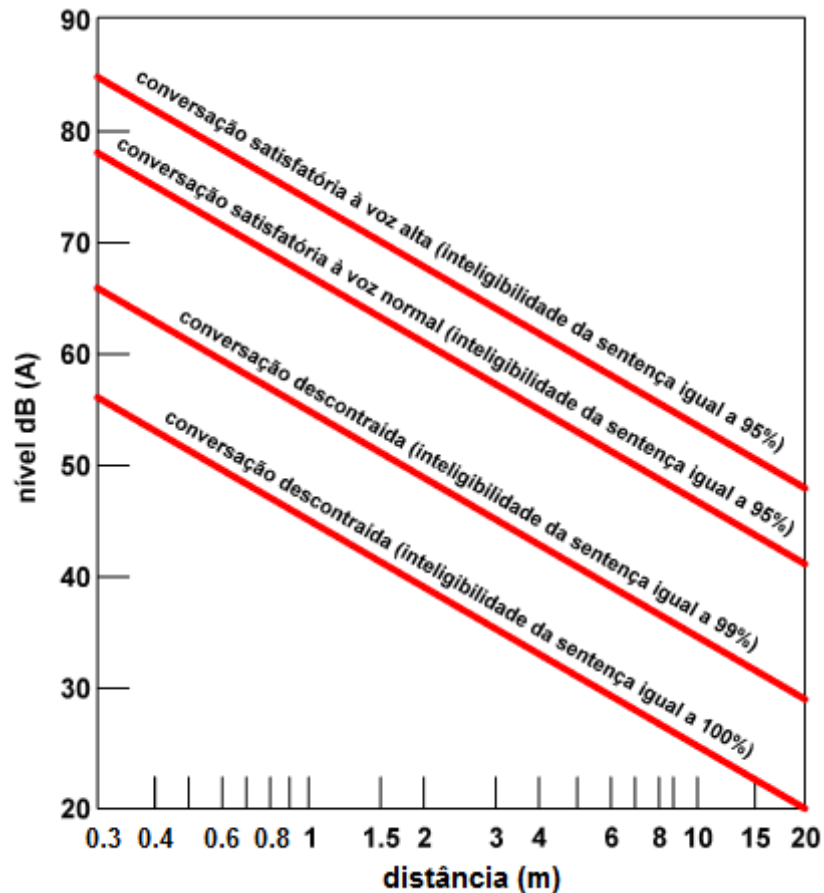


Figura 3.2 – Influência do ruído na inteligibilidade da comunicação verbal em ambientes abertos

Fonte: SLAMA (2007a).

O ruído aeroportuário possui as características de ser muito intenso e intermitente, oscilando de acordo com os pousos e decolagens das aeronaves. Por isso, provoca dificuldades na fala apenas por alguns momentos, mas devido a sua intensidade pode chegar a dificultar a compreensão da fala por completo.

### 3.1.2 – Interferência no sono

A interferência no sono é um dos principais efeitos adversos ao ruído aeronáutico, sendo o maior motivo de reclamações e até mesmo brigas judiciais, da população residente próxima ao aeroporto.

A boa qualidade do sono é primordial para a qualidade de vida do homem, tanto no aspecto físico quanto no mental. Com isso, podemos perceber o quão nocivo é o ruído noturno para pessoas em geral, principalmente as que possuem algum tipo de distúrbio, idosos, etc.

Em 1992, a FICON – *Federal Interagency Committee on Noise* publicou um estudo em que mostra o efeito sobre o sono, da passagem de uma aeronave. A métrica utilizada para a medição do nível sonoro é o SEL, que será explicada em um capítulo adiante. A medição do ruído, em SEL, é relacionada com o número de pessoas que acordaram, quando o evento ocorre. Posteriormente a FICAN – *Federal Interagency Committee on Aviation Noise* atualizou esse estudo, em 1997. A seguir temos o gráfico obtido nos dois estudos.

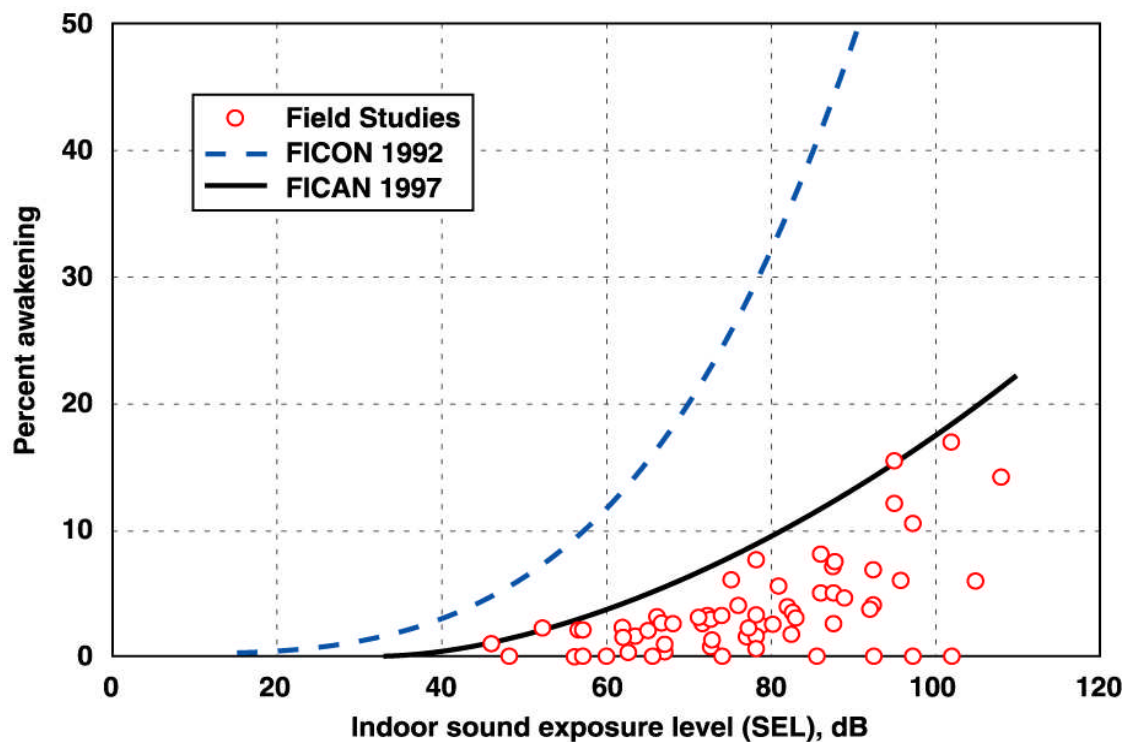


Figura 3.3 – Percentual máximo de pessoas que despertam do sono medidos versus nível de ruído medido pela métrica SEL.

Fonte: SLAMA (2007b)

Cada ponto no gráfico representa um evento, de pessoas acordando, então é criada uma curva, superior a cada um desses eventos, de modo a estabelecer um modelo.

Podemos notar que a perturbação no sono começa na faixa de, aproximadamente, 45dB(A) a 50dB(A).

### 3.1.3 – Incômodo sonoro

O incômodo sonoro é uma sensação negativa associada ao ruído, sua definição é “uma sensação de desprazer associada a qualquer agente ou condição, conhecido ou acreditado por um indivíduo ou grupo ser responsável por afeta-los adversamente” (LINDVALL & RADFORD, 1973; KOELEGA *apud* WHO, 1999). Pode levar a perda de atenção, agressividade, estresse, etc.

Por ser muito subjetivo, o incômodo sonoro é de difícil mensuração. Um ruído que incomoda uma pessoa pode não afetar outra, sendo desprezível ou até agradável. Com isso, de acordo com a Federal Aviation Association (1985), essa variação na resposta torna impossível prever a resposta individual para uma dada exposição sonora, sendo mais conveniente avaliar a resposta de uma determinada população.

Alguns estudos foram desenvolvidos de modo a tentar mensurar o nível de incomodo associado ao ruído. A seguir temos o gráfico de um estudo, relacionando o percentual de pessoas afetadas com o nível *Day Night* (LDN ou DNL). (EPA *apud* SOUSA,2004)

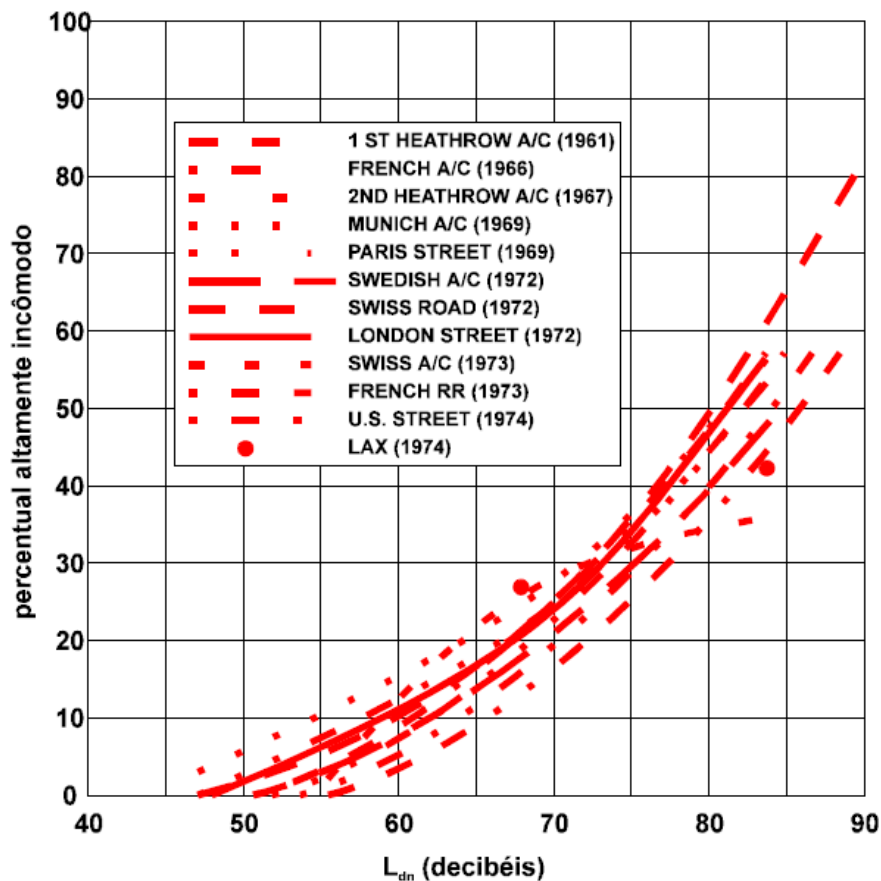


Figura 3.4 – Percentual de pessoas altamente incomodadas versus DNL.

Fonte: EPA apud SOUSA, 2004

## 4 – MÉTRICAS DE RUÍDO

Para poder mensurar os níveis de ruído e o dano que pode ser causado por eles foram criadas métricas para a leitura do ruído. Os principais parâmetros para a avaliação do som são sua intensidade e sua duração.

As principais métricas utilizadas pela legislação brasileira são: SEL, Leq, LAeq, LAeqD, LAeqN e DNL. Para o estudo de ruídos aeronáuticos as três últimas são as mais utilizadas.



## 4.1 – Leq - Nível Equivalente de Pressão Sonora Contínua

É o nível de pressão sonora equivalente, é a expressão logarítmica da média da energia sonora medida em um intervalo de tempo. É a métrica mais utilizada pela legislação brasileira, de fácil leitura.

Para melhor associação com a audição humana, utilizamos o LAeq, que nada mais é do que o Leq com a ponderação A. É dado pela fórmula:

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

Onde:

T: é o período em segundos

$P_A$  (t): é o nível de pressão sonora instantânea na ponderação A, em Pascal

$P_0$  : é o nível de pressão sonora de referencia ( $2 \times 10^{-5}$  Pascal)

De acordo com a necessidade, pode-se introduzir o LAeqD, que representa o período diurno, e o LAeqN, para o período noturno.

## 4.2 – LaeqD - Nível Equivalente de Pressão Sonora Ponderado em A Diurno

É o nível de pressão equivalente ponderado em A diurno. É nível sonoro equivalente medido no intervalo das 7:00h até as 22:00h.

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

onde:

T: 15\* 3600 s – Representando as 15 horas do intervalo, convertido pra segundos

t: tempo inicial, as 7h da manha

t+T: tempo inicial mais o tempo do intervalo, representando o horário final, 22h

### 4.3 – LaeqN - Nível Equivalente de Pressão Sonora Ponderado em A Noturno

É o nível de pressão equivalente ponderado em A noturno. É o nível sonoro equivalente medida no intervalo das 22:00h até as 7:00h.

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

Onde:

T: 9\*3600 s – Intervalo de 9h convertido para segundos

t: 22h

t+T: 22h mais o intervalo de 9 horas

### 4.4 – DNL - Day and Night Level

É o nível de pressão equivalente ao período de um dia inteiro, 24 horas. Pelo fato do período noturno o som ambiente ser reduzido e com isso a sensibilidade auditiva crescer, há um acréscimo de 10 dB aos níveis compreendidos no intervalo das 22h as 7h.

$$DNL = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{3600 \times 24} \left[ \int_t^{t+T} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt + 10 \int_{t+T}^t \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right] \right\}$$

onde:

t: representa as 7h da manhã

t+T: representa as 22h

## 4.5 – SEL - Sound Exposure Level

O SEL corresponde a um ruído cumulativo da exposição sonora em um único evento.

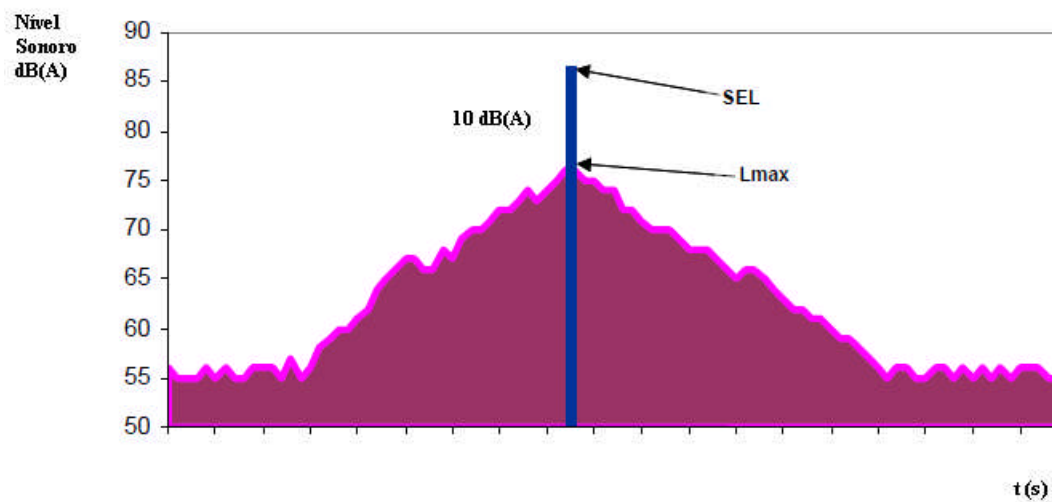


Figura 4.1: Representação L<sub>Amax</sub> e SEL para um único evento de uma aeronave.

Fonte: [www.flyoakland.com](http://www.flyoakland.com)

É dado pela soma de todos os níveis de pressão sonora, em uma unidade de tempo, dentro do intervalo de interesse. O SEL é medido em decibel, e dado pela equação:

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

onde  $T_0$  vale 1 segundo.

No campo aéreo, é muito utilizado como caracterização de um único evento de pouso ou decolagem de aeronaves, para verificação do nível de ruído de uma aeronave no período noturno comparando-o com a probabilidade de perturbação do sono.

## **5 – LEGISLAÇÃO BRASILEIRA SOBRE RUÍDO**

Neste capítulo, discutiremos a legislação já existente sobre o ruído. Veremos as diversas normas, regulamentações, leis, resoluções e portarias existentes e explicaremos um pouco sobre cada uma. As principais são:

- NBR 10.151
- NBR 10.152
- Portaria 1141/GM5
- RBAC nº161

Apesar de não serem o foco deste trabalho, as normas NBR 10.151 e NBR 10.152 tratam do mesmo tema do RBAC nº161, que é a compatibilidade do uso dos solos de acordo com o nível de ruído existente, a diferença é que a última é voltada para o ruído aeronáutico. Por isso, é interessante que saibamos sobre essas normas.

Mas antes de falarmos delas, é importante que saibamos os conceitos de níveis de conforto e de aceitabilidade acústica.

## 5.1 – Norma NBR 10.151

Intitulada “*Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade*”, ela visa estabelecer níveis de ruído ideais para diversas áreas, sendo cinco tipos de áreas urbanas e um tipo de área rural. Sendo no total seis áreas com características distintas entre si.

Adotada em 1990 como parâmetro pela Resolução CONAMA 001/90, está presente na legislação brasileira desde então. E desde essa data a maioria dos municípios adota esta norma, no que se trata de leis de uso e ocupação do solo quanto ao ruído.

É uma das principais formas de controle sonoro para o uso do solo. Ela considera que o nível de ruído deve ser menor a noite. Assim são definidos os Níveis de Critério de Avaliação de ruídos, conforme a tabela a seguir:

*Tabela 5.1: Tabela da norma NBR – 10.151*

*Fonte: Norma NBR-10.151*

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

O período diurno corresponde ao intervalo das 7h00 até as 22h00 enquanto o noturno é o contrário, das 22h00 até as 7h00. No caso do ruído aeroportuário pode se utilizar as métricas que vimos anteriormente, LAeqD e LAeqN, respectivamente.

## 5.2 – Norma NBR 10.152

Esta norma data de dezembro de 1987, intitulada “Níveis de ruído para conforto acústico”, ela fixa valores, no interior de ambientes, de níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico para diversos tipos de ambientes.

De forma análoga a NBR 10.151, podemos comparar valores fornecidos na tabela da NBR 10.152 com valores medidos nas áreas de interesse e verificar se há conforto e/ou aceitabilidade.

Na tabela a seguir, retirada da norma NBR 10.152, podemos verificar valores para conforto e aceitabilidade acústica para diversos tipos de ambientes.

*Tabela 5.2: Tabela da Norma NBR – 10.152*

*Fonte: Norma NBR 10.152 (níveis internos)*

<b>Locais</b>	<b>dB(A) conforto - aceitabilidade</b>
Hospitais	
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35 – 45
Laboratórios, Áreas para uso do público	40 – 50
Serviços	45 – 55

<b>Locais</b>	<b>dB(A) conforto - aceitabilidade</b>
Escolas	
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35 – 45
Salas de aula, Laboratórios	40 – 50
Circulação	45 – 55
Hotéis	
Apartamentos	35 – 45
Restaurantes, Salas de estar	40 – 50
Portaria, Recepção, Circulação	45 – 55
Residências	
Dormitórios	35 – 45
Salas de estar	40 – 50
Auditórios	
Salas de concertos, Teatros	30 – 40
Salas de conferência, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35 – 45
Restaurantes	40 – 50
Escritórios	
Salas de reunião	30 – 40
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35 – 45
Salas de computadores	45 – 65
Salas de mecanografia	50 – 60
Igrejas e Templos (Cultos meditativos)	40 – 50
Locais para esporte	
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 – 60

### 5.3 – Portaria 1141/GM5

A Portaria 1141/GM5 determina que seja mandatório que todo aeroporto tenha um Plano de Proteção (PZP) e um Plano de Zoneamento de Ruído (PZR). O PZP estabelece que seja necessário que o espaço aéreo seja livre de obstáculos que dificultem as operações no aeroporto, sejam elas de pouso ou decolagem. Não abordaremos o assunto, uma vez que o objetivo desse trabalho é estudar o ruído, e não outros aspectos aeronáuticos. Já o PZR tem como objetivo proteger a região no entorno do aeroporto de níveis elevados de ruído, no entanto, o PZR foi atualizado, e a portaria foi substituída pelo RBAC nº 161, que veremos adiante.

Para fazermos uma comparação entre o PZR antes da criação do RBAC 161, mostraremos os critérios e metodologias utilizadas pela portaria 1141 quanto ao PZR, e no próximo capítulo veremos a nova metodologia, estabelecida pelo novo regulamento.

Na portaria 1141, definem-se áreas formadas pelas curvas de ruído, as curvas em si, e as categorias que cada aeroporto pode estar. As categorias variam de acordo com a movimentação anual de aeronaves, e dividem-se em categorias I, II, III, IV, V e VI. Sendo que destas, a categoria I é que apresenta a maior movimentação de aeronaves e é a única que a portaria obriga a realização de um Plano Específico de Zoneamento de Ruído.

Quanto às áreas definidas pelas curvas de ruído, a portaria apresenta as restrições para o uso do solo de cada região.

A portaria explica sobre a realização de Planos Básicos de Zoneamento de Ruído, e no final apresenta figuras com os valores a serem utilizados para cada tipo de aeroporto, desde que não sejam da categoria I. Se forem da categoria I é necessário que seja feito um PEZR, mas a portaria não explicita como deve ser realizado, diferentemente do regulamento



RBAC 161, que especifica linhas gerais para a realização da simulação necessária em um PEZR, conforme veremos a seguir.

## 5.4 – RBAC 161

Neste capítulo explicaremos detalhadamente o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil número 161 – RBAC 161. Ele fornece ferramentas para a elaboração e aplicação de Planos de Zoneamentos de Ruído (PZR).

Um PZR é constituído pelas Curvas de Ruído, e pela compatibilidade ou incompatibilidade do uso dos solos nas suas regiões, delimitadas pelas curvas obtidas.

A seguir explicaremos cada uma das subpartes em que o regulamento se divide

### 5.4.1 – SUBPARTE A , Generalidades

Nesse capítulo são estabelecidos termos e definições de para diversos itens do contexto aeroportuário. Em seguida são apresentadas siglas que também são de utilização frequente nesse mesmo contexto, algumas delas são:

- CGRA – Comissão de Gerenciamento de Ruído
- DNL – Day Night sound Level (Nível de ruído médio dia-noite)
- PBZR – Plano Básico de Zoneamento de Ruído
- PEZR – Plano Específico de Zoneamento de Ruído
- PZR – Plano de Zoneamento de Ruído
- PDIR – Plano Diretor
- RR – Redução de Ruído
- SIRGAS 2000 – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000
- WGS 84 – World Geodetic System 1984

## 5.4.2 – SUBPARTE B, Plano de Zoneamento de Ruído

A função do regulamento, é apresentar os requisitos para aplicação e elaboração de PZR e os critérios técnicos aplicáveis na análise do ruído aeronáutico.

Em casos de modificação ou criação de aeroportos, bem como mudança na utilização do uso do solo no entorno do aeroporto, estão condicionadas ao cumprimento do regulamento. Caso contrário o aeródromo pode sofrer restrições operacionais ou até mesmo ter o registro cancelado. Todo aeródromo civil ou compartilhado deve ter PZR cadastrado pela ANAC.

O PZR é composto por curvas de ruído e pelas compatibilizações, ou incompatibilizações do uso do solo estabelecidos pelas regiões delimitadas por essas curvas. Curvas de ruído são linhas traçadas em um mapa, em que cada linha representa uma exposição a um mesmo nível de ruído.

- Curva de Ruído de 85 é a linha traçada a partir da interpolação dos pontos que apresentam nível de ruído médio dia-noite de 85 dB;
- Curva de Ruído de 80 é a linha traçada a partir da interpolação dos pontos que apresentam nível de ruído médio dia-noite de 80 dB;
- Curva de Ruído de 75 é a linha traçada a partir da interpolação dos pontos que apresentam nível de ruído médio dia-noite de 75 dB;
- Curva de Ruído de 70 é a linha traçada a partir da interpolação dos pontos que apresentam nível de ruído médio dia-noite de 70 dB;
- Curva de Ruído de 65 é a linha traçada a partir da interpolação dos pontos que apresentam nível de ruído médio dia-noite de 65 dB;

Após elaborado o PZR, o operador deve cadastrá-lo na ANAC e divulgar para os municípios abrangidos em até 30 dias. Além disso, deve garantir o cumprimento dele por todas as partes envolvidas, e sempre manter o PZR atualizado, quando ocorrerem alterações de natureza física ou operacional que interfiram nos requisitos apresentados pelo regulamento.

Para definirmos o tipo de PZR a ser aplicado no aeródromo, é utilizado o seguinte critério:

- Aeródromos com média anual de movimento de aeronaves dos últimos três anos superior a 7.000, é obrigatória a criação de um PEZR
- Para demais aeródromos é facultada a utilização de um PBZR ou PEZR

#### 5.4.3 – SUBPARTE C, Plano Básico de Zoneamento de Ruído

O PBZR é escolhido para aeródromos em que o movimento de aeronaves nos últimos três anos não tenha ultrapassado sete mil, sendo mais simples que um PEZR é por isso nesses casos sua escolha é, em geral, uma alternativa melhor.

Ele possui curvas de ruído de 65 e 75 com geometrias simplificadas e são obtidas por meio do enquadramento de cada pista de pouso e decolagem, nas tabelas apresentadas no RBAC, de acordo com a movimentação anual de aeronaves.

No PBZR deve constar:

- Planta, nos formatos eletrônicos e impresso, em escala que possibilite a identificação de ruas e lotes da região, contendo no mínimo os seguintes itens:
  - Coordenadas geográficas das cabeceiras das pistas de pouso e decolagem;
  - Limites do sítio aeroportuário;

- As curvas de ruído de 75 e 65;
  - Escala gráfica;
  - Legenda
- 
- Tabela contendo os usos compatíveis e incompatíveis do solo, de acordo com as áreas abrangidas pelas curvas, informando os usos de acordo como visto na Subparte E

Todas as coordenadas geográficas devem ser fornecidas em formato de grau, minutos e segundos, com prévia especificação do Sistema Geodésico de Referência – preferencialmente o WGS 84 ou SIRGAS 2000.

O PBZR constitui-se de três áreas delimitadas por duas curvas de ruído (figura 5.2) elaboradas a partir da pista do aeroporto, como segue:

- Área I – com nível de ruído ambiente muito elevado, exclui quase todas as atividades urbanas com exceção das atividades não sensíveis ao ruído;
- Área II – com nível de ruído ambiente elevado exclui residências, escolas, hospitais e outras atividades consideradas muito sensíveis ao ruído, permitindo as demais.
- Área III – com nível de ruído máximo mais baixo, permite todos os tipos de uso e ocupação do solo.

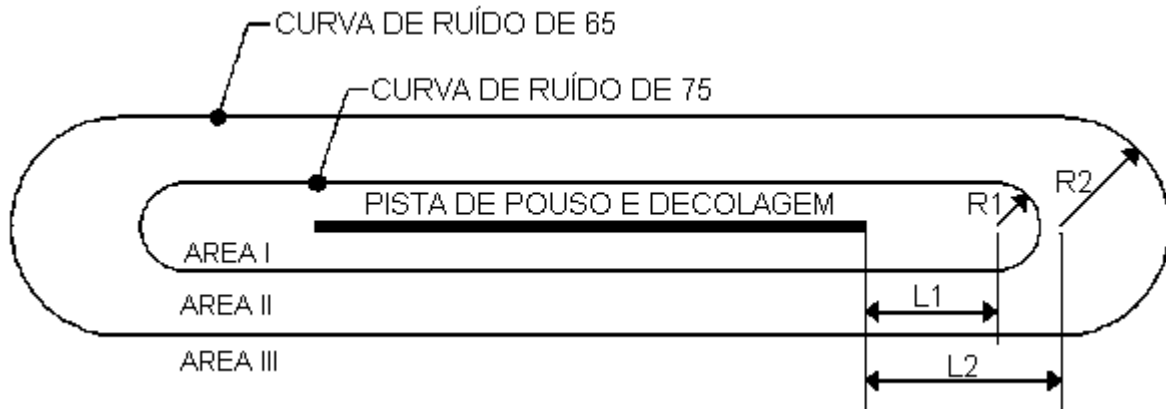


Figura 5.2 – Áreas e Curvas de Ruído de um PBZR

Fonte: RBAC nº161

De acordo com as características do aeródromo, os valores das variáveis mudam.

Conforme a tabela:

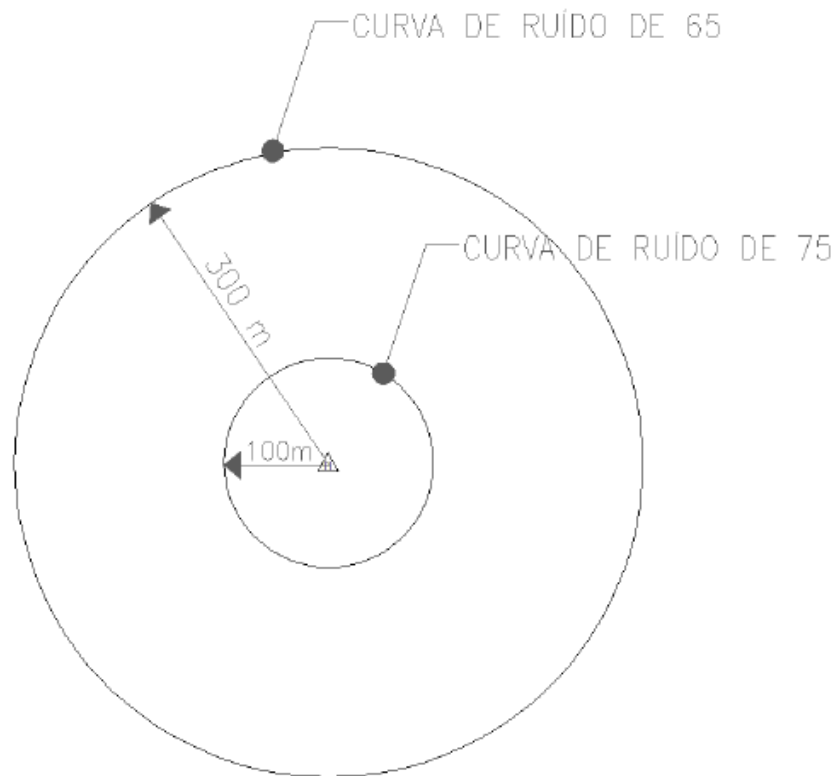
Tabela 5.3: Valores dos parâmetros de acordo com movimento anual

Fonte: RBAC nº161

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

As unidades de L1, R1, L2, e R2 estão em metros.

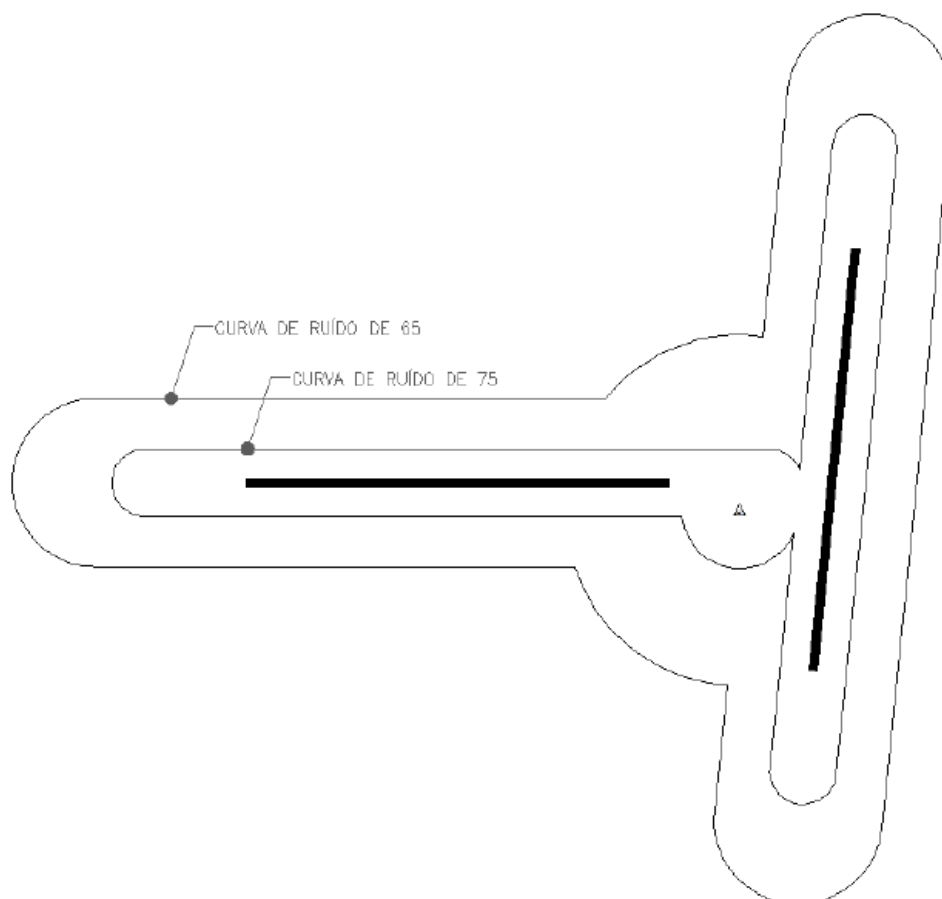
Adicionalmente, para heliportos as curvas de 65 e 75 são círculos traçados com raios de, respectivamente, 100m e 300m, traçados a partir do centro geométrico do heliporto.



*Figura 5.3 – Curvas de Ruído para Heliponto*

*Fonte: RBAC nº161*

No caso da coexistência de pistas para aviões e helipontos, ou em casos em que existe mais que uma pista de pouso/aterrisagem, deve ser feita uma composição das curvas de ruído, reunindo-as em uma única curva.



*Figura 5.4 – Composição de Curvas de Ruído*

*Fonte: RBAC nº161*

#### 5.4.4 – SUBPARTE D, Plano Específico de Zoneamento de Ruído

O PEZR é elaborado por meio de programa computacional, que fornece as cinco curvas de ruído necessárias para sua elaboração, com a métrica DNL.

Para o cálculo, é necessário saber os tipos de aeronaves e o número de movimentos, além de informações operacionais, como rota de pouso e decolagem. Na elaboração das curvas devem ser considerados possíveis planejamentos futuros,

considerando estimativa do número de movimentos e tipos de aeronaves ao final do seu horizonte de planejamento. Também devem levar em consideração o Plano Diretor – PDIR.

No cálculo da curva de ruídos também deve ser considerados as seguintes características físicas e operacionais do aeroporto:

Características físicas:

- Número de pistas existentes e planejadas;
- Dimensões das pistas existentes e planejadas;
- Coordenadas geográficas das cabeceiras das pistas existentes e planejadas;
- Elevação do aeródromo;
- Temperatura de referência do aeródromo;
- Coordenadas geográficas do ponto de teste de motores e orientação da aeronave.

Características operacionais:

- Previsão do número de movimentos por cabeceira;
- Tipos de aeronaves que serão utilizadas na geração das curvas de ruído, incluindo os respectivos pesos de decolagem;
- Trajetórias de pouso e decolagem específicas para o aeródromo, conforme cartas de navegação visual e/ou por instrumento. No caso de aeródromos que ainda não possuam cartas de navegação visual e/ou por instrumento, devem ser utilizadas trajetórias estimadas para suas operações;
- Previsões de movimentos por tipo de aeronave em cada rota, segregadas em períodos diurno e noturno;



- Definição dos modelos das aeronaves envolvidas nos testes de motores, sua orientação durante os testes, os horários, a duração e a frequência diária.

Devem ser considerados os efeitos de barreiras de ruído empregadas nos testes, caso existam.

Caso o programa computacional utilizado não possua informações específicas sobre um ou mais tipos de aeronave considerados, deve ser feita a substituição por outros semelhantes, deve-se demonstrar a equivalência das aeronaves comparando os seguintes aspectos:

- (1) Tipo e modelo dos motores;
- (2) Quantidade de motores;
- (3) Empuxo nominal dos motores;
- (4) Peso máximo de decolagem;
- (5) Capacidade nominal de passageiros e/ou carga;
- (6) Dimensões da fuselagem.

Deve haver uma tabela mostrando a compatibilidade do uso das regiões que o PEZR abrange de acordo com a Tabela E-2 da “Subparte E” do RBAC nº 161. Que também é apresentada no capítulo 7.

Para validação das curvas de ruído obtidas para o PEZR, são necessários:

- relatório técnico, em formato impresso e eletrônico, assinado pelo profissional responsável, contendo a memória de cálculo das cinco curvas de ruído e a justificativa para os dados de entrada;
- arquivos, em mídia eletrônica, gerados pelo programa computacional usado no cálculo das cinco curvas de ruído;

- planta, nos formatos eletrônico e impresso, em escala que possibilite a identificação de ruas e lotes da região, contendo os seguintes itens, no mínimo:

(1) localização das pistas de pouso e decolagem;

(2) limites do sítio aeroportuário;

(3) as curvas de ruído de 85, 80, 75, 70 e 65;

(4) localização dos pontos de testes de motor;

(5) escala gráfica;

(6) legenda contendo os dados de entrada fundamentais para a elaboração

das curvas.

#### 5.4.5 – SUBPARTE E, USO DO SOLO

Nesta parte, são fornecidas tabelas sobre os usos compatíveis e incompatíveis do solo, elas serão mostradas a seguir. Para as tabelas, a legenda a ser utilizada é a seguinte:

S – Sim, uso compatível.

N – Não, uso não compatível.

25, 30, 35 – Usos geralmente compatíveis. Devem ser tomadas medidas para redução de 25, 30 e 35 dB (respectivamente) em edificações aonde houver permanência prolongada de pessoas.

(1) – Geralmente não compatível. Quando for permitido, devem ser tomadas ações para uma Redução de Ruído de pelo menos 25 dB.

(2) – Edificações residenciais requerem uma RR de 25 dB.

(3) – Edificações residenciais requerem uma RR de 30 dB.

(4) – Edificações residenciais não são compatíveis.

Para o caso de um Plano Básico de Zoneamento de Ruído, é utilizada a tabela a seguir:

**Tabela 5.4 – Usos compatíveis do solo para PBZR**

Fonte: RBAC nº161

Uso do Solo	Nível de ruído médio dia-noite (dB)		
	Abaixo de 65	65 – 75	Acima de 75
<b>Residencial</b>			
Residências uni e multifamiliares	S	N (1)	N
Alojamentos temporários (exemplos: hotéis, motéis e pousadas ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N
Locais de permanência prolongada (exemplos: presídios, orfanatos, asilos, quartéis, mosteiros, conventos, apart-hotéis, pensões ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N
<b>Usos Públicos</b>			
Educacional (exemplos: universidades, bibliotecas, faculdades, creches, escolas, colégios ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N
Saúde (exemplos: hospitais, sanatórios, clínicas, casas de saúde, centros de reabilitação ou empreendimentos equivalentes)	S	30	N
Igrejas, auditórios e salas de concerto (exemplos: igrejas, templos, associações religiosas, centros culturais, museus, galerias de arte, cinemas, teatros ou empreendimentos equivalentes)	S	30	N
Serviços governamentais (exemplos: postos de atendimento, correios, aduanas ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
Transportes (exemplos: terminais rodoviários, ferroviários, aeroportuários, marítimos, de carga e passageiros ou empreendimentos equivalentes)	S	25	35
Estacionamentos (exemplo: edifício garagem ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
<b>Usos Comerciais e serviços</b>			
Escritórios, negócios e profissional liberal (exemplos: escritórios, salas e salões comerciais, consultórios ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
Comércio atacadista - materiais de construção, equipamentos de grande porte	S	25	N
Comércio varejista	S	25	N

Uso do Solo	Nível de ruído médio dia-noite (dB)		
	Abaixo de 65	65 – 75	Acima de 75
Serviços de utilidade pública (exemplos: cemitérios, crematórios, estações de tratamento de água e esgoto, reservatórios de água, geração e distribuição de energia elétrica, Corpo de Bombeiros ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
Serviços de comunicação (exemplos: estações de rádio e televisão ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
<b>Usos Industriais e de Produção</b>			
Indústrias em geral	S	25	N
Indústrias de precisão (Exemplo: fotografia, óptica)	S	25	N
Agricultura e floresta	S	S (3)	S (4)
Criação de animais, pecuária	S	S (3)	N
Mineração e pesca (exemplo: produção e extração de recursos naturais)	S	S	S
<b>Usos Recreacionais</b>			
Estádios de esportes ao ar livre, ginásios	S	S	N
Conchas acústicas ao ar livre e anfiteatros	S	N	N
Exposições agropecuárias e zoológicos	S	N	N
Parques, parques de diversões, acampamentos ou empreendimentos equivalentes	S	S	N
Campos de golf, hípicas e parques aquáticos	S	25	N

Já para Planos Específicos de Zoneamento de Ruído, a tabela a seguir é utilizada.

**Tabela 5.5 – Usos compatíveis do solo para PEZR**

Fonte: RBAC n°161

Uso do Solo	Nível de Ruído Médio dia-noite (dB)					
	Abaixo de 65	65 – 70	70 – 75	75 – 80	80 – 85	Acima de 85
<b>Residencial</b>						
Residências uni e multifamiliares	S	N (1)	N (1)	N	N	N
Alojamentos Temporários (exemplos: hotéis, motéis e pousadas ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N (1)	N (1)	N	N
Locais de permanência prolongada (exemplos: presídios, orfanatos, asilos, quartéis, mosteiros, conventos, apart-hotéis, pensões ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N (1)	N	N	N
<b>Usos Públicos</b>						
Educacional (exemplos: Universidades, bibliotecas, faculdades, creches, escolas, colégios ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N (1)	N	N	N
Saúde (exemplos: hospitais, sanatórios, clínicas, casas de saúde, centros de reabilitação ou	S	25	30	N	N	N

Uso do Solo	Nível de Ruído Médio dia-noite (dB)					
	Abaixo de 65	65 – 70	70 – 75	75 – 80	80 – 85	Acima de 85
empreendimentos equivalentes)						
Igrejas, auditórios e salas de Concerto (exemplos: igrejas, templos, associações religiosas, centros culturais, museus, galerias de arte, cinemas, teatros ou empreendimentos equivalentes)	S	25	30	N	N	N
Serviços governamentais (exemplos: postos de atendimento, correios, aduanas ou empreendimentos equivalentes)	S	S	25	30	N	N
Transportes (exemplos: terminais rodoviários, ferroviários, aeroportuários, marítimos, de carga e passageiros ou empreendimentos equivalentes)	S	S	25	30	35	35
Estacionamentos (exemplo: edifício garagem ou empreendimentos equivalentes)	S	S	25	30	35	N
<b>Usos Comerciais e serviços</b>						
Escritórios, negócios e profissional liberal (exemplos: escritórios, salas e salões comerciais, consultórios ou empreendimentos equivalentes)	S	S	25	30	N	N
Comércio atacadista - materiais de construção, equipamentos de grande porte	S	S	25	30	35	N
Comércio varejista	S	S	25	30	N	N
Serviços de utilidade pública (exemplos: cemitérios, crematórios, estações de tratamento de água e esgoto, reservatórios de água, geração e distribuição de energia elétrica, Corpo de Bombeiros ou empreendimentos equivalentes)	S	S	25	30	35	N

Uso do Solo	Nível de Ruído Médio dia-noite (dB)					
	Abaixo de 65	65 – 70	70 – 75	75 – 80	80 – 85	Acima de 85
Serviços de comunicação (exemplos: estações de rádio e televisão ou empreendimentos equivalentes)	S	S	25	30	N	N
<b>Usos Industriais e de Produção</b>						
Indústrias em geral	S	S	25	30	35	N
Indústrias de precisão (Exemplo: fotografia, óptica)	S	S	25	30	N	N
Agricultura e floresta	S	S (2)	S (3)	S (4)	S (4)	S (4)
Criação de animais, pecuária	S	S (2)	S (3)	N	N	N
Mineração e pesca (Exemplo: produção e extração de recursos naturais)	S	S	S	S	S	S
<b>Usos Recreacionais</b>						
Estádios de esportes ao ar livre, ginásios	S	S	S	N	N	N
Conchas acústicas ao ar livre e anfiteatros	S	N	N	N	N	N
Exposições agropecuárias e zoológicos	S	S	N	N	N	N
Parques, parques de diversões, acampamentos ou empreendimentos equivalentes	S	S	S	N	N	N
Campos de golf, hípicas e parques aquáticos	S	S	25	30	N	N

#### 5.4.6 – SUBPARTE F, Do Relacionamento

Em caso de incompatibilidade entre os usos permitidos, o operador do aeródromo deve buscar ações para a compatibilização do uso do solo conforme o PZR. Além disso, deve ser criada uma Comissão de Gerenciamento de Ruído Aeronáutico - CGRA, são atribuições da CGRA :

- Estudar e implementar medidas para mitigar o impacto do ruído aeronáutico no entorno de seu aeródromo sempre que identificar atividades incompatíveis com o nível de ruído previsto no PZR.
- Disponibilizar canais de comunicação para recolhimento de informações e recebimento de reclamações relativas ao ruído aeronáutico, visando

identificar os locais mais críticos, além de embasar as ações para mitigação do problema.

- Realizar reuniões periódicas com representantes da população afetada com o objetivo de informar e orientar sobre o PZR.
- Elaborar um mapa para o aeródromo, baseado nas informações e reclamações recebidas, indicando os locais mais sensíveis ao ruído aeronáutico. O mapa deve ser utilizado para escolha de pontos de monitoramento de ruído, e de locais para implementação de medidas mitigadoras específicas.
- Elaborar e acompanhar o projeto de monitoramento de ruído, quando cabível.

O operador do aeródromo que apresente média anual de movimento de aeronave nos últimos três anos acima de 120.000 (cento e vinte mil) e que possua regiões de uso residencial ou misto em mais de 50% das áreas I, II e III do seu PEZR, isolada ou conjuntamente, deverá apresentar à ANAC, para análise e aceitação, um projeto de monitoramento de ruído.

Nos casos em que forem constatados conflitos relacionados a ruído aeronáutico entre o aeródromo e a comunidade de seu entorno, em locais que não se enquadrem na obrigatoriedade de elaboração de projeto de monitoramento de ruído, é facultado à ANAC determinar ao Operador de Aeródromo a implementação do projeto nas áreas do PEZR.

O monitoramento de ruído deve conter pelo menos os seguintes elementos:

- Pontos de medição de ruído;
- Metodologia para a medição do ruído;

- Relatório que contenha informações suficientes para subsidiar ações mitigadoras quanto ao ruído aeronáutico.

#### 5.4.7 – SUBPARTE G, Disposições Finais

Em casos de utilização do solo fora do previsto no regulamento, poderão ser impostas restrições operacionais ao aeródromo. Ao caso de restrições serem aplicadas, essas devem ser informadas ao operador do aeródromo e empresas aéreas com no mínimo seis meses de antecedência.

O operador deve apresentar o PZR para registro na ANAC, em conformidade com este RBAC, no prazo máximo de:

- 2 anos para aeródromos com mais de 45.000 movimentos anuais durante o ano de 2010;
- 4 anos para aeródromos com movimentos anuais entre 10.000 e 45.000 durante o ano de 2010;
- 6 anos para aeródromos com menos de 10.000 movimentos anuais durante o ano de 2010;
- No caso de aeródromos privados, deve ser apresentado o PZR em até 6 anos.

Na fiscalização do PZR é considerado:

- PZR já publicados, ou cadastrados na ANAC;
- Medições de monitoramento de ruído realizadas com base em método aprovado em Instrução Suplementar;
- Informações prestadas pelo Operador do Aeródromo acerca da compatibilização das recomendações do uso do solo pelos municípios abrangidos pelas curvas.



Petições e reclamações de pessoas afetadas são base para o início da monitoração do ruído e servirão como elemento para avaliação técnica de matéria, não servindo como único fundamento para caracterização de infração às disposições do RBAC 161.

## 6 – Integrated Noise Model - INM

Desenvolvido pela FAA, o *Integrated Noise Model* é um programa usado para calcular os níveis sonoro produzidos por um aeroporto no seu entorno .

O programa se baseia em três documentos que apresentam métodos de cálculos parecidos, são eles: “*Procedure For The Calculation Of Airplane Noise In The Vicinty Of Airports*” da SAE ; *Aerospace Information Report (AIR)* (SAE 1845), e circular 205 da OACI.

O software realiza uma avaliação média do ruído para cálculos em longo prazo. São consideradas as rotas de voo, tipo de aeronaves utilizadas, quantidade de aeronaves, terreno, entre outras. Podem ser utilizados dados mensais ou anuais, por esse motivo pode haver divergências entre a estimativa e a medição real no local.

Os dados de entrada utilizados para a realização do calculo no INM são:

- Temperatura de referencia do aeroporto;
- Altitude do aeroporto; - Comprimento da pista, incluindo as coordenadas cartesianas ou geográficas das cabeceiras;
- Trajetórias de pouso e decolagem, rotas e procedimentos;
- Modelos das aeronaves;

- Numero de movimentos diurnos e noturnos de aeronaves dentro de cada uma das trajetórias;

- Unidade de incomodo a ser calculada;

- Área de entorno do aeroporto na qual se deseja analisar os níveis de ruído.

Com esses dados de entrada, o programa cria uma malha com valores de níveis de ruído, e plota os pontos de igual intensidade sonora definidos, formando curvas. Assim são obtidas Curvas de Níveis de Ruído, que são utilizadas na elaboração de Planos de Zoneamento de Ruído.

Uma observação importante é o fato de o programa levar em conta apenas as intensidades sonoras geradas pelo aeródromo, não levando em conta ruídos ambientes tais como trafego de automóveis, construções civis, entre outros.

O INM possui 16 métricas distintas que podem ser utilizadas para extração dos resultados. As principais são:

DNL: *Day and Night level*;

Laeq: Nível equivalente sonoro (24 horas);

LaeqD: Nível equivalente sonoro no período diurno (7h00min – 22h00min);

LaeqN: Nível equivalente sonoro no período noturno (22h00min – 7h00min);

SEL: Nível de exposição sonora;

LA<sub>max</sub>: Nível sonoro máximo ponderado.

## 7 – Simulação e Resultados

Neste capítulo mostraremos os passos que devem ser tomados para a implementação de um PZR em um aeroporto, mais especificamente estamos falando de um PEZR, pois a implementação de um PBZR é mais simples uma vez que não é necessário o uso de programas computacionais.

### 7.1 – Simulação no entorno do aeroporto

É necessário realizar uma simulação no entorno do aeroporto em que será realizado o estudo, e com os resultados obtidos separaremos as áreas de acordo com seu uso compatível ou não. O objetivo é analisar o impacto causado pelo aeroporto na região que o cerca.

Para a realização desta simulação são utilizados: o software INM, mencionado anteriormente, dados fornecidos pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), e dados fornecidos pelo próprio aeroporto. Os dados de movimentos tem que ser os dados futuros sobre um horizonte de 20 a 25 anos.

Para a realização de um PEZR, segundo a RBAC nº161, é necessário que a métrica utilizada para o cálculo das curvas seja DNL.

Uma vez que tenhamos os dados necessários para a realização do cálculo computacional, conseguimos obter as curvas de ruído necessárias para o PEZR. Lembrando que segundo o RBAC nº161, os níveis que as curvas devem apresentar são:

Com isso, obteremos as curvas que nos darão seis áreas distintas, cada qual com seus próprios níveis de ruído e usos do solo permitidos. A legislação pede que seja informado de forma evidente os usos do solo, de acordo com o nível de ruído em cada região. Com isso, certas áreas têm o seu uso restringido ou até mesmo proibido.

A etapa de simulação é de fundamental importância, sendo a que necessita mais cautela em sua realização. O levantamento correto de qualquer estudo de ruído já realizado sobre o aeroporto também é muito importante, a grande parte dos aeroportos de grande movimentação já têm um Plano de Zoneamento de Ruído, mas deve-se observar se este plano está atualizado conforme a legislação em vigor, caso contrário, é necessário que seja atualizado.

### 7.2.1 – Simulação no Aeroporto de Curitiba

A seguir temos um exemplo de uma simulação realizada no aeroporto. O aeroporto é o Aeroporto Internacional Afonso Pena (IATA: CWB, ICAO: SBCT), situado na cidade de São José dos Pinhais, no estado do Paraná. Ele dista 18 km da capital Curitiba.

*“O traçado da pista do aeroporto Afonso Pena é o mesmo da época da 2ª Guerra Mundial, quando ele era a Base Aérea Afonso Pena. Em 1946, a aviação civil passou a operar na base com voos regionais e internacionais, sendo construída uma estação de passageiros utilizada até 1959, quando foi inaugurada nova estação.*

*Em 1974, a Infraero assumiu o aeroporto e, em 1977, foi concluída a ampliação do terminal de passageiros. Em 1996, com a construção do novo aeroporto, ele passa a ser internacional. As pistas têm 2.215m x 45m e 1.800m x 45m, e dispõe de 14 posições para estacionamento de aeronaves. O estacionamento de veículos possui 688 vagas. O Aeroporto Internacional Afonso Pena está localizado a 18 km do centro da cidade de*

Curitiba.” INFRAERO (<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/aeroportos/parana/aeroporto-afonso-pena.html>).

Os dados de movimentação e aeronaves utilizados na simulação são apresentados a seguir:

- Elevação do aeroporto e das cabeceiras: 911 m/ 2.988 pés
- Movimentos: 227 mov/dia
- Percentual de voos noturnos: 12,85%

- Mix de Aeronaves:

*Tabela 7.1: Mix de Aeronaves*

*Fonte: INFRAERO*

<b>AERONAVES</b>	<b>Nº de mov./dia (%)</b>	<b>AERONAVES</b>	<b>Nº de mov./dia (%)</b>
737800	19,83	GASEPV	0,38
A320-211	18,57	747400	0,32
GV	14,08	CNA500	0,31
737700	12	MD11GE	0,2
737300	10,07	DHC8	0,16
A319-131	5,63	CNA750	0,13
HS748A	4,01	LEAR25	0,12
EMB145	1,98	PA31	0,09
CNA208	1,73	IA1125	0,07
CNA441	1,73	CNA182	0,07
F10065	1,58	777200	0,07
CL600	1,26	CIT3	0,07
727200	1,19	777300	0,06
MU3001	1,16	GIV	0,04
LEAR35	1,12	EMB120	0,04
767300	0,79	PA42	0,02
BEC58P	0,68	A7D	0,01
DHC6	0,4		

- Percentual de utilização das cabeceiras:
  - o Cabeceira 15: 62,65%
  - o Cabeceira 33: 35,03%
  - o Cabeceira 11: 2,21%
  - o Cabeceira 29: 0,11%

Conforme mencionado anteriormente, essa simulação utilizou a métrica DNL, e nos deu cinco curvas de ruído, de 85, 80, 75, 70 e 65. E seis áreas delimitadas pelas mesmas.

A seguir são apresentadas as curvas de ruído, e as áreas que são obtidas com elas:

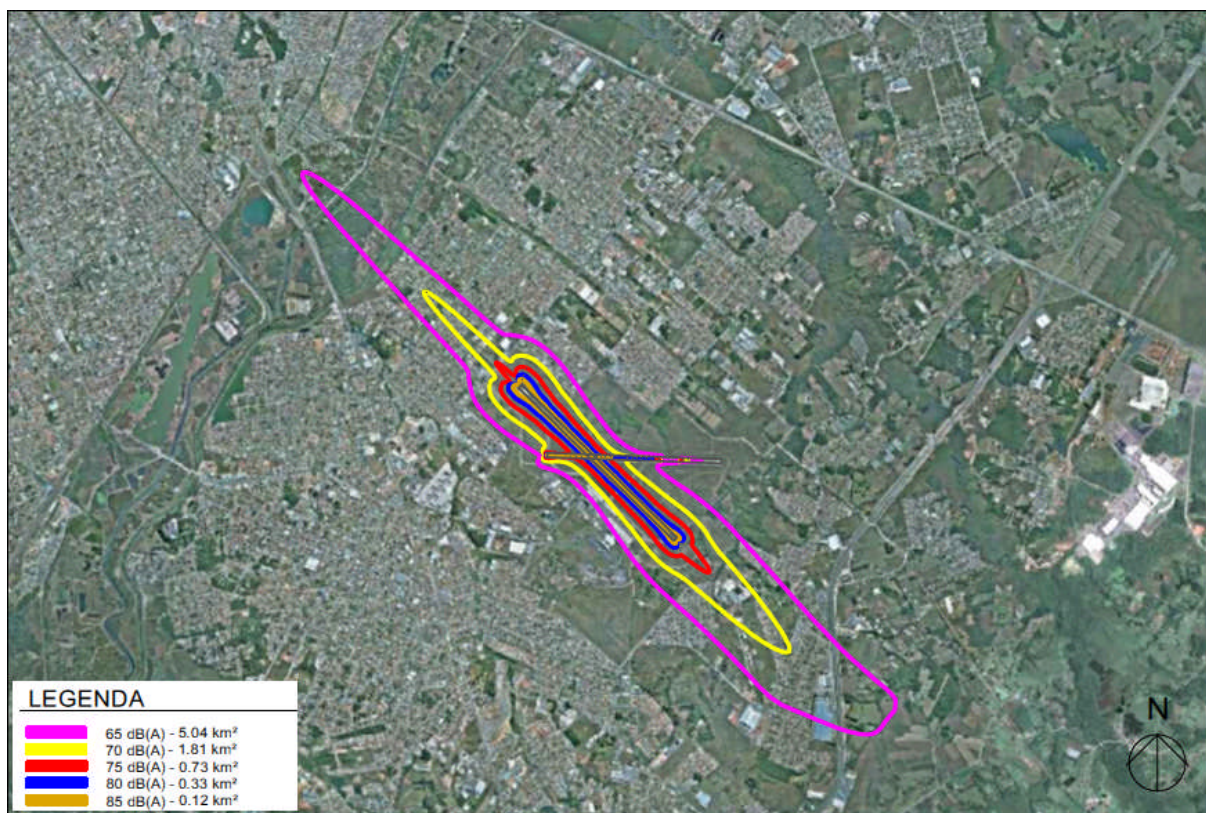


Figura 7.1 – Curvas de Ruído

Foram marcados no mapa cinco pontos que representam escolas e/ou hospitais na região do entorno; o objetivo é obter o nível de ruído desses pontos, e verificar se eles apresentam níveis de ruídos coerentes com o regulamento. Caso negativo, devem-se tomar ações para que o uso se torne compatível.

Os pontos do mapa são:

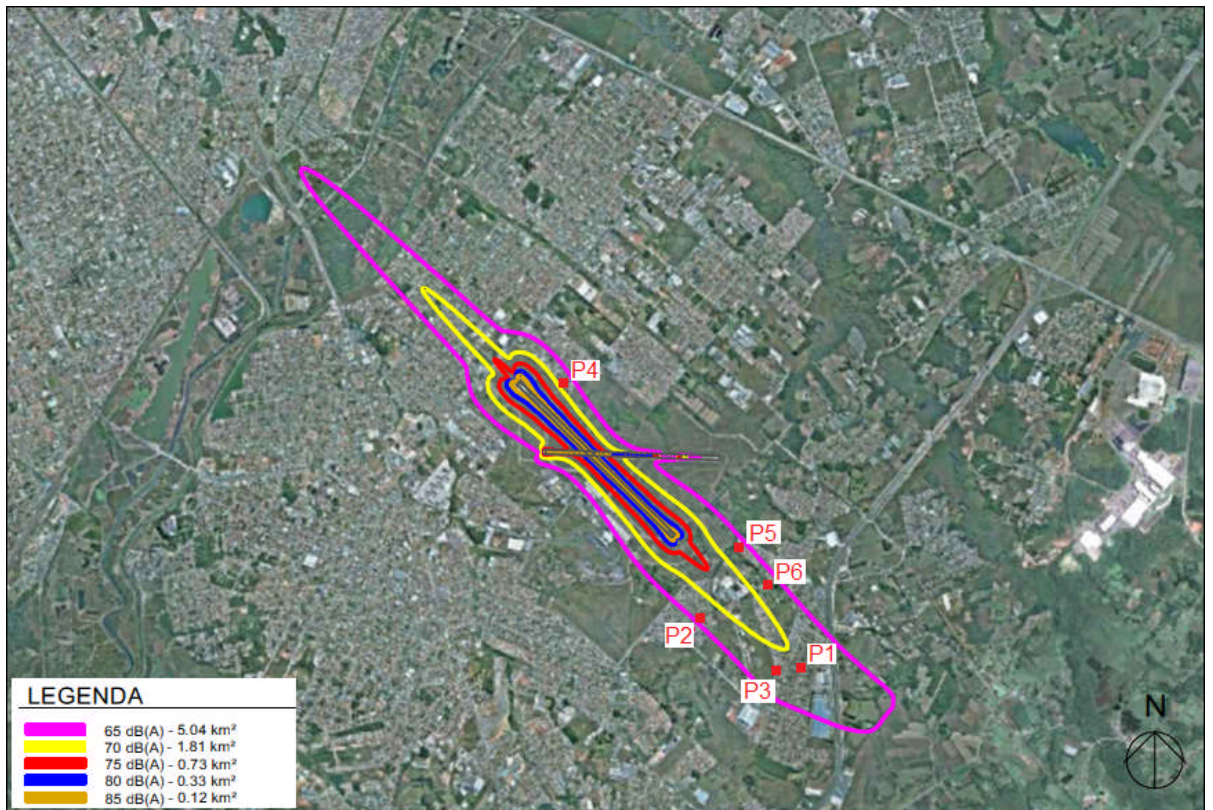


Figura 7.2 – Pontos de medição de ruído

Os pontos que serão examinados os níveis de ruído são:

P1 –

Escola Municipal Anibal Ribeiro Leal – Ensino Fundamental

Endereço: Rua Francisco Dirceu Chiuratto, 510 – Vila Quissisana, São José dos

Pinhais

Latitude: -25.548177°

Longitude: -49.155326°

P2 –

Escola Municipal Irmã Dulce

Endereço: R. Angelina M Senegaglia, 169 – Quississana, São José dos Pinhais

Latitude: -25.542674°

Longitude: -49.165792°

P3 –

Escola Filadelfia

Endereço: Rua Dirceu Montanarim, 11 – Quississana, São José dos Pinhais

Latitude: -25.548172°

Longitude: -49.156866°

P4 –

Pré-Escola Arco Iris

Endereço: Rua Cambé, 528 – Aviação, São José dos Pinhais - PR, 83045-420, Brasil

Latitude: -25.521685°

Longitude: -49.178839°

P5 –

Centro Municipal de Educação Infantil AO Alvorecer

Endereço: Rua Deputado Ernesto Moro Redeschi, 21 - Moradias Rio Pequeno

São José dos Pinhais

Latitude: -25.537253°

Longitude: -49.160557°



P6 –

Unidade de Saúde Riacho Doce

Endereço: Rio Pequeno, São José dos Pinhais - PR, Brasil

Latitude: -25.540583°

Longitude: -49.15678°

Com essas áreas delimitadas e as tabelas fornecidas no RBAC nº161, podemos identificar os usos compatíveis e incompatíveis de cada região e verificar se a utilização acontece de forma correta.

## *7.4 – Análise dos Resultados*

Com os dados de latitude e longitude de cada um dos pontos, retiramos os valores de ruído medidos em cada um deles.

Os níveis de ruído obtidos para cada um dos pontos marcados foram:

P1 – 68.7 dB

P2 – 65.6 dB

P3 – 67.9 dB

P4 – 69.3 dB

P5 – 67.0 dB

P6 – 66.2 dB

Os pontos P1, P2, P3, P4 e P5 são escolas e, segundo o regulamento, escolas que se encontram dentro de áreas de ruído entre 65-70 dB, o uso do solo é proibido, só sendo possível caso ocorra uma RR de pelo menos 25 dB.

Já para hospitais, ponto P6, quando submetidos a níveis de ruído entre 65dB e 70dB, o uso é geralmente compatível, mas devem ser tomadas medidas de modo a ocorrer uma RR de 25 dB.

Portanto, para que estejam funcionando de acordo com o regulamento, é necessário que essas localidades tenham tomado medidas de modo a reduzir o impacto causado pelo ruído.

As medidas a serem tomadas podem ser tanto na estrutura das construções afetadas, bem como medidas de restrição operacional ao aeroporto. O que importa é que o nível de ruído seja reduzido.

Podemos notar inconsistências na regulamentação, uma vez que um hospital ou escola que estiver na região de ruído entre 65 dB e 70 dB deve receber uma RR de 25 dB, ficaria com o ruído entre 40 dB e 45 dB. Já se elas estivessem em regiões com ruídos imediatamente inferiores a 65dB, estariam de acordo com a regulamentação e não sofreriam nenhuma RR, apresentando níveis de ruído superiores a aqueles em que se encontram em regiões mais próximas do aeroporto.

## **8 – CONCLUSÃO E SUGESTÕES**

### **8.1 - CONCLUSÃO**

Este trabalho teve por objetivo servir como um guia na construção de Planos de Zoneamento de Ruído (PZR), apresentar as normas e regulamentações existentes sobre o ruído.

É importante lembrar que os impactos ao ser humano devido a reações adversas a níveis de ruídos elevados podem ser extremamente prejudiciais. Esse foi um dos principais motivos para a criação das normas regulamentações existentes.

Com a realização de um Plano Específico de Zoneamento de Ruído, pode-se organizar da forma correta, os usos compatíveis ou não das regiões que cercam o aeroporto. E com isso evitar que ocorram transtornos para a comunidade que cerca o aeroporto.

Deve-se sempre procurar por qualquer tipo de local em que não ocorra compatibilidade com o uso do solo e ações de forma a compatibilizar o uso devem ser tomadas. Ela então deve ser tratada, de forma a mitigar os efeitos adversos nas regiões que cercam o aeroporto. Sendo esse o principal motivo da realização do estudo.

No trabalho, pudemos observar alguns exemplos de usos incompatíveis do solo, uma vez que escolas e hospitais estão numa região em que o ruído é muito elevado para seu uso, com isso foram apresentadas as medidas a serem tomadas, de acordo com o regulamento.

Além disso, pudemos notar inconsistências tanto nas normas, quanto no regulamento RBAC 161. Enquanto todos tratam do mesmo tema, cada um o trata de uma forma, propondo níveis de ruído aceitáveis que variam. Além disso, também existem incoerências na RBAC 161, relativas as aplicações de ruídos nas escolas ou hospitais afetados por níveis mais altos de ruído, enquanto níveis imediatamente inferiores, mas não dentro da faixa explicitada pela norma, podem ocorrer sem problemas.

## 8.2 – Sugestões para futuros trabalhos

A partir da realização do trabalho, possíveis trabalhos futuros que podem ser criados, tais como:

- Comparação entre as curvas do Regulamento RBAC nº161 e normas NBR 10.151 e NBR 10.152
- Estudo sobre medidas a serem tomadas pelo aeroporto para redução das áreas das curvas de ruído.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987. NBR 10152:

ACÚSTICA – MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DO RUÍDO EM AMBIENTES INTERNOS. RIO DE JANEIRO, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000. NBR 10151:

ACÚSTICA – AVALIAÇÃO DO RUÍDO EM ÁREAS HABITADAS, VISANDO O CONFORTO DA COMUNIDADE – PROCEDIMENTO. RIO DE JANEIRO, 2000.

ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil, <http://www.anac.gov.br/>

BRAZIL, 198, Portaria nº 1141/GM5, de 8 de dezembro de 1987, Dispõe sobre Zonas de Proteção e Aprova o Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos, o Plano Básico de Zoneamento de Ruído, o Plano Básico de Zona de Proteção de Heliportos e o Plano de Zonas de Proteção de Auxílio à Navegação Aérea e dá outras 110 providências. Diário

Oficial da União, Brasília, DF, 9 de dezembro de 1987,  
<http://www.anac.gov.br/biblioteca/portarias.aps7>

BRASIL, 1990. CONAMA 001/90, de 8 de março de 1990. Dispõe sobre a emissão de ruído, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2 de abril de 1990.

FAA. "INM User's Guide". Versão 7.0, 2007.

FICAN, [http://www.fican.org/pages/noise\\_issues.html](http://www.fican.org/pages/noise_issues.html)

FICAN, "*Effects of Aviation Noise on Awakenings from Sleep*", Junho de 1997

HASSAL, J.R., ZAVERI, K., Acoustic Noise Measurements, 4 ed. Brüel & Kjær., 1979

HELENO, T. A., "*Uma nova metodologia de zoneamento aeroportuário com o objetivo de reduzir o encroachment e os efeitos adversos do ruído.*", 2010.

INFRAERO – Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária, <http://www.infraero.gov.br>

IAC, Anuário Estatístico do Tráfego Aéreo. Vol. II, 1994.

REGULAMENTO BRASILEIRO DE AVIAÇÃO CIVIL. N° 161, Emenda 00.

Rocha, R. B., "Um método para adequação do zoneamento urbano à influência sonora dos aeroportos com auxílio de Sistemas de Informação Geográfica: o caso do aeroporto de Congonhas e seu entorno" COPPE/ UFRJ 2009

SLAMA, J. G., “Apostila de Curso de Acústica Ambiental”. COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007a.

SLAMA, J. G., “Apostila de Curso de Ruído Aeroportuário”. COPPE/ Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007b.

SOUSA, D. S. Instrumentos de Gestão da Poluição Sonora para Sustentabilidade das Cidades Brasileiras. 2004. 643 f. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – COPPE / Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004

TRAINAR - Instituto de Aviação Civil, “Curso sobre Ruído Aeroportuário”. Módulo 15.

WHO- World Health Organization. “Guidelines for Community Noise”. Geneva, Switzerland. Edited by B., Lindvall, T., Schwela, 1999.