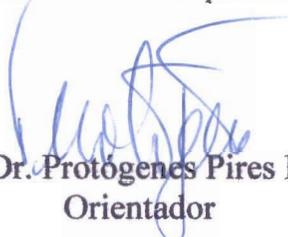


Tese apresentada à Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa do Instituto Tecnológico de Aeronáutica, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Área Especial de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica.

Rogéria de Arantes Gomes Eller

**MODELO DE GERAÇÃO DE TARIFA DE RUÍDO AERONÁUTICO
UTILIZANDO LÓGICA FUZZY**

Tese aprovada em sua versão final pelos abaixo assinados:



Prof. Dr. Protógenes Pires Porto
Orientador

Prof. Dr. Celso Masaki Hirata
Pró-Reitor de Pós-Graduação e Pesquisa

Campo Montenegro
São José dos Campos, SP – Brasil
2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**Divisão de Informação e Documentação**

Eller, Rogéria de Arantes Gomes

Modelo de geração de tarifa de ruído aeronáutico utilizando Lógica Fuzzy, Rogéria de Arantes Gomes Eller
São José dos Campos, 2009.

159 folhas.

Tese de doutorado – Curso de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Área Especial de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2008. Orientador: Prof. Dr. Protógenes Pires Porto.

1. Regulação. 2. Transporte Aéreo. 3. Ruído Aeronáutico. I. Comando-Geral de Tecnologia Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia Civil. II. Modelo de Geração de Tarifa de Ruído Aeronáutico.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA –

Eller, Rogéria de Arantes Gomes. **Modelo de geração de tarifa de ruído aeronáutico utilizando Lógica Fuzzy**. 2009. 159 folhas. Tese de doutorado do Programa de Engenharia Aeronáutica e Mecânica, Área Especial de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

Rogéria de Arantes Gomes Eller

Modelo de geração de tarifa de ruído aeronáutico utilizando Lógica Fuzzy.

Tese/2009.

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias desta tese e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta tese pode ser reproduzida sem a sua autorização (do autor).

Rogéria de Arantes Gomes Eller

Av.: Eng. Francisco José Longo, 555 – apto. 202

Jardim São Dimas

12245-905 – São José dos Campos – SP.

MODELO DE GERAÇÃO DE TARIFA DE RUÍDO AERONÁUTICO UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

Rogéria de Arantes Gomes Eller

Composição da Banca Examinadora:

Profa. Dra. Lígia Maria Soto Urbina	Presidente	ITA
Prof. Dr. Protógenes Pires Porto	Orientador	ITA
Prof. Dr. Alessandro Vinicius Marques de Oliveira		ITA
Prof. Dr. Lamartine Nogueira Frutuoso Guimarães		INPE
Prof. Dr. Marcelo Godoy Simões		Colorado School of Mines

ITA

À Raquel

Agradecimentos

Muitas pessoas colaboraram na execução deste trabalho e gostaria de agradecer a todos. Sem ter como evitar o lugar comum, posso dizer que não me lembrarei de todos e, portanto, peço desculpas por antecipação.

Agradeço aos funcionários da Coordenadoria de Assuntos Aeroportuários da Prefeitura de Guarulhos, especialmente ao Sr. Delmar Mates, à época ocupando o cargo de Coordenador, pela generosidade e sabedoria com que me indicou caminhos para a elaboração de minha pesquisa, sempre lembrando que, acima de tudo, a ciência está a serviço da sociedade. Agradeço aos funcionários da Agência Nacional de Aviação Civil, que esclareceram dúvidas e forneceram informações, sempre com boa vontade e elevado espírito público. Em especial, meu agradecimento é dirigido ao Físico Fábio Scatolini, que colocou sua enorme competência a favor do trabalho. Sem dúvida, um grande exemplo.

Agradeço aos meus colegas do ITA, pelo apoio e incentivo constantes e, principalmente, à minha querida amiga Raquel, que foi embora cedo demais.

Agradeço à minha família: mãe, irmãos e filhos, fontes de minha força nos momentos mais difíceis. Não há palavras para expressar sua importância em minha vida e em tudo que faço.

Finalmente, agradeço ao meu orientador, Prof. Protógenes Pires Porto, mais do que meu orientador acadêmico, educador como poucos, ensinou-me quase tudo que sei e minha gratidão é eterna.

Resumo

O ruído aeronáutico é apontado como um dos principais impactos ambientais provocados pelo transporte aéreo. Em todo o mundo, o aumento do tráfego de aeronaves, associado ao aumento da consciência ambiental e da expectativa de qualidade de vida, tem provocado uma demanda social por medidas de mitigação do incômodo causado pelo ruído. De modo geral, as medidas de mitigação podem ser de comando e controle, representadas por alterações nos gabaritos de aproximação das aeronaves, proibição da operação das aeronaves mais ruidosas e de vôos noturnos, entre outras, e, também, por medidas chamadas de instrumentos econômicos, como as tarifas de ruído aplicadas às companhias aéreas. Essas tarifas, associadas aos instrumentos de comando e controle, têm se mostrado eficazes no tratamento do ruído aeronáutico. No Brasil são aplicadas apenas medidas de comando e controle. Este trabalho propõe um modelo de tarifa de ruído aeronáutico a ser aplicado às companhias aéreas que operam no Aeroporto Internacional de São Paulo Governador André Franco Montoro, situado em Guarulhos. O município de Guarulhos tem mais de 1.200.000 habitantes e 17 bairros em área crítica de ruído aeronáutico. Nesta pesquisa, para modelagem do custo causado pelo incômodo, utilizou-se duas variáveis: o ruído emitido pelas aeronaves, de acordo com dados da *Federal Aviation Administration* (FAA), órgão regulador americano, e uma variável de percepção subjetiva em relação ao incômodo, cujas medidas foram tomadas por meio de questionários aplicados à população que reside na área de ruído com o objetivo de definir os horários do dia em que o incômodo por causa do ruído é maior. Para a primeira variável, que considera o ruído medido, foram analisadas 363 aeronaves diferentes, e para a variável de ruído percebido, foram obtidos 248 questionários válidos. A modelagem das variáveis foi realizada utilizando Lógica *Fuzzy*. Por meio da aplicação do Modelo de Larsen, foram considerados, simultaneamente, o ruído medido na homologação das aeronaves e o ruído percebido pelas pessoas. Esses dados apresentam assimetria em razão da forte componente subjetiva da percepção de desconforto e incômodo. O resultado foi a criação de um multiplicador a ser aplicado às tarifas de pouso vigentes no Aeroporto Internacional de São Paulo. O valor do multiplicador varia entre 0.8 e 1.2, o que significa que uma aeronave que apresente ruído considerado fraco, voando em horário de incômodo não significativo, pode receber uma redução na tarifa de pouso, como incentivo. Por outro lado, aeronaves mais ruidosas e/ou que operem em horários de incômodo crítico, como no período noturno por exemplo, podem pagar até 20% de sobretarifa na tarifa de pouso, representando a parcela destinada a cobrir os custos provocados pelo ruído sobre a população, bem como encorajar as companhias aéreas na utilização de aeronaves mais silenciosas. Os resultados obtidos se mostraram consistentes com o objetivo do trabalho. A aplicação desse tipo de tarifa faz parte das medidas de políticas públicas e este modelo é uma ferramenta de auxílio ao tomador de decisões no sentido de se atingir um modelo de gestão aeroportuária mais moderno e condizente com os anseios da população.

Abstract

The aeronautical noise is pointed out as one of the main environmental impacts caused by air transportation. In the whole world, the increase of the air traffic, as well as the increase of the environmental conscience and the expectation for a better quality of life, has caused a social demand for measures of mitigation of noise annoyance. In general, the measures of mitigation can be the command and control, represented by modifications in the approach profile of the aircraft, prohibition of the noisiest aircraft operation and night flights, among others, and, also, for measures called economic instruments, as the charges of aircraft noise. These charges, associates to the command and control tools, have shown efficiency in the treatment of the aeronautical noise. In Brazil they are applied only measures of command and control. This work considers a model of charge for aeronautical noise to be applied to the air carrier that operates at the São Paulo International Airport Governador Andre Franco Montoro, located in Guarulhos. The city of Guarulhos has more than 1.200.000 inhabitants and 17 regions in critical area of aeronautical noise. In this research, for modeling the cost caused for the noise, it was used two variables: the noise emitted by the aircraft, in accordance with the Federal Aviation Administration (FAA), the american regulating agency, and a variable of subjective perception in relation to the annoyance, which was measured by means of questionnaires applied to the population that inhabits in the area noise. For the first variable, that considers the measured noise, 363 different aircraft had been analyzed, and for the variable of perceived noise, 248 questionnaires had been applied. The modeling of the variable was carried through using Fuzzy Logic. By means of the Larsen Model, that has its principles based on the Fuzzy Logic, they had been considered, simultaneously, the noise measured in the certification of the aircraft and the noise perceived by the people. These data present some dichotomy due the strong subjectivity of the perception of discomfort and annoyance. The result was the creation of a multiplier to be applied to the effective charges of landing in the International Airport of São Paulo. The value of the multiplier varies between 0.8 and 1.2, that means that an aircraft that presents low noise, flying on schedule during weak annoyance time, can receive a reduction in the charge from landing, as incentive. On the other hand, noisier aircraft and/or that one that operates in schedule of critical annoyance, during the night period for example, might pay up to 20% over the landing charge, representing the costs of the noise for the population, as well as encouraging the air carrier to use quieter aircraft. The results had shown consistence with the objective of the work. The application of this type of charge is part of the measures of public policies and this model is a tool of aiding to the decision maker in reaching a model of modern airport management that is consistent with the yearnings of the population.

Lista de ilustrações

Figura 1 –	Loteamento Malvinas.....	26
Figura 2a –	Expansão urbana de Guarulhos no período de 1981 a 1990, em Porcentagem.....	27
Figura 2b –	Expansão urbana de Guarulhos no período de 1991 a 2000, em Porcentagem.....	27
Figura 3 –	Vetor de crescimento da cidade de São Paulo x Localização do aeroporto	30
Figura 4 –	Curva de ruído do Aeroporto Internacional de São Paulo.....	33
Figura 5 –	Exemplos de ondas sonoras de diferentes frequências.....	36
Figura 6 –	Comportamento da redução dos níveis de ruído emitido por aeronaves..	47
Figura 7 –	Empuxo x Ruído em operações de decolagem.....	48
Figura 8 –	Peso máximo de decolagem x Ruído em operações de decolagem.....	48
Figura 9 –	Empuxo x Ruído em operações de pouso.....	49
Figura 10 –	Peso máximo de decolagem x Ruído em operações de pouso.....	49
Figura 11 –	Empuxo x Peso máximo de decolagem x SEL.....	50
Figura 12 –	Motor CFM56-2.....	51
Figura 13 –	Pontos de medição de ruído para fins de certificação das aeronaves.....	53
Figura 14 –	Efeito da externalidade na quantidade produzida.....	67
Figura 15 –	Sistema de Lógica Nebulosa.....	75
Figura 16 –	Exemplo de função de pertinência triangular.....	82
Figura 17 –	Exemplo de função de pertinência trapezoidal.....	82
Figura 18 –	Exemplo de função de pertinência sigmoidal.....	83
Figura 19 –	Exemplo de função gaussiana.....	84
Figura 20 –	Agrupamentos formados pelas aeronaves em relação ao ruído de pouso e de decolagem.....	94
Figura 21 –	Graus de pertinência atribuídos às aeronaves em agrupamentos, para valores normalizados de ruído.....	95
Figura 22 –	Incômodo total por faixa de hora.....	99
Figura 23 –	Níveis de desconforto por faixas de hora.....	100
Figura 24 –	Incômodo percebidos pelos moradores de Guarulhos em relação a diversas fontes de ruído urbano.....	105
Figura 25 –	Parâmetros iniciais do modelo.....	106
Figura 26 –	Fuzzificação do conjunto “ruído-SEL”.....	107
Figura 27 –	Fuzzificação do conjunto “Hora do dia”.....	107
Figura 28 –	Fuzzificação do conjunto “Tarifas”.....	108
Figura 29 –	Resultado do modelo de geração de tarifa de ruído aeronáutico.....	109
Figura 30 –	Regras do modelo.....	109
Figura 31 –	Resultados do modelo.....	110
Figura 32 –	Simulação de multiplicador para uma aeronave com SEL de 97.5 EPNdB, operando às 20h.....	111

Lista de Tabelas

Tabela 1 –	Volume de carga operada nos principais terminais aeroportuários de carga do país em 2005, em toneladas	24
Tabela 2 –	Crescimento Populacional da região metropolitana de São Paulo e de Guarulhos	25
Tabela 3 –	Movimento de aeronaves e passageiros no Aeroporto Internacional de São Paulo Governador André Franco Montoro	28
Tabela 4 –	Distribuição de movimentos de aeronaves no Aeroporto Internacional de São Paulo Governador André Franco Montoro, por cabeceira	29
Tabela 5 –	Classificação das aeronaves, por ruído emitido, segundo o Anexo 16 da ICAO	52
Tabela 6 –	Medidas de mitigação de acordo com a origem do problema de ruído	65
Tabela 7 –	Número de aeroportos do mundo que aplicam tarifa de ruído	70
Tabela 8 –	Operadores de implicação das regras	80
Tabela 9 –	Aeronaves do Anexo 3 da AC36-1H	93
Tabela 10 –	Classificação do ruído das aeronaves do modelo	100
Tabela 11 –	Nível de incômodo, por faixas de hora	101
Tabela 12 –	Mapa de regras	102
Tabela 13 –	Valores de tarifas de pouso, por tonelada de peso do avião	112

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Considerações Iniciais	12
1.2 Impacto Ambiental e Transporte Aéreo	14
1.3 Objetivo do Trabalho	16
1.4 Estrutura do Trabalho	18
2. O PROBLEMA DO RUÍDO EM GUARULHOS.....	20
2.1 Aeroporto Internacional de São Paulo Governador André Franco Montoro.....	22
2.1.1 Previsão de ampliação com a construção da terceira pista.....	23
2.1.2 Grande movimento de carga.....	23
2.1.3 Adensamento do Entorno	24
2.1.4 O Aeroporto desempenha papel de “hub”, com grande número de vôos internacionais.....	28
2.1.5 Área patrimonial insuficiente	30
2.2 Planos de Zoneamento Municipal	31
3. RUÍDO.....	35
3.1 Princípios Básicos de Acústica.....	35
3.2 Unidades de Medida	38
3.3 Parâmetros para Avaliação da Pressão Sonora.....	39
3.4 Ruído Aeronáutico.....	41
3.4.1 Principais variáveis que definem o ruído emitido pelas aeronaves.....	45
3.4.2 Classificação de aeronaves com relação ao ruído	52
3.5 Ruído e seus Efeitos Sobre as Pessoas	57
3.6 Subjetividade	57
4. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RUÍDO AERONÁUTICO	63
4.1 Custo Externo	66
4.1.1 Tarifas de ruído aeronáutico.....	69
5. LÓGICA FUZZY	73
5.1 Sistemas Nebulosos	74
5.1.1 Fuzzificação.....	75
5.1.2 Elaboração das regras.....	76
5.1.3 Cálculo dos operadores.....	76
5.1.4 Cálculo das implicações	76
5.1.4.1 Zadeh max-min.....	76
5.1.4.2 Mamdani-min	77
5.1.4.3 Larsen	77
5.1.4.4 Aritmético	77
5.1.4.5 Booleano.....	77
5.1.4.7 Produto Drástico	78
5.1.4.8 Seqüência Padrão.....	78
5.1.4.9 Gougen	78
5.1.4.10 Godelian	79
5.1.5 Agregação dos consequentes.....	79
5.1.6 Fuzzificação.....	80
5.2 Formas das funções de pertinência.....	81

5.2.1 Função de pertinência triangular	81
5.2.2 Função de pertinência trapezoidal.....	82
5.2.3 Função de pertinência sigmoidal.....	83
5.2.4 Função gaussiana.....	83
6. REVISÃO DA LITERATURA	85
6.1 Lógica Nebulosa.....	85
6.2 Aplicações de Lógica Fuzzy.....	86
7. METODOLOGIA	91
7.1 Variável de medição do ruído.....	91
7.2 Variável subjetiva.....	96
7.3 Inputs e output do Modelo.....	100
8. RESULTADOS	105
8.1 Exemplo do cálculo da tarifa de ruído para uma aeronave A320-214	112
9. CONCLUSÕES	115
9.1 Sugestões para continuação da pesquisa	118
Referências Bibliográficas	119

Apêndice 1 – Conceitos fundamentais de Lógica *Fuzzy* pertinentes a este trabalho

Apêndice 2 – Questionário utilizado na pesquisa de campo

Apêndice 3 - Cálculo da tarifa de ruído de acordo com o modelo desenvolvido neste trabalho, para aeronaves que operam no Aeroporto Internacional de São Paulo

Anexo 1 – Demonstração do cálculo das tarifas de ruído praticadas em aeroportos selecionados

Anexo 2 – Relação de Aeronaves utilizadas neste estudo, de acordo com a AC36-1H

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A busca de um tratamento adequado para as chamadas questões ambientais tem mobilizado todos os setores da sociedade. O aumento da consciência ambientalista tem pressionado no sentido de que se encontrem soluções que possam evitar a exaustão de alguns tipos de recursos naturais. No entanto, as características de bem público associadas a esses recursos tornam-se um obstáculo na busca de uma metodologia eficaz para sua mensuração econômica. Nesse sentido, os impactos ambientais, ou externalidades, têm sido um desafio para os pesquisadores.

O transporte aéreo é um dos setores econômicos que mais crescem no mundo (JANIC, 1999). Esse crescimento traz vantagens e desvantagens. Algumas vantagens que podem ser citadas são a geração de empregos e renda e as melhorias viárias e de infra-estrutura urbana que costumam acompanhar a instalação dos aeroportos. As desvantagens, geralmente, aparecem sob a forma de impactos ambientais que modificam o comportamento das pessoas, levando-as a padrões de qualidade de vida insatisfatórios.

O ruído, seja causado por atividades industriais, seja por quaisquer outras atividades, tem se apresentado como um dos mais sérios problemas ambientais com os quais as populações de diversas partes do mundo têm se defrontado. O crescimento acelerado da atividade econômica aumentou os níveis de ruído emitido nas diversas atividades sem, contudo, ser acompanhado da implementação de medidas suficientes para sua redução e/ou mitigação de seus efeitos sobre a qualidade de vida das pessoas. O tratamento das questões ambientais ligadas ao transporte aéreo evoluiu nos últimos 30 anos. A criação de diretrizes e normas busca harmonizar a demanda da população por um transporte rápido e seguro e as

necessidades de bem-estar e qualidade de vida, principalmente daquelas pessoas que residem nas áreas de entorno dos aeroportos. A legislação existente, bem como os avanços tecnológicos, propiciaram uma redução significativa dos níveis de ruído emitido nos últimos 30 anos. Ainda assim, o *Future Noise Policy* (COMISSÃO EUROPÉIA, 1996), trabalho realizado a partir do *Fifth Environmental Action Programme*, ocorrido em 1993, já estimava que existiam aproximadamente 80 milhões de pessoas atingidas por níveis de ruído considerados prejudiciais à saúde, somente nos países da União Européia. O *Transportation-Related Noise in the United States*, estudo elaborado pelo Departamento de Transportes do governo americano afirma que “...quase toda pessoa nos Estados Unidos é afetada por ruído gerado por atividades de transporte” (DOT, 1999). Esta questão tem merecido destaque, sendo objeto de inúmeros estudos patrocinados pelo governo e por instituições privadas. Diversas pesquisas também têm sido realizadas, tanto no meio acadêmico, como por equipes ligadas às companhias aéreas e autoridades aeroportuárias de todo o mundo, com o objetivo de encontrar e implementar medidas de redução do incômodo sofrido pelas populações em decorrência da operação de aeronaves. O crescente número de queixas com relação ao problema do ruído demonstra que as reduções obtidas ainda não foram suficientes para atingir-se um nível de incômodo aceitável para o ser humano. Isto se deve, principalmente, ao fato de que o desconforto é percebido, entre outras razões, em função da expectativa do padrão de qualidade de vida das populações (GARCÍA et al., 1993). Além disso, estudos desenvolvidos em diversas áreas das ciências médicas demonstram os sérios danos que a exposição a níveis de ruído elevados e/ou constantes podem acarretar ao ser humano. Em geral, as interferências do ruído na vida das pessoas aparecem nas atividades cotidianas, como dificuldades para dormir, ouvir e ler (GARCÍA et al., 1993; DOT, 1999). Outros estudos apontam efeitos danosos ao sistema cardiovascular, além de prejuízos de natureza psicológica (LAMBERT, 2000). As perdas auditivas (temporárias ou definitivas, parciais ou totais) também são

mencionadas (COMISSÃO EUROPEIA, 1996). Estudo coordenado pelo Professor Gary Evans, do *Cornell's College of Human Ecology*, realizado na Alemanha com crianças de uma comunidade rural, antes e depois da implantação de uma rota de aviões, detectou problemas como dificuldades no aprendizado e hipertensão arterial surgidos após a exposição constante dessas crianças ao ruído das aeronaves (COHEN, 1980). Outros problemas relacionados ao ruído são as rachaduras nos imóveis, provenientes da vibração das ondas sonoras, a interferência em aparelhos eletro-eletrônicos e de comunicação, entre outros.

De modo geral, o ruído está associado a um lugar específico, sendo sua fonte bem determinada e localizada. Em alguns casos, em que pesem as regras gerais de controle e redução do ruído, como é o caso das recomendações da *International Civil Aviation Organization* (ICAO) para o ruído aeronáutico, outras medidas mais restritivas mostram-se necessárias para tratamento da situação específica de um aeroporto, considerado crítico sob o ponto de vista do ruído aeronáutico. Nestes casos, o envolvimento da população atingida auxilia na introdução de medidas restritivas à utilização de aeronaves ruidosas.

1.2 Impacto Ambiental e Transporte Aéreo

Os principais impactos gerados por um aeroporto acontecem durante as operações de pouso e decolagem das aeronaves e é neles que se concentra a maior parte do esforço das ações de controle, uma vez que atingem a um maior número de pessoas, especialmente aquelas que residem em áreas vizinhas ao aeroporto.

O ruído produzido pela operação das aeronaves, bem como as emissões de gases pelos motores, são considerados os principais impactos ambientais decorrentes da atividade do transporte aéreo. Podem ser mencionados, também, outros impactos como a geração de resíduos sólidos que necessitam de tratamento antes de serem devolvidos ao meio ambiente e

a impermeabilização do solo em áreas extensas decorrente da pavimentação do Aeroporto. Este trabalho examina, especificamente, a questão do ruído aeronáutico.

No que diz respeito especificamente ao ruído das aeronaves, as queixas da populações levaram ao estabelecimento pela ICAO, em 1970, do *Committee on Aviation Noise (CAN)*¹ o qual, em 1972, criou o Anexo 16 à Convenção de Chicago – *Aircraft Noise*, que consiste em um documento normativo internacional, que estabelece padrões de procedimento para a redução dos níveis de ruído durante a operação das aeronaves. Em 1981, a ICAO reestruturou o Anexo 16, criando dois volumes específicos: um para tratamento do ruído de aeronaves (Volume 1) e outro referente à emissão de gases pelos motores (Volume 2).

No Brasil, no âmbito do Comando da Aeronáutica, as primeiras restrições ao uso do solo nas áreas de entorno de aeroportos começaram a ser tratadas em 1966 no chamado Código Brasileiro do Ar (hoje Código Brasileiro de Aeronáutica). Essas medidas tinham como objetivo impedir a utilização dessas áreas em atividades que pudessem comprometer os procedimentos de segurança de vôo das aeronaves. A principal restrição dizia respeito à proibição da utilização dessas áreas em atividades de plantio ou vazamento de lixo, as quais poderiam atrair pássaros e provocar acidentes.

Em 1984 foram estabelecidos os Planos de Zoneamento de Ruído, que são documentos elaborados pelo antigo Departamento de Aviação Civil – DAC, subordinado ao Comando da Aeronáutica (atualmente esse trabalho é feito pela Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC), os quais definem as *Zonas Aeroportuárias ou Áreas Especiais Aeroportuárias* especificando as restrições impostas à implantação e ao desenvolvimento de

¹ Este Comitê foi substituído pelo *Committee on Aviation Environmental Protection (CAEP)*, em 1986, e teve suas atividades ampliadas para tratamento dos outros impactos ambientais ligados ao transporte aéreo.

determinadas atividades no entorno de aeroportos devido ao incômodo causado pelo ruído aeronáutico. Atualmente, o Brasil, como país signatário da ICAO, adota os procedimentos recomendados por aquela Instituição para controle dos impactos ambientais gerados pelo transporte aéreo, além de normatizações específicas.

Em muitos casos, o impacto do ruído provocado por operações de pouso e decolagem é agravado pela falta de integração entre os já mencionados *Planos de Zoneamento de Ruído* e as *Leis de Zoneamento Urbano Municipais*. Em outros casos, o aeroporto é instalado ou ampliado após a ocupação da área, gerando desconforto e prejuízos financeiros à população.

O ruído aeronáutico, assim como outros impactos ambientais negativos gerados por aeroportos, apresenta-se como fator de perda de eficiência do aeroporto e seu custo econômico tem sido examinado por meio de diferentes metodologias.

1.3 Objetivo do Trabalho

Uma das ferramentas utilizadas para desestimular a utilização de aeronaves ruidosas são as tarifas de ruído, as quais são acrescentadas às tarifas de pouso cobradas pelos aeroportos às companhias aéreas pela utilização de suas instalações. Em geral, as tarifas de ruído são tão mais elevadas quanto mais crítico for o incômodo causado pelo ruído. Esse incômodo é decorrente do tipo da aeronave e também do horário em que ocorre a operação de pouso ou decolagem. (BOEING, 2008).

As tarifas de ruído, atualmente, são cobradas na Alemanha, França, Japão, Reino Unido, Austrália e nos Estados Unidos, entre inúmeros outros países. Entretanto, no Brasil não existe essa tarifa. No transporte aéreo brasileiro, é mais comum a utilização de instrumentos de comando e controle, com modificações nos procedimentos de aproximação das aeronaves como forma de reduzir a área sob impacto. Em alguns casos, como no

Aeroporto Internacional de São Paulo Governador André Franco Montoro, as medidas de comando e controle não se mostram eficientes, por si só, no controle do problema de ruído aeronáutico.

O já citado estudo *Future Noise Policy*, da Comunidade Européia (1996), aponta a “necessidade de severas restrições às emissões (de ruído) e o uso de instrumentos econômicos, para encorajar o desenvolvimento e a utilização de aeronaves com mais baixos níveis de emissão de ruído, assim como a contribuição de medidas locais, como o planejamento do uso da terra.”

A partir dessas considerações, é possível afirmar que, seguindo uma tendência mundial, a implantação de tarifas de ruído para os principais aeroportos brasileiros é uma medida indispensável como meio de restringir a operação de aeronaves ruidosas.

Com base na constatação, fundamentada pela aplicação dos questionários utilizados na metodologia de trabalho aqui desenvolvida, de que o ruído aeronáutico tornou-se um sério problema de desconforto urbano no município de Guarulhos, com agravantes para a qualidade de vida e a saúde das pessoas que residem na área de entorno do aeroporto, o presente trabalho propõe um modelo de geração de tarifa de ruído aeronáutico a ser aplicada às companhias aéreas que operam naquele aeroporto. O modelo desenvolvido considera as duas variáveis mais utilizadas no cálculo das tarifas de ruído praticadas no resto do mundo: ruído da aeronave e hora da operação. Como diferencial, este modelo propõe a inclusão de uma variável relevante, do ponto de vista econômico e social, no diagnóstico do custo externo provocado pelo ruído aeronáutico: a percepção das pessoas em relação ao incômodo que sofrem em decorrência de sua exposição a esse tipo de impacto ambiental. A inclusão de uma variável de caráter subjetivo visa a melhorar a precisão do cálculo do custo do ruído, melhorando as condições de eficiência da tarifa proposta. A precisa avaliação do custo do

ruído é vital para a eficiência da tarifa (LU e MORREL, 2006). Para o tratamento matemático dessa variável subjetiva, este trabalho emprega a Lógica *Fuzzy*. A utilização da Lógica *Fuzzy* serviu à modelagem de um fator social, representado pela mudança no comportamento das pessoas, com vantagem sobre os modelos estatísticos clássicos. A característica social do modelo desenvolvido necessitava de uma ferramenta que permitisse o tratamento de tendências e percepções, para as quais não é possível estabelecer uma análise estatística precisa. Pode-se afirmar, após adequada revisão bibliográfica, que a inclusão da percepção do ser humano em relação ao incômodo como medida de custo externo, bem como a utilização da Lógica *Fuzzy* na construção de modelos de geração de tarifa de ruído, são procedimentos inéditos. A ferramenta computacional utilizada é o software aplicativo MatLab, em sua versão 6.5.1. Esse software serviu às necessidades do método de forma adequada, embora deva-se ressaltar que outras ferramentas similares também encontram-se disponíveis.

1.4 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em nove capítulos. No Capítulo 1 é apresentado o problema dos impactos ambientais gerados por aeroportos, principalmente ruído, situando o trabalho no contexto da busca por tratamentos eficazes que reduzam os prejuízos que tais impactos causam à qualidade de vida dos seres humanos.

No Capítulo 2 é analisado o problema do ruído aeronáutico no município de Guarulhos, desde a implantação do aeroporto, na década de 80. Também são analisadas a dinâmica de urbanização do município e as características que agravam o problema do ruído.

No Capítulo 3 são apresentados alguns princípios básicos de acústica e particularidades do ruído aeronáutico. É apresentada, também, uma análise da importância da aceitação do caráter subjetivo da percepção de incômodo para a compreensão mais eficiente

desse impacto sobre as pessoas. Além disso, o texto mostra a influência do empuxo e do peso máximo de decolagem no ruído emitido pelas aeronaves e as categorizações das aeronaves, em função do ruído, de acordo com a ICAO e com a FAA (*Federal Aviation Administration*).

No Capítulo 4 são examinadas algumas medidas de mitigação de ruído aeronáutico, com ênfase nas tarifas de ruído. Apresenta-se o número de aeroportos que utilizam essa tarifa, de acordo com dados obtidos junto à *Boeing Company*, bem como as principais características observadas nas tarifas já praticadas.

O Capítulo 5 apresenta os princípios da Lógica *Fuzzy*, também chamada de Lógica Nebulosa ou Difusa, suas características e os atributos que a qualificam para o adequado tratamento de subjetividade, resguardando o rigor matemático.

O Capítulo 6 mostra a revisão da literatura, onde são apresentadas aplicações da Lógica *Fuzzy*.

Nos Capítulos 7 e 8 são mostrados, respectivamente, a metodologia utilizada no trabalho e os resultados obtidos com a pesquisa, seguidos de sua análise.

No Capítulo 9 são apresentadas as conclusões do trabalho e também sugestões para extensão desta pesquisa.

2. O PROBLEMA DO RUÍDO EM GUARULHOS

A ICAO (*International Civil Aviation Organization*) recomenda que as tarifas de ruído sejam aplicadas somente aos aeroportos onde forem comprovados os problemas causados pelo ruído aeronáutico, geralmente caracterizados pelo aumento das queixas da população. Em geral, o aumento do incômodo acontece por duas razões principais: o aumento do tráfego aéreo e o adensamento populacional nas áreas vizinhas aos aeroportos. O aumento do tráfego aéreo é estimulado pelo crescimento econômico, e geralmente não favorece a aplicação de medidas restritivas. É esperado que o movimento do aeroporto aumente até seu limite operacional podendo, ainda, haver ampliações de capacidade. A outra razão para que haja pessoas perturbadas pelo ruído é o fato de que o crescimento urbano aproxima as pessoas das áreas afetadas e, uma vez o problema instalado, sua solução é extremamente difícil e onerosa. Sendo assim, a principal medida preventiva em relação ao incômodo é administrar o crescimento urbano, de forma a não permitir que a população se instale em áreas afetadas pelo ruído. No entanto, essa tarefa é complexa, uma vez que o próprio aeroporto funciona como pólo de atração para a população. Em Guarulhos o problema é o mesmo, agravado ainda por outras razões que são descritas neste Capítulo.

Grande parte da população mundial vive em centros urbanos. Esta proporção vem aumentando em muitos países, porque as pessoas são atraídas pelas oportunidades e serviços oferecidos por esses centros. A urbanização é explicada pela economia de aglomeração que, segundo Mario Polèse, corresponde aos “ganhos de produtividade atribuíveis à aglomeração geográfica das populações e das atividades econômicas” (POLÈSE, 1998). Mas a urbanização tem gerado, freqüentemente, problemas como o aumento no congestionamento das vias de transporte, e conseqüente ruído e poluição atmosférica, aumento na criminalidade, na pobreza

urbana e na degradação ambiental. Esse cenário cria um enorme desafio para os planejadores urbanos (IPEA, 1996).

De acordo com estudo do Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas - IPEA, o declínio da qualidade de vida em algumas cidades vem fazendo com que alguns especialistas argumentem que o próprio processo de urbanização deva ser desestimulado. Em uma situação extrema,

isto poderia até implicar abordagem completamente *laissez-faire*, a qual permite que a qualidade urbana decline a tal ponto que as pessoas sejam finalmente forçadas pela necessidade econômica a procurar outros centros menos concentrados (IPEA, 1996).

Considerando o problema do ruído aeronáutico, entende-se que a implementação de medidas de mitigação necessita de recursos e informações técnicas que não estão ao alcance da maioria da população. Acrescente-se, ainda, que as medidas de controle de ruído no emissor, nesse caso, a própria aeronave, são de implantação mais difícil, pois estão relacionadas a avanços tecnológicos ou redução no número de vôos. Pode-se afirmar, então, que o não tratamento do problema do ruído aeronáutico, associado a outros problemas urbanos, poderia estimular um processo de afastamento das pessoas das áreas urbanas, em razão da degradação da qualidade de vida nessas regiões.

Em outros casos pode ocorrer não propriamente um fenômeno de afastamento das pessoas dessas regiões, mas sim uma mudança do perfil dos moradores que residem nessas áreas impactadas. Considere-se nesse processo que as pessoas mais abastadas podem reagir mais rapidamente às perdas de bem-estar, pois possuem mais recursos para buscar alternativas. No limite, essas mesmas pessoas deixariam a área afetada pelo ruído. De acordo com estudo realizado na região do Aeroporto Internacional Sea-Tac, no Estado de Washington, nos Estados Unidos, em 1996, quando uma área é degradada ambientalmente,

perde valor de mercado, afastando os proprietários e, geralmente, atraindo pessoas de baixa renda. Dessa forma, com o tempo, modifica-se o perfil sócio-econômico dos moradores da região. Essa mudança pode provocar sérios impactos na demanda por serviços públicos como saúde, educação e segurança (OBATA et al., 1997). Esse fenômeno também é observado na cidade de Guarulhos, onde ocorre adensamento populacional nas áreas mais pobres da cidade, as quais apresentam características de degradação ambiental e falta de infra-estrutura básica.

Parte-se, neste trabalho, da premissa que cabe ao poder público a responsabilidade de criar centros urbanos ajustados, e coloca-se o desafio de administrar a urbanização e não desestimulá-la, dentro de princípios de compatibilidade com metas de desenvolvimento sustentável. A presença do Aeroporto Internacional de São Paulo em Guarulhos traz ganhos à cidade e ao país, mas a população, em muitos casos, não dispõe de informação ou recursos para implementar medidas de controle, estabelecendo-se, assim, um desequilíbrio no jogo de forças que atuam sobre a geração do impacto ambiental e suas conseqüências.

2.1 Aeroporto Internacional de São Paulo Governador André Franco Montoro

O Aeroporto Internacional de São Paulo Governador André Franco Montoro está situado na cidade de Guarulhos, que possui 1.236.192 habitantes, conforme dados da contagem de 2007, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (IBGE, 2008). Possui área patrimonial de aproximadamente 14 km² e duas pistas com (3.700 x 45 m) e (3.000 x 45 m). O estacionamento de aeronaves tem 66 posições e o estacionamento para automóveis possui 3.500 vagas (INFRAERO, 2008). É importante mencionar que o aeroporto está localizado no centro geográfico do município e é contornado por bairros populosos. Em Guarulhos, o problema do ruído aeronáutico apresenta alguns agravantes, principalmente pelas características do aeroporto descritas a seguir.

2.1.1 Previsão de ampliação com a construção da terceira pista

O Plano Diretor do aeroporto, de 1980, já previa a construção de uma terceira pista, paralela às já existentes. A nova pista seria localizada na zona norte da cidade, fora da área patrimonial, o que aumentaria o número de pessoas atingidas pelo ruído. Haveria necessidade de desapropriações na área e, segundo levantamentos feitos pela prefeitura municipal, aproximadamente 5.500 famílias seriam atingidas nos bairros Jardim dos Eucaliptos/Malvinas, Jardim Novo Portugal, Cidade Seródio, Haroldo Veloso, Jardim Santa Lídia, Jardim Marilena e Jardim Planalto. Atualmente, o projeto de ampliação do número de pistas encontra-se suspenso, por decisão do governo federal, justamente em razão do volume de recursos necessários para desapropriações. No entanto, o Decreto nº 50.860, de 6 de junho de 2006, do Governo do Estado de São Paulo, que torna a área que seria ocupada pela terceira pista “de utilidade pública” ainda não foi revogado. Pelo contrário, o Governo do Estado promulgou o Decreto nº 51.978, em 12 de julho de 2007, dando nova redação ao Decreto 50.860 e modificando o contorno da área (SÃO PAULO, 2007). Essa medida mostra que o assunto ainda está em pauta, pelo menos do ponto de vista do governo estadual.

2.1.2 Grande movimento de carga

Uma vez que o Aeroporto Internacional tem assumido um papel de extrema importância na cadeia logística do Estado e do País, espera-se que o volume de carga aumente, com o crescimento da economia. Ocorre que grande parte da frota de aeronaves que opera no Brasil no transporte de carga é mais antiga e, portanto, mais ruidosa em razão da tecnologia utilizada nos motores. De acordo com dados disponibilizados pela Infraero, o Terminal de Cargas do Aeroporto Internacional de São Paulo ocupava, em 2005, o primeiro lugar em volume de carga transportada (importação + exportação), como pode ser visto na Tabela 1:

Tabela 1 – Volume de carga operada nos principais terminais aeroportuários de carga do país em 2005, em toneladas

TERMINAL DE CARGA	IMPORTAÇÃO	EXPORTAÇÃO	TOTAL IMP. + EXP.	% NAS TONELADAS TOTAIS
Guarulhos (GR)	98.984	119.608	218.592	38,42
Viracopos (KP)	87.350	105.077	192.427	33,82
Manaus (EG)	30.520	10.117	40.637	7,14
Galeão (GL)	22.651	0	22.651	3,98

Fonte: Infraero, 2008

Observa-se, na Tabela 1, que o volume de carga que passou pelo Terminal de Cargas do Aeroporto, em 2005, ultrapassou de forma muito significativa o volume processado pelos outros terminais, mesmo considerando-se a movimentação de carga no terminal do Aeroporto de Viracopos, situado em Campinas, e potencial concorrente do Aeroporto de Guarulhos.

2.1.3 Adensamento do Entorno

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) como um todo, e o município de Guarulhos, em particular, tem sofrido acentuado processo de urbanização. Na década de 80, período que sucedeu a inauguração do Aeroporto, houve forte adensamento da região que fica na direção do vetor de crescimento da capital (região oeste da cidade de Guarulhos) onde se situam os bairros Jardim Paraventi, Jardim Vila Galvão e Bom Clima, por exemplo. A urbanização tem ocorrido em razão de fluxo migratório proveniente de fora do município, ou seja, a expansão acontece “de fora para dentro”. Carlos José Ferreira dos Santos, no livro *Identidade urbana e globalização*, de 2006, mostra que, em 1980, “entre os 532.724 moradores de Guarulhos, 379.652 (71,3%) eram de outros municípios, sendo a grande maioria do Estado de São Paulo” (SANTOS, 2006, pp. 168).

A Tabela 2 mostra o crescimento populacional na Região Metropolitana de São Paulo e em Guarulhos. Note-se que o crescimento relativo da população do município de Guarulhos nos últimos quinze anos é muito maior do que na RMSP.

Tabela 2 – Crescimento populacional da Região Metropolitana de São Paulo e de Guarulhos

ANO	POPULAÇÃO DE GUARULHOS	CRESCIMENTO PERCENTUAL NO PERÍODO	POPULAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO	CRESCIMENTO PERCENTUAL NO PERÍODO
1991	787.866	62,88	15.444.941	27,40
1996	972.197		16.583.000	
2000	1.072.717		17.833.511	
2005	1.251.179		19.130.455	
2006	1.283.253		19.677.506	

Fonte: Adaptado de Santos, 2006 e IBGE, 2008.

Outra característica do processo de urbanização do município são os fluxos migratórios internos. Nos últimos anos houve um agravamento das condições sócio-econômicas de parte dos moradores, principalmente em razão do fechamento de empresas que se mudaram para outros estados do Brasil, aumentando o desemprego no município. Essa população, em condições menos privilegiadas, tem gerado um fluxo migratório na direção das áreas mais pobres da cidade. Essas áreas possuem menor valor de mercado, por serem mais degradadas ambientalmente, além de apresentarem condições sanitárias insatisfatórias. Cita-se, especialmente, a região denominada Malvinas. Trata-se de loteamento clandestino que está situado na região que deveria abrigar a terceira pista. Nessa região a ocupação vem aumentando ao longo dos anos, com aumento da demanda por serviços públicos. O adensamento do loteamento Malvinas é apresentado na Figura 1, em fotografia feita por técnicos da prefeitura municipal de Guarulhos:



Figura 1 - Loteamento Malvinas

Atualmente, com a suspensão do projeto da terceira pista, a prefeitura municipal iniciou melhorias na região do Loteamento Malvinas, como asfaltamento de vias, por exemplo. Caso o projeto de ampliação seja retomado, o custo de desapropriação será ainda mais elevado.

A seguir, as Figuras 2a e 2b mostram a evolução do adensamento populacional no município, de acordo com dados da Prefeitura. Observa-se o crescimento expressivo da periferia, especialmente na direção norte da cidade, ocupando, como já mencionado, a área prevista para a construção da terceira pista do Aeroporto. Em contrapartida, verifica-se o esvaziamento dos centros urbanos consolidados, situados principalmente na região oeste do município, no caminho entre a capital e o aeroporto.

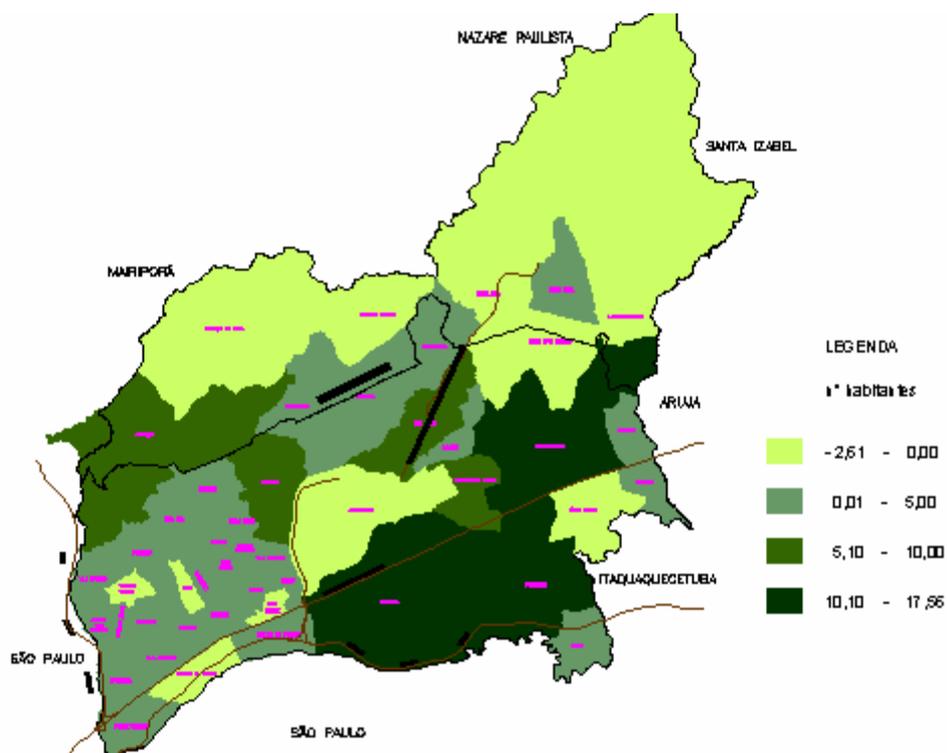


Figura 2a - Expansão urbana de Guarulhos no período de 1981 a 1990, em porcentagem

Fonte: Elaborado pela Prefeitura Municipal de Guarulhos, 2007, com base em dados do IBGE.

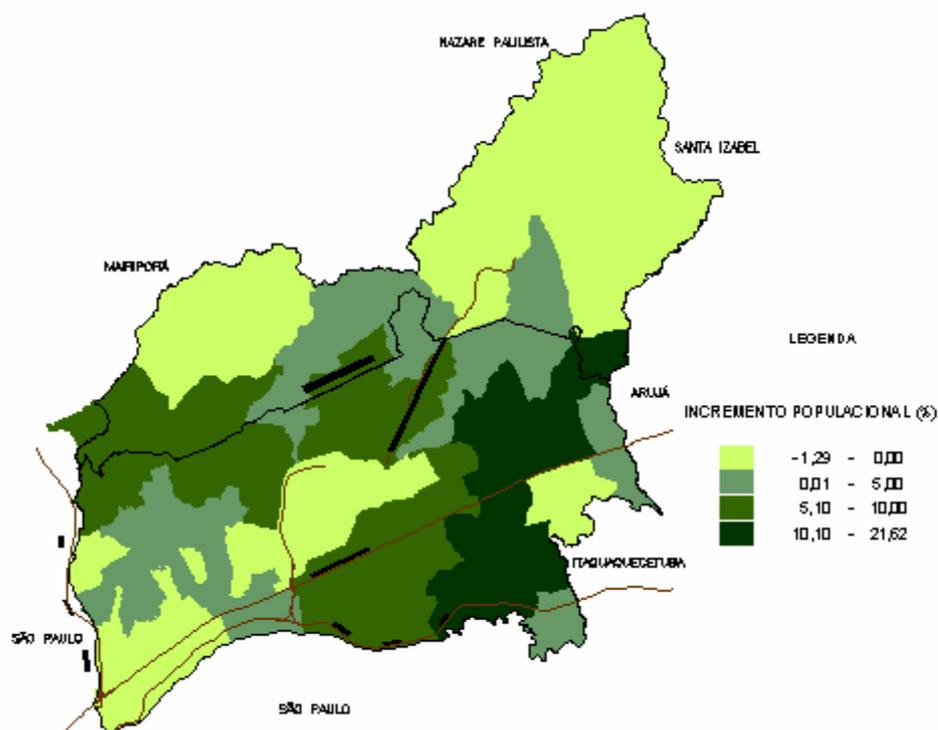


Figura 2b - Expansão urbana de Guarulhos no período de 1991 a 2000, em porcentagem

Fonte: Elaborado pela Prefeitura Municipal de Guarulhos, 2007, com base em dados do IBGE.

2.1.4 O Aeroporto desempenha papel de “hub”, com grande número de vôos internacionais

O Aeroporto atende a um volume significativo de vôos internacionais, que precisam decolar do Brasil no período da noite para pousar durante o dia nos países de destino, já que alguns aeroportos no resto do mundo não operam durante a noite. O aumento de vôos noturnos agrava o incômodo causado pelo ruído.

Segundo dados da Infraero, o movimento de aeronaves e passageiros do aeroporto cresceu significativamente nos últimos anos, conforme mostra a Tabela 3, atingindo um movimento de passageiros (embarcados mais desembarcados) de aproximadamente 18.800.000 em 2007.

Tabela 3 – Movimento de aeronaves e passageiros no Aeroporto Internacional de São Paulo Governador André Franco Montoro

MOVIMENTO ANO	AERONAVES		PASSAGEIROS
	DOMÉSTICAS	INTERNACIONAIS	
2003	77.122	61.916	11.581.034
2004	85.042	64.455	12.940.193
2005	84.585	69.774	15.827.708
2006	88.335	66.613	15.689.302
2007	113.910	74.050	18.795.596

Fonte: Infraero, 2008

A média de tráfego diário é de 500 operações. Por conta de restrições climáticas, a maioria dessas operações ocorre na direção das cabeceiras 09R e 09L, as quais identificam as cabeceiras 09 *Right* e 09 *Left*, para as pistas da direita e da esquerda, respectivamente. A distribuição dos vôos, por cabeceiras, é mostrada na Tabela 4.

Tabela 4 - Distribuição de movimentos de aeronaves no Aeroporto Internacional de São Paulo Governador André Franco Montoro, por cabeceira

ANO	CABECEIRAS 09		CABECEIRAS 27	
	MOVIMENTOS	(%)	MOVIMENTOS	(%)
2002	140.536	85,86	23.135	14,14
2003	123.774	85,52	20.965	14,48
2004	129.946	87,85	17.969	12,15
2005	140.227	87,82	19.444	12,18
2006	139.910	87,65	19.707	12,35

Fonte: Infraero, 2008

A ocorrência de um maior número de movimentos do mesmo lado do aeroporto faz com que uma parcela significativa da população, nesse caso aquela que ocupa a direção das cabeceiras 09, do lado oeste da cidade, seja mais impactada com ruído, uma vez que sofre o sobrevôo das aeronaves durante o pouso. Nas operações de pouso o ruído medido é mais elevado do que o ruído medido nas operações de decolagem. As cabeceiras 09 situam-se na direção de área densamente povoada, por estar localizada na direção do vetor de crescimento da capital de São Paulo, ocupada pelos bairros Cocaia, Centro, Bom Clima, Paraventi e Vila Barros, entre outros. Essa região é ocupada por muitas residências multifamiliares (prédios), o que aumenta o adensamento. A Figura 3 mostra que o vetor de crescimento demográfico da capital de São Paulo segue em direção ao Aeroporto (especificamente na direção das cabeceiras mais utilizadas) aumentando a quantidade de pessoas atingidas. Deve-se acrescentar que os bairros da região leste da cidade, situados na direção das cabeceiras 27, como o Jardim Presidente Dutra, também são fortemente impactados, especialmente quando há inversão das cabeceiras, geralmente durante as frentes frias. Essa região é caracterizada por residências unifamiliares, ocupadas em sua maioria, por famílias de baixa renda, o que faz com que as residências apresentem condições mais precárias em relação ao material e às técnicas construtivas.

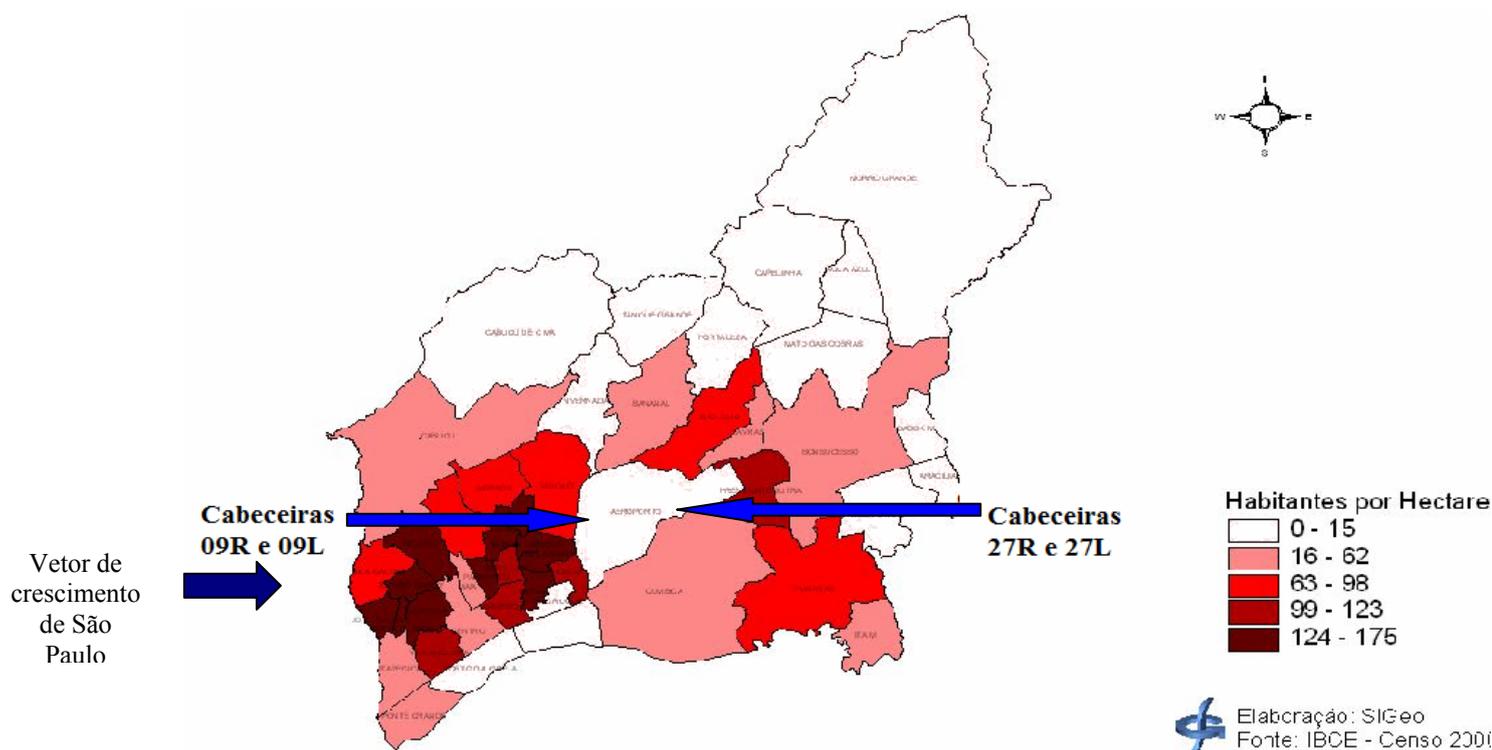


Figura 3 - Vetor de crescimento da cidade de São Paulo x localização do aeroporto

O aumento do volume do tráfego aéreo, bem como o adensamento populacional da área de entorno do aeroporto, tem agravado os efeitos provocados pelo ruído aeronáutico sobre a população. As previsões de crescimento do movimento operacional do aeroporto antecipam o aumento das queixas, o que reforça ainda mais a necessidade de criação de instrumentos de mitigação para o problema.

2.1.5 Área patrimonial insuficiente

O aeroporto ocupa uma área de 14 km², dos quais 10 km² já serviam à Base Aérea de São Paulo. Isto significa que apenas 4 km² foram incorporados à área da Base para a construção do aeroporto. Atualmente, esta área se mostra insuficiente para atender às necessidades das crescentes operações do aeroporto. Outros aeroportos brasileiros, com tráfego menor, possuem áreas maiores, como o Aeroporto Tom Jobim, com 17,8 km², Aeroporto de Viracopos, em Campinas, com 17,6 km², além do Aeroporto Internacional de

Brasília, com 28,9 km². Conclui-se que houve sub-dimensionamento da área patrimonial do aeroporto.

2.2 Planos de Zoneamento Municipal

A análise da problemática do ruído aeronáutico na área de entorno do Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos passa fortemente pela questão da compatibilidade entre o Plano de Zoneamento de Ruído e o Plano de Zoneamento Municipal. Essas duas formas de disciplinar o uso do solo são estabelecidas por diferentes instâncias governamentais. O primeiro é de competência do Governo Federal, representado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e estabelece as áreas de impacto do ruído aeronáutico provocado pelas operações do aeroporto. O segundo, definido pela Prefeitura Municipal, deve estabelecer quais as restrições de uso e ocupação do solo, em função do ruído como, por exemplo, a proibição de construção de hospitais e igrejas em certas regiões, ou a imposição de medidas de isolamento acústico em residências situadas em áreas mais afetadas.

A falta de compatibilidade entre os Planos de Zoneamento de Ruído e de Zoneamento Municipal é um problema complexo, que envolve questões sociais, econômicas e culturais, por parte da população, além de dificuldades impostas pelo modelo de gestão aeroportuária vigente.

Pode-se destacar as seguintes razões, mais específicas, para a falta de entrosamento entre o Plano de Zoneamento de Ruído e o Plano de Zoneamento Municipal em Guarulhos:

- a) durante a vigência da Lei 4.818, antiga lei de zoneamento do município que vigorou de 1996 até maio de 2007 e que exigia tratamento acústico para as moradias em área de ruído, de acordo com Plano de Zoneamento de Ruído da Aeronáutica, verificava-se a morosidade no sistema de obtenção de autorização para construção em área sob

- impacto de ruído do aeroporto (autorização do Comando Aéreo Regional/ANAC), o que favorecia o desrespeito à legislação;
- b) dificuldades da população para custear os projetos de atenuação de ruído exigidos pela ANAC para as residências localizadas em algumas áreas de ruído mais intenso;
 - c) necessidade de aperfeiçoamento do processo de fiscalização, por parte da Prefeitura, nas zonas aeroportuárias da cidade;
 - d) falta de orientação para a comunidade a respeito dos problemas decorrentes da exposição ao ruído e alternativas para mitigação e controle dos seus efeitos.

Esses problemas, entre outros, resultaram em um número significativo de imóveis que atualmente se encontram em situação irregular e que geram um passivo ambiental, sendo fortemente afetados pelo ruído.

O chamado passivo ambiental do ruído aeronáutico corresponde ao valor necessário para regularizar todos os imóveis que foram construídos sem o devido projeto de isolamento acústico ou cujo projeto não foi realizado de forma satisfatória. Existem estimativas da prefeitura municipal dando conta de que aproximadamente 80% dos imóveis situados dentro da Área II de ruído não atendem às especificações descritas nas medidas de atenuação. A chamada Área II é delimitada pela Curva II de ruído, a qual define uma área de igual intensidade sonora e é traçada a partir das pistas do aeroporto, por meio de ferramentas computacionais que consideram o tipo e a quantidade de aeronaves que operam no aeroporto, bem como o horário dos vôos. Na Figura 4, a Área II encontra-se dentro da Curva II de Ruído, que é a curva mais afastada do aeroporto. Dentro dessa área, em Guarulhos, encontram-se 17 bairros.

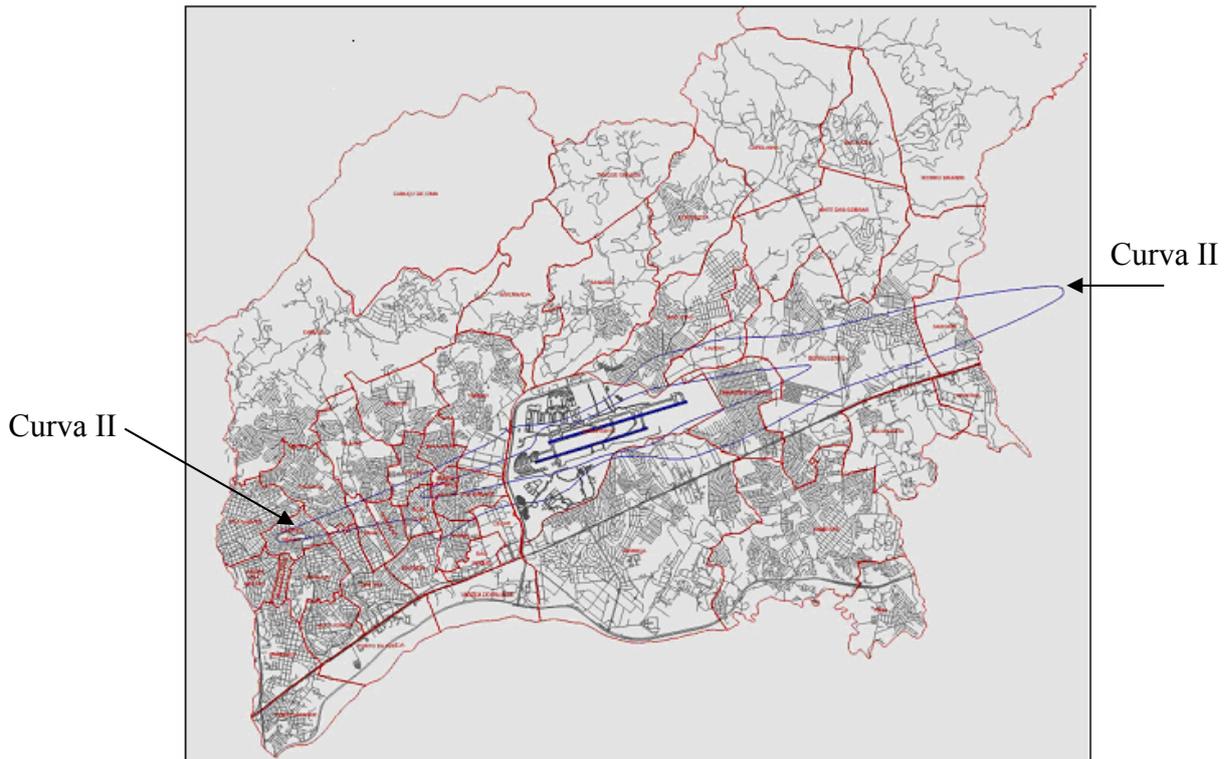


Figura 4 - Curva de ruído do Aeroporto Internacional de São Paulo
Fonte: Infraero, 2008

Mesmo em países mais desenvolvidos, pode-se identificar claramente o conflito existente pela diversidade de interesses dos agentes envolvidos na questão do ruído aeronáutico. Por exemplo, as companhias aéreas desejam ampliar suas linhas e oferecer mais vôos, os passageiros também desejam que haja mais opções de vôos e que estes cumpram os horários de pouso e decolagem, o que pode implicar aumento de capacidade do aeroporto. A economia precisa do transporte aéreo para crescer. Por outro lado, um maior número de vôos implica mais ruído sobre a população. A consequência de mais ruído é o desconforto da comunidade, problemas de saúde e degradação da qualidade de vida, com perdas financeiras decorrentes da desvalorização dos imóveis. A falta de articulação entre os diversos agentes que atuam sobre a questão (autoridades aeronáuticas, prefeitura e legislativo municipal, além da população) é fruto de um modelo de gestão antigo, criado dentro de um ambiente político

que se encontra ultrapassado e onde prevalecia a aplicação de instrumentos de comando e controle na mitigação do ruído aeronáutico.

Este trabalho visa a contribuir para um modelo mais moderno de gestão aeroportuária, a ser aplicado ao Aeroporto Internacional de São Paulo. As características aqui apresentadas distinguem o aeroporto em relação ao incômodo e justificam a aplicação de medidas para a mitigação do ruído aeronáutico. Esse ruído tem características que o diferenciam dos demais ruídos urbanos. A principal característica, do ponto de vista da pessoa que recebe o impacto, é que o ruído aeronáutico provém de uma fonte que, em geral, encontra-se acima desse receptor, dificultando sobremaneira a aplicação de medidas de proteção acústica. Algumas noções básicas de acústica, bem como as características e métricas do ruído aeronáutico são mostradas no Capítulo seguinte.

3. RUÍDO

Neste Capítulo são apresentados alguns conceitos e informações básicas a respeito de ruído, principalmente ruído aeronáutico, com suas métricas e a dicotomia verificada entre o ruído medido e o ruído percebido pelas pessoas. Este último é fortemente influenciado por critérios subjetivos do receptor e as razões por que isso acontece também são aqui apresentadas. Adicionalmente, são mostradas as classificações das aeronaves com relação ao ruído.

3.1 Princípios Básicos de Acústica

O som é uma onda mecânica longitudinal cuja faixa de audibilidade para o ser humano está, aproximadamente, entre 20 Hz e 20.000 Hz de frequência (NUSSENZVEIG, 2004; ASHFORD, 1997). Alguns autores, como Horonjeff e McKelvey (1993) definem essa faixa entre 16 Hz e 16.000 Hz. A onda mecânica é um fenômeno físico que transporta energia através de um meio material elástico, sem movimentá-lo como um todo. Trata-se de uma onda longitudinal, pois movimenta as partículas do meio na mesma direção de propagação da energia.

A frequência de propagação da onda sonora é que determina sua audibilidade e é dada pelo número de vezes em que uma onda oscila durante um segundo. Na Figura 5, há dois exemplos de ondas: na primeira, há três ciclos em um segundo, já na segunda, há dez ciclos. Nesse caso, a primeira onda tem 3 Hz e a segunda tem 10 Hz de frequência. Se a onda longitudinal propagar-se com frequência inferior a 20 Hz ela é denominada infra-som e se sua frequência for superior a 20.000 Hz é denominada ultra-som. Em ambos os casos, o som não é audível para a maioria das pessoas.

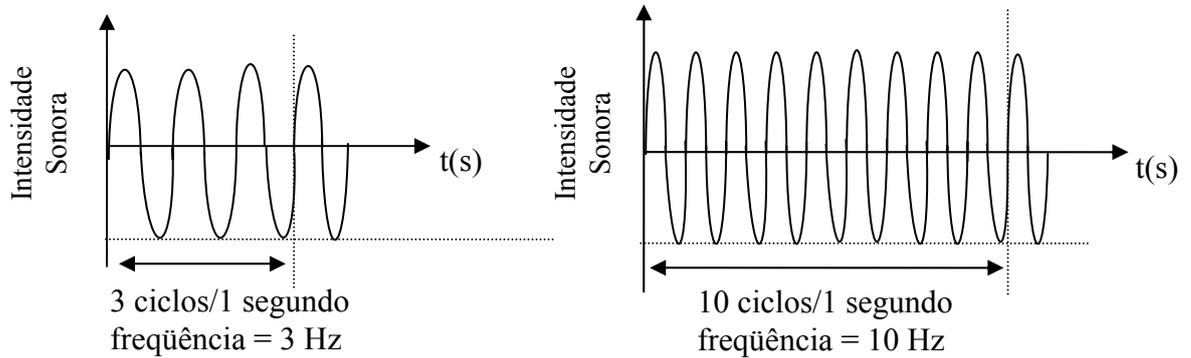


Figura 5 – Exemplos de ondas sonoras de diferentes frequências

As principais características do som são altura, timbre e intensidade, que são explicadas a seguir:

a) Altura: está relacionada à frequência da onda sonora. Quanto maior a frequência, mais alto (agudo) será o som, e quanto menor a frequência, mais baixo (grave) será o som.

b) Timbre: está relacionado às características que distinguem uma fonte sonora das outras e permite-nos diferenciar sons da mesma altura e intensidade, emitidos por fontes diferentes. Nos instrumentos musicais, o timbre pode ser determinado pelo tipo de material com que ele foi construído. Já nos seres humanos, é determinado por características das cordas vocais de cada pessoa.

c) Intensidade: está relacionada à energia de vibração da fonte que emite a onda sonora. Quanto maior for a quantidade de energia (por unidade de tempo) que a onda sonora transporta até nossos ouvidos, maior será a intensidade do som que perceberemos. A intensidade, proporcional à amplitude do som, pode ser física ou auditiva:

c.1) Intensidade Física

A intensidade física corresponde à quantidade de energia que a onda transporta, por unidade de área, em um determinado intervalo de tempo. É medida em “watt por metro quadrado” e é dada por:

$$I = \frac{W}{S\Delta t} \quad (1)$$

onde W = energia transportada por uma onda;

S = área sobre a qual a onda é transportada, perpendicular à direção de propagação; e

Δt = intervalo de tempo durante o qual a onda é transportada.

c.2) Intensidade Auditiva

Considerando I_0 a menor intensidade física de som audível para uma pessoa jovem e saudável, e I a intensidade física do som que se deseja medir, define-se intensidade auditiva, também denominada nível sonoro (N) de um som, como o expoente a que se deva elevar o número 10 para obter-se a relação I/I_0 . Esta intensidade auditiva, ou nível sonoro, é medida em Bel, em homenagem a Alexander Graham Bell, sendo mais comum utilizar-se uma medida menor, o decibel.

$$10^{(N)} = \frac{I}{I_0} \quad (2)$$

ou, pela definição de logaritmo decimal:

$$N = \log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (3)$$

onde : I = intensidade física correspondente à intensidade auditiva N; e

I_0 = menor intensidade física que pode ser percebida pelo ouvido humano, que é tomado como uma medida internacional igual a 10^{-12} W/m², para um som com frequência igual a $\nu = 10^3$ s⁻¹. Se a intensidade física exceder 1 W/m² seu efeito poderá provocar sensação dolorosa.

O som é medido em escala logarítmica. Uma das razões para esse comportamento é o grande alcance das intensidades audíveis, que cobrem muitas ordens de grandeza. Esse fenômeno é explicado por uma lei empírica, chamada Lei de Weber-Fechner. Ernst Heinrich Weber (1795-1878) foi um médico alemão que desenvolveu estudos que mostravam que o limiar sensorial (a menor diferença perceptível entre dois valores de um estímulo) aumenta linearmente com o valor do estímulo de referência. O filósofo e psicólogo alemão Gustav Theodor Fechner (1801-1887) modificou essa lei e estabeleceu uma lei psicofísica que explica que a sensação do indivíduo varia exponencialmente em relação à excitação. A Lei de Weber-Fechner, esclarece a necessidade da aplicação da escala logarítmica para os efeitos do ruído (NUSSENZVEIG, 2004; REVISTA SUPERINTERESSANTE, agosto de 1997). Por essa razão, para se obter o nível de pressão sonora resultante de várias fontes funcionando simultaneamente, é necessário calcular o antilogaritmo do valor expresso em decibéis, efetuar a soma e depois extrair o logaritmo do resultado.

3.2 Unidades de Medida

A medida do som é obtida pela medida da pressão do ar, que ocorre pela vibração de suas partículas quando o som se propaga. Tomando como referência a pressão sonora mínima

percebida por uma pessoa jovem saudável e que, conforme convenção internacional, equivale, em média, a $P_0 = 2,0 \times 10^{-5}$ Pa (ou N/m^2), obtém-se que o nível de pressão sonora é dado por:

$$dB = 10 \log_{10} \frac{P^2}{P_0^2} \quad (4)$$

onde : P = pressão do ar (ou de outro meio material) provocada pela energia contida em 1 pulso de onda em uma superfície qualquer;

P_0 = pressão do ar (ou de outro meio material) cujo valor é considerado mínimo para percepção pelo ouvido humano.

3.3 Parâmetros para Avaliação da Pressão Sonora

a) Nível Total de Exposição Sonora – SEL (*Sound Exposure Level*)

O SEL, muito utilizado para avaliação de ruído aeronáutico, é a soma de todos os níveis de pressão sonora medidos por unidade de tempo, dentro do intervalo de interesse. Geralmente a unidade de tempo considerada é o segundo. O SEL é definido por:

$$SEL = 10 \log_{10} \left[10^{\left(\frac{N_1}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{N_2}{10}\right)} + \dots + 10^{\left(\frac{N_n}{10}\right)} \right] \quad (5)$$

b) Nível Equivalente de Pressão Sonora Contínua - Leq (*Equivalent Continuous Sound Level*)

Uma vez que o som é uma fonte de energia, para avaliar-se os danos causados à audição deve-se considerar não apenas os níveis sonoros mas também sua duração. No caso de níveis sonoros variáveis, estes devem ser medidos a intervalos de tempo sucessivos e bem definidos. Sob essas condições, é possível avaliar-se o Nível Equivalente de Pressão Sonora

Contínua, ou Leq, que corresponde ao nível constante que possui a mesma quantidade de energia que o conjunto de níveis variáveis da fonte sonora que desejamos medir.

Matematicamente pode ser demonstrado como:

$$LEq = 10 \log_{10} \left[10^{\left(\frac{N_1}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{N_2}{10}\right)} + \dots + 10^{\left(\frac{N_n}{10}\right)} \right] - 10 \log_{10}(t) \quad (6)$$

onde t = tempo total, em segundos.

c) Dose de Ruído

Trata-se de um parâmetro relativo, muito utilizado no Brasil pela medicina do trabalho. É dado pela equação:

$$dose = \frac{\text{tempo de exposição ao evento sonoro}}{\text{tempo máximo admissível de exposição ao evento sonoro}} \quad (7)$$

Os níveis sonoros são definidos em dB calculado por meio do Leq, enquanto os tempos máximos de exposição ao ruído são estabelecidos por convenção e, portanto, variam de um país para outro. Existem dois deles, no entanto, que são mais largamente utilizados no mundo. Trata-se dos padrões da *International Standard Organization* (ISO), e da *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA/ONU). Há, ainda, o padrão brasileiro, definido pela Norma Regulamentadora N^o. 15 (NR-15) do Ministério do Trabalho, que trata das Atividades e Operações Insalubres (MTB, 1978), além de outras normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), como a NBR-10151 Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando ao conforto da comunidade – Procedimento, de junho de 2.000, e a NBR-10152 Níveis de ruído para conforto acústico, de março de 1999.

O sistema auditivo humano não percebe de maneira uniforme todas as faixas de frequência sonora. As frequências entre 2.000 e 4.000 Hz são percebidas de maneira mais acentuada e, assim, parecem mais altas do que outras frequências, com o mesmo nível de pressão sonora.

Com o objetivo de corrigir o nível de pressão sonora em decibéis para aproximar os valores medidos àqueles efetivamente percebidos pelo ouvido humano, foram criados os filtros de ponderação, que são dispositivos eletrônicos utilizados para corrigir os valores medidos. Existem os filtros A, B, C e D, sendo que o filtro D foi concebido especificamente para uso aeronáutico.

3.4 Ruído Aeronáutico

O ruído aeronáutico é produzido por aeronaves em operação de pouso, decolagem, táxi, circulação e testes de motores. Considera-se ainda, o ruído produzido pelos equipamentos auxiliares a aeronaves (IAC, 1999).

Como acontece com os outros problemas ambientais, existem diversas formas de se medir o impacto causado pelo ruído aeronáutico e a maior parte dos métodos utilizados está ligada à reação das pessoas quando submetidas a este desconforto (HORONJEFF e McKELVEY, 1993). No que diz respeito às normas e procedimentos para medições, no caso brasileiro existem as já mencionadas Normas ABNT NBR-10151 e NBR-10152 onde são definidos os limites de tolerância humana à exposição sonora, bem como as unidades de medida utilizadas. As Normas Técnicas brasileiras não diferenciam o ruído aeronáutico de outros ruídos.

O ruído aeronáutico começou a ser estudado quando surgiram as aeronaves a jato, na década de 50, devido às reclamações das comunidades atingidas pelo impacto sonoro das

operações dos aviões. O primeiro método específico destinado a avaliar os níveis do ruído aeronáutico foi o *Compository Noise Rating* (CNR), desenvolvido por Rosenblith e Stevens, em 1952, e que tinha por objetivo avaliar o ruído emitido pelos jatos militares. Partia-se do mais alto nível de pressão sonora obtido para descrever a magnitude do ruído no cálculo do CNR. A seguir, ajustava-se essas medidas para a obtenção da medida final. Após estes estudos foram feitas algumas mudanças no cálculo CNR, de maneira que fatores relacionados à natureza das fontes de ruído percebido e a duração de cada evento sonoro fossem levados em consideração.

No início da década de 60 foi criado o PNL - *Perceived Noise Level*. Logo após foi desenvolvido o método EPNL - *Effective Perceived Noise Level*, ambos medidos em decibéis. O EPNLdB é um refinamento do PNLdB e tem o objetivo de avaliar o nível de ruído efetivamente percebido pelo observador. Leva em consideração, adicionalmente, a duração do evento e a presença de frequências sonoras discretas (tons puros). O EPNLdB é empregado no processo de certificação de aeronaves e utilizado, tal como o PNLdB, para o cálculo de medidas cumulativas de exposição ao ruído. Trata-se de uma medida corrigida para considerar o “silvo” das turbinas e do escoamento do ar na superfície aerodinâmica “suja” na aterragem com *flaps*, trem-de-pouso e outros dispositivos de hiper-sustentação acionados, além da duração do evento. Este método ainda é aceito internacionalmente, embora muitos países adotem metodologias próprias e diferentes.

Conforme vê-se em Ashford (1997) o incômodo gerado pelo ruído não pode ser medido pela magnitude do pior evento sonoro. Principalmente quando se trata de ruído aeronáutico, torna-se necessário avaliar outros fatores como frequência, duração, hora do dia e número de repetições. Observa-se diferenças entre os principais métodos utilizados para avaliação de ruído aeronáutico em todo o mundo, principalmente no que diz respeito à

manipulação matemática de dados e à utilização ou não de ajustes ao valor medido. Alguns ajustes, no entanto, parecem ser comuns na maioria dos métodos desenvolvidos e dizem respeito, principalmente, ao horário de ocorrência dos eventos sonoros, ponderando os eventos ocorridos durante a noite com um peso maior do que os que ocorrem durante o dia. A partir daí foram desenvolvidos diversos métodos de avaliação de ruído percebido, principalmente com ponderação pelo filtro A. A seguir são demonstrados alguns métodos utilizados em medição de ruído aeronáutico:

a) *Day-Night Sound Level – L_{dn}*

Este método, baseado no SEL, é recomendado pela *Environmental Protection Agency* (EPA) dos Estados Unidos. É dado pela equação:

$$L_{dn}(i, j) = SEL + 10 \log_{10}(N_d + 10N_n) - 49.4 \quad (8)$$

onde: SEL = nível médio de exposição sonora;

N_d = número de operações entre 07h00 e 22h00;

N_n = número de operações entre 22h00 e 07h00;

i = tipo da aeronave;

j = modo de operação.

b) *Community Noise Equivalent Level – CNEL*

Este método é utilizado no Estado da Califórnia, nos Estados Unidos. Trata-se de uma variação do *Day-Night Level*, que considera também um terceiro período para diferenciar os níveis de ruído entre as 19h00 e as 22h00 horas. É dado por:

$$CNEL = 10 \log \left\{ \frac{1}{24} \left[12 \times 10^{\left(\frac{L_d}{10}\right)} + 3 \times 10^{\left(\frac{L_a+5}{10}\right)} + 9 \times 10^{\left(\frac{L_n+10}{10}\right)} \right] \right\} \quad (9)$$

onde : L_d é o valor, medido em Leq , para o período entre 07h00 e 19h00;

L_a é o valor, medido em Leq , para o período entre 19h00 e 22h00; e

L_n é o valor, medido em Leq , para o período entre 22h00 e 07h00.

c) *Noise and Number Index - NNI*

Este método é utilizado na Inglaterra e calculado por:

$$NNI = LPN + 15 \log N - 80 \quad (10)$$

onde: LPN é o nível médio de ruído de pico e N é o número total de vôos por dia.

A constante 80 foi introduzida para tornar o NNI igual a zero quando o incômodo é nulo.

d) *Noise Exposure Forecast - NEF*

Este método, desenvolvido pela *Federal Aviation Administration* – FAA e utilizado nos Estados Unidos e no Canadá, permite a previsão do impacto sonoro com base em informações, como, número de movimentos, trajetórias descritas, composição da frota de aeronaves e dados técnicos das aeronaves. Foi o primeiro método desenvolvido que possibilitou a geração, em computador, de uma curva isofônica. As curvas isofônicas são curvas que delimitam áreas de igual incidência sonora, ou igual sonoridade. Um programa computacional desenvolvido sob encomenda da FAA, denominado *INM - Integrated Noise*

Model, gera automaticamente as curvas isofônicas para um período de 24 horas. A forma matemática do NEF é:

$$NEF = EPNL + 10 \log_{10}(Nd + 16.7Nn) - 88$$

onde: N_d = número de operações entre 07h00 e 22h00; e

N_n = número de operações entre 22h00 e 07h00.

e) Índice Ponderado de Ruído - IPR

Este índice é utilizado no Brasil. É análogo ao WECPNL(2) (*Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level*), recomendado pela ICAO. O IPR para as aeronaves do tipo i , que percorrem a trajetória j , durante o período k do dia, é dado por:

$$IPR_{(i,j,k)} = EPNL_{(i,j,k)} + 10 \log \left| P_k N_{(i,j,k)} \right| - 68 \quad (11)$$

onde P_k = ponderação em função do período do dia. Para o período noturno (entre 22h00 e 07h00): $k = 2$ e $P_2 = 10$.

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

$$IPR = 10 \log \left[\sum_i \sum_j \sum_k 10^{\frac{IPR_{i,j,k}}{10}} \right] \quad (12)$$

3.4.1 Principais variáveis que definem o ruído emitido pelas aeronaves

O ruído aeronáutico está relacionado, particularmente, à tecnologia das aeronaves. A tecnologia, por sua vez, se reflete no tipo de motor utilizado. A maioria das aeronaves

comerciais é equipada com motores do tipo *turbofan*. Este tipo de motor é constituído de um motor turbo-jato e de uma hélice. Quando as pás da hélice giram, produzem de 30 a 75% da força de tração do motor. No entanto, apenas uma parte do ar (em massa) admitido pelo compressor passa por dentro da câmara de combustão, que é chamada de núcleo do motor. O resto do ar passa por fora da câmara. Como é justamente o ar que passa por dentro da câmara que produz ruído forte ao ser expelido em grande velocidade, é possível reduzir o ruído, diminuindo a quantidade desse ar que passa por dentro. A relação entre a massa de ar que passa por fora e a massa de ar que passa por dentro do núcleo é chamada taxa de *bypass*, ou taxa de derivação. Motores mais modernos possuem taxa de *bypass* mais elevadas.

Nas aeronaves pertencentes à chamada primeira geração de motores, todo o ar que entrava no compressor passava por dentro da câmara de combustão. A ICAO classifica tais aeronaves como Não Certificadas. A segunda geração de motores possuía uma taxa de *bypass* equivalente a duas partes de ar passando por fora da câmara de combustão e uma parte passando por dentro, reduzindo o nível de ruído produzido, uma vez que a velocidade do ar expelido era menor. No caso da terceira geração de motores a taxa de *bypass* é ainda maior. Para o atual estágio tecnológico, existem motores que utilizam uma taxa de *bypass* de até 11:1, significando que há onze partes de ar passando por fora da câmara de combustão, para cada parte que passa por dentro, como no caso dos motores Rolls Royce Trent 1000, utilizados pelos aviões Boeing 787 (ROLLS-ROYCE, 2008). Entretanto, a redução de ruído por meio do aumento da taxa de *bypass* encontra-se totalmente estagnada, não havendo comprovação de que a obtenção de taxas maiores ofereça reduções nos níveis de ruído.

É fundamental destacar que a evolução tecnológica já reduziu o ruído médio em 75-80% desde o surgimento das primeiras aeronaves a jato até os dias de hoje, com redução de até 25 dB, como mostra a Figura 6.

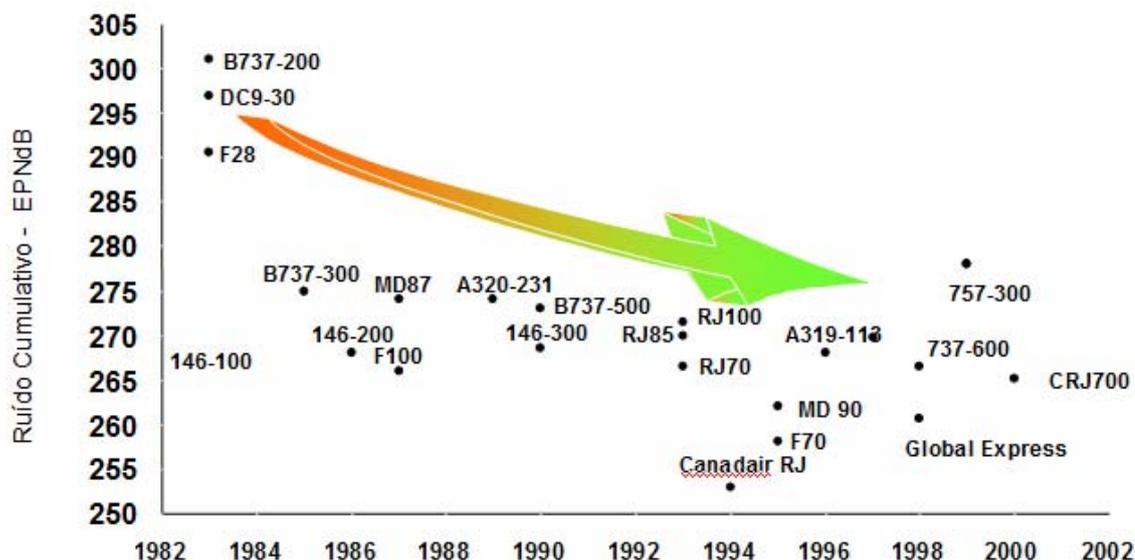


Figura 6 - Comportamento da redução dos níveis de ruído emitido por aeronaves

Fonte: DOT/US, 1999 em IAC, 1999

Além da taxa de *bypass*, outras duas variáveis são responsáveis pelo nível de ruído emitido pelas aeronaves: o peso máximo de decolagem e o empuxo.

O Peso Máximo de Decolagem ou *Maximum Take-Off Weight* (MTOW) corresponde ao maior peso que a aeronave consegue suportar em uma operação de decolagem. O MTOW é definido pelo fabricante e considera condições ideais de temperatura e pressão, comprimento e condições de superfície da pista (ASHFORD et al., 1997). O empuxo é medido em kN (kilo-Newton) e corresponde à força que o motor deve fazer para levantar no ar uma aeronave com um peso conhecido. Esta variável é relevante, pois, geralmente, quanto maior a força necessária, maior o ruído que o avião produz em suas operações.

A fim de demonstrar o efeito do empuxo e do peso máximo de decolagem na geração de ruído, os pontos referentes a essas duas variáveis foram plotados para uma seleção de aeronaves obtidas a partir da AC36-1H, documento oficial da *Federal Aviation*

Administration, que foram estudadas nesta pesquisa. Os resultados são apresentados nas Figuras 7, 8, 9 e 10, a seguir:

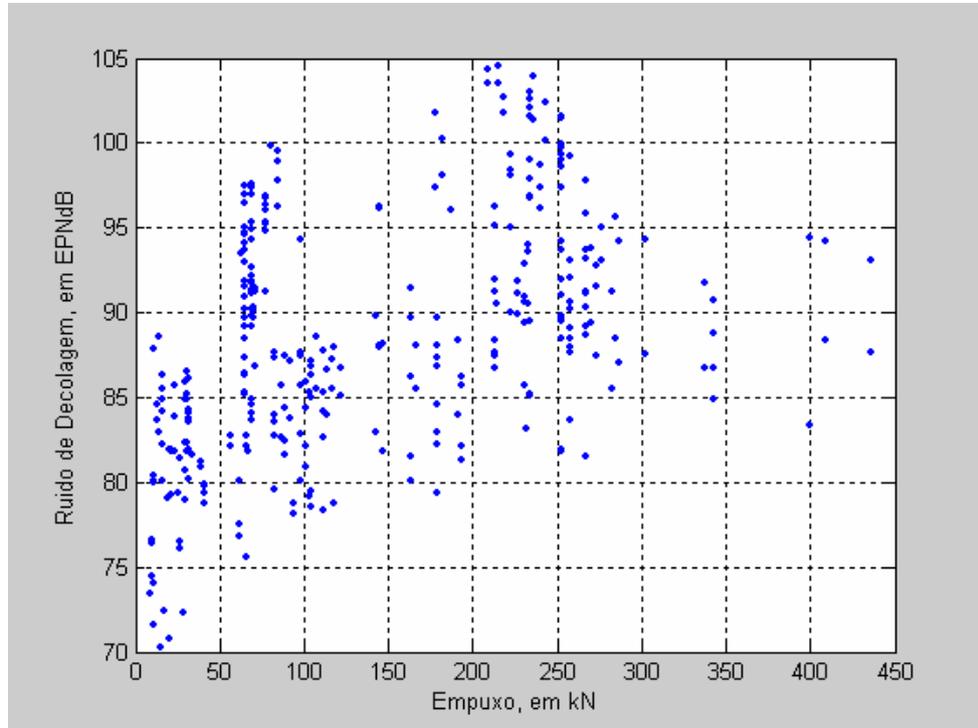


Figura 7 – Empuxo x Ruído em operações de decolagem

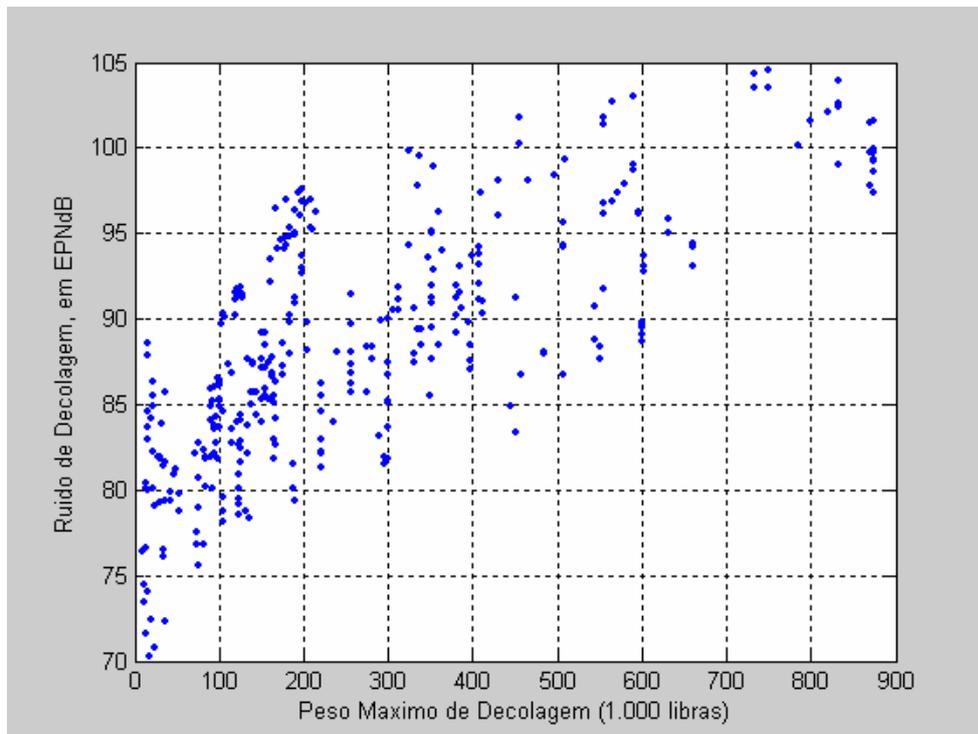


Figura 8 – Peso máximo de decolagem x Ruído em operações de decolagem

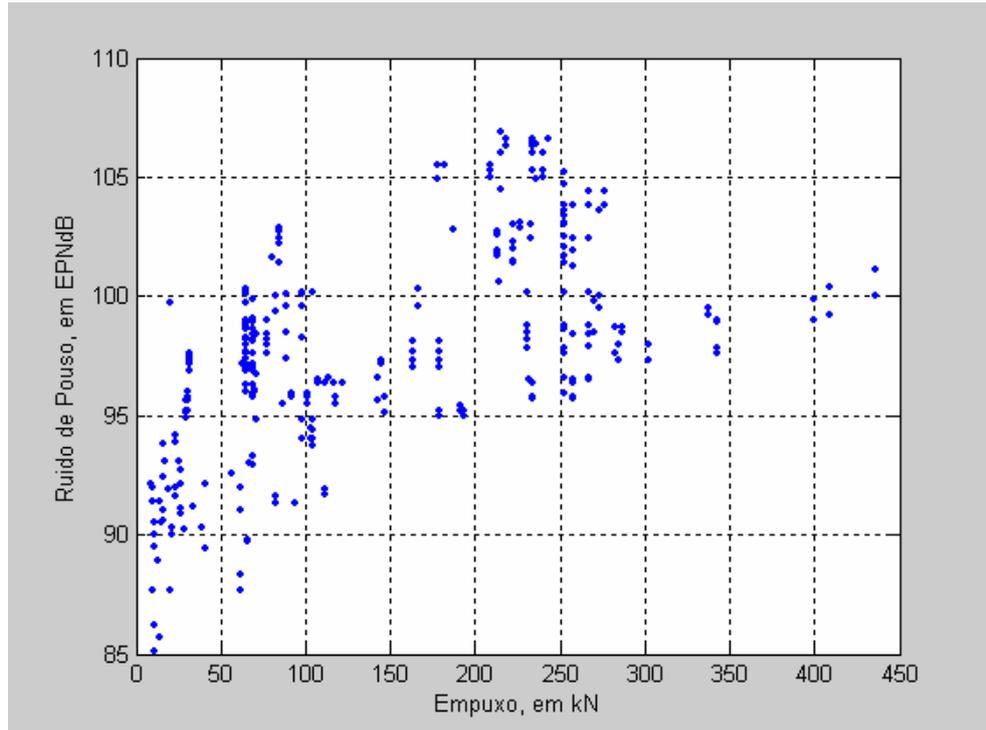


Figura 9 – Empuxo x Ruído em operações de pouso

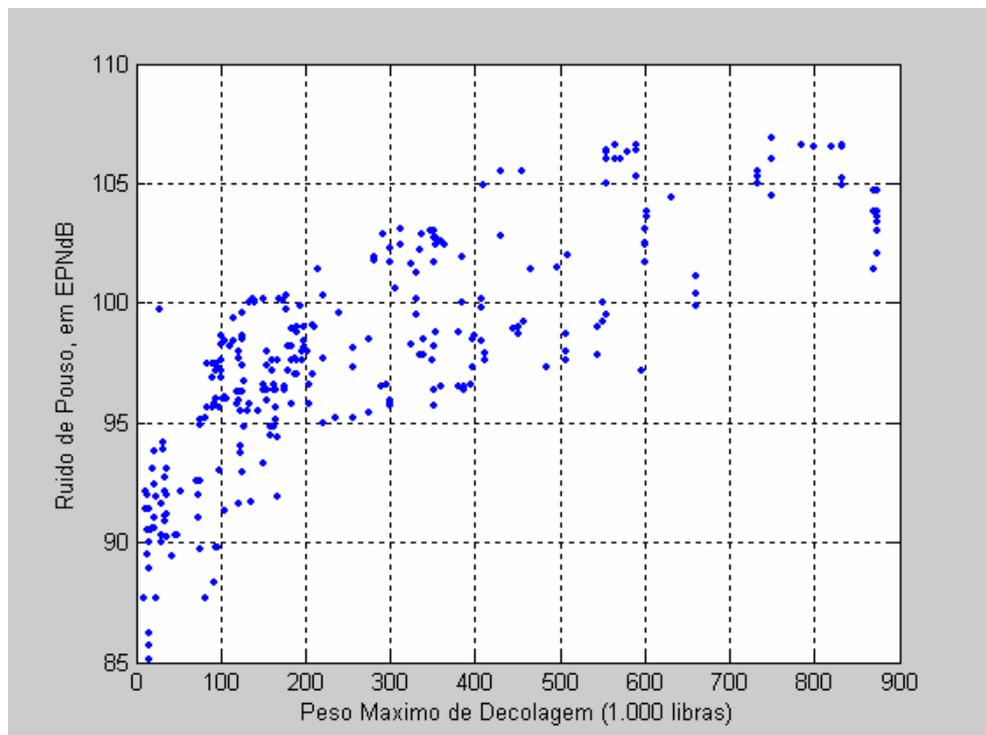


Figura 10 – Peso máximo de decolagem x Ruído em operações de pouso

Como pode ser observado nas Figuras 7, 8, 9 e 10, os ruídos medidos nas operações de pouso e decolagem geralmente podem ser explicados pelas variáveis empuxo e peso máximo de decolagem da aeronave. Essa relação é demonstrada pelo tipo de aglomeração dos pontos. Contudo, há casos em que essas variáveis, individualmente, parecem não explicar adequadamente o ruído em ambas as operações.

Para se obter uma medida mais representativa de ruído causado pelas aeronaves, considerou-se, simultaneamente, as variáveis empuxo e peso máximo de decolagem e seu impacto sobre o ruído total. Para a obtenção do valor do ruído total, adotou-se o critério de soma dos níveis de pressão sonora medidos para as operações de pouso e decolagem.

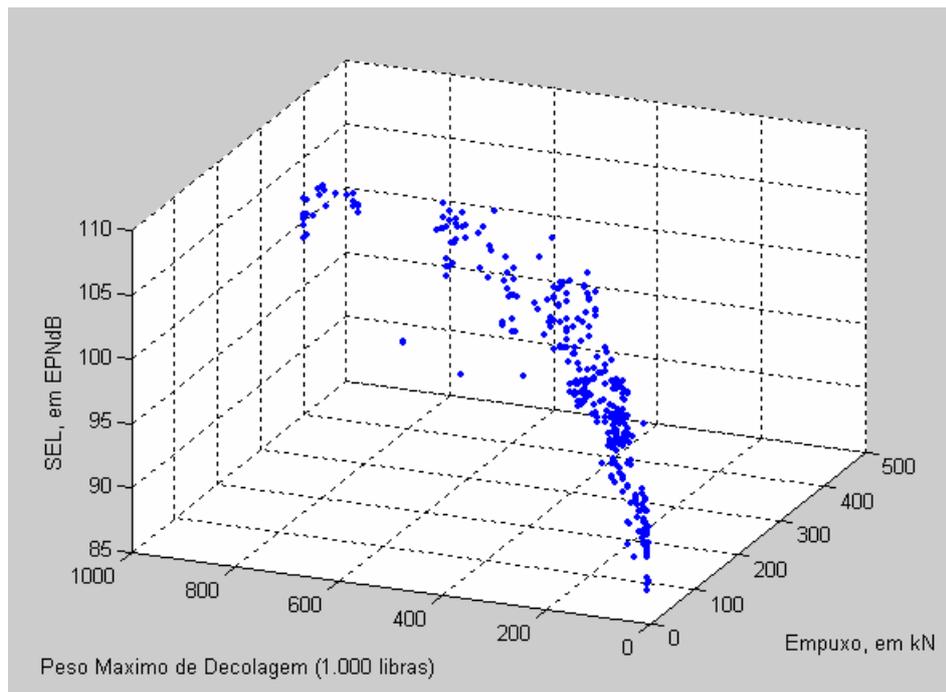


Figura 11 – Empuxo x peso máximo de decolagem da aeronave x SEL

A associação das variáveis empuxo e peso máximo de decolagem explica de forma mais eficiente o nível de ruído medido nas operações de pouso e decolagem, estes últimos

considerados simultaneamente por meio de soma logarítmica dos valores individuais de ruído, por tipo de operação (SEL).

Atualmente, três grandes empresas produzem a maior parte dos motores aeronáuticos utilizados pelos principais fabricantes de aeronaves: a CFM, formada pela Snecma, da França, e a GE Aviation, dos Estados Unidos; a Pratt & Whitney, americana, e a inglesa Rolls Royce.

A CFM produz diversos modelos de motor CFM56 que são utilizados tanto pela Boeing como pela Airbus. A taxa de derivação desses motores chega a 6.6. A Pratt & Whitney é uma grande empresa americana fabricante dos motores PW e JT. A empresa tem modificado seus projetos para permitir, por exemplo, adaptar um motor JT8D-200, com projeto de 1964, às restrições para homologação de uma aeronave Capítulo 4, de acordo com as classificações da ICAO. Já a Rolls Royce também tem investido em motores mais silenciosos e divulga uma meta de redução de até 10 dBs até 2020. A Figura 12 mostra uma fotografia de um motor CFM56-2:

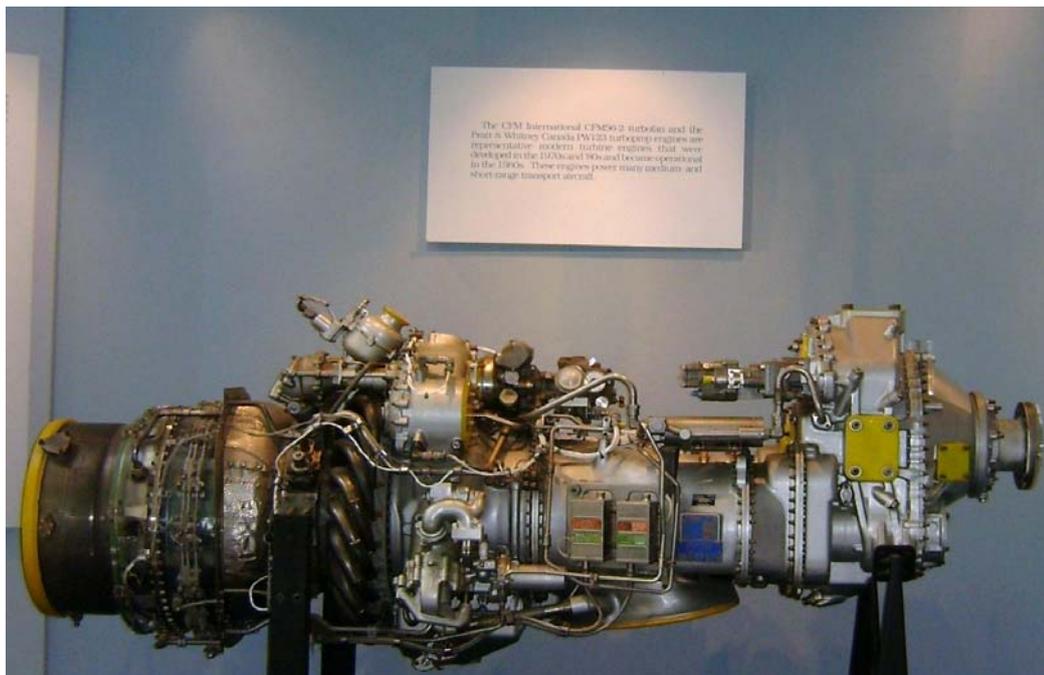


Figura 12 – Motor CFM56-2

3.4.2 Classificação de aeronaves com relação ao ruído

Com o objetivo de definir uma categorização para as aeronaves, a ICAO (*International Civil Aviation Organization*) estabelece, no Volume I do Anexo 16 à Convenção de Chicago, uma classificação que considera o ruído emitido, por aeronave, conforme demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Classificação das aeronaves, por ruído emitido, segundo o Anexo 16 da ICAO

CLASSIFICAÇÃO ²	CARACTERÍSTICA DA AERONAVE
Não Certificadas	São aeronaves fabricadas nas décadas de 50 e 60, geralmente equipadas com a primeira geração de motores, também chamados de jatos puros. São consideradas altamente ruidosas. Ex.: B707, DC08, Caravelle, Concorde, entre outras.
Capítulo 2	São aeronaves subsônicas, com certificado de aeronavegabilidade do protótipo aceito antes de 6 de outubro de 1977 e geralmente são equipadas com a segunda geração de motores a reação sendo, portanto, consideradas medianamente ruidosas. Ex.: B-727-200, B-737-200 ADV, B-747-100, DC-09, entre outras.
Capítulo 3	São aeronaves subsônicas, com certificado de aeronavegabilidade do protótipo aceito após 6 de outubro de 1977; aeronaves a hélice com mais de 5700 kg, com certificado de aeronavegabilidade aceito entre 1 de janeiro de 1985 e 17 de novembro de 1988; e aeronaves a hélice com mais de 9000 kg, com certificado aceito depois de 17 de novembro de 1988. Trata-se de aeronaves mais modernas, equipadas com a terceira geração de motores a reação e consideradas pouco ruidosas. Ex.: F100, B-737-300/400/500, B-747-300, DC10/30, MD11, A340, A300, B-777, entre outras.
Capítulo 4	Criado em junho de 2001, define um padrão mais restritivo de ruído emitido. Inclui algumas aeronaves do Capítulo 3, re-certificadas, e novas aeronaves produzidas desde 01 janeiro de 2006. É a classificação mais rigorosa de emissão de ruído aplicada a aeronaves.

Fonte: ICAO, 2008.

² A ICAO ainda classifica aeronaves específicas em categorias que vão dos Capítulos 5 ao 10. Os Capítulos 2, 3 e 4, entretanto, são os que se referem à quase totalidade das aeronaves comerciais a jato, turbo-hélices acima de 5700 kg de MTOW e aeronaves subsônicas.

De forma análoga, a FAA (*Federal Aviation Administration*), órgão regulador americano, definiu critérios para classificação das aeronaves quanto ao ruído. Pelo modelo da FAA, as aeronaves são divididas em três classes, chamadas de Estágios.

Os parâmetros utilizados para essa classificação são estabelecidos pelo CFR - *Code of Federal Regulations No. 14 – Aeronautics and Space, Part 36—Noise Standards: Aircraft Type and Airworthiness Certification* e utilizam parcialmente os critérios da ICAO, já que os Estados Unidos são signatários da Convenção de Chicago. As aeronaves são classificadas em um dos três Estágios a partir de medidas de ruído, com pontos de medição definidos por Norma, para as operações de pouso, decolagem e *sideline* (medida lateral). Os pontos de medição são apresentados na Figura 11, adiante (FAA, 2003):

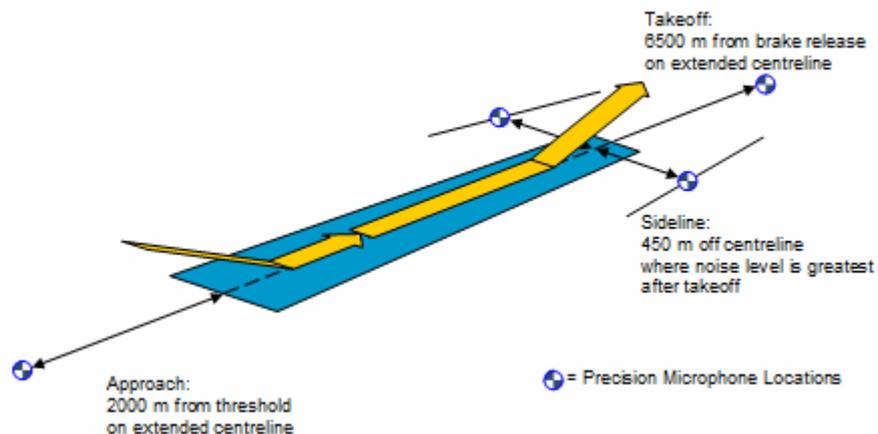


Figura 13 – Pontos de medição de ruído para fins de certificação das aeronaves

Fonte: FAA, 2003

As medições são efetuadas e as aeronaves classificadas em um dos Estágios, de acordo com os seguintes parâmetros:

a) Critério para classificação de aeronaves no Estágio 1:

Qualquer aeronave cujos níveis de ruído se apresentam maiores do que aqueles previstos no Estágio 2 são classificadas com pertencentes ao Estágio 1.

b) Critérios para classificação de aeronaves no Estágio 2:

Decolagem:

108 EPNdB para peso máximo de 600.000 libras ou mais. Para cada vez que for possível reduzir o peso máximo pela metade, a partir de 600.000 libras, reduz-se o limite em 5 EPNdB ($600:2=300$; $300:2=150$ e $150:2=75$ representam 3 reduções pela metade do limite de 600.000 libras. Nesse caso, 3 vezes 5 EPNdB = 15 EPNdB). O limite final é 93 EPNdB (108 EPNdB – 15 EPNdB) para peso máximo de 75.000 libras ou menos.

Lateral (*sideline*) e pouso:

108 EPNdB para peso máximo de 600.000 libras ou mais. Para cada vez que for possível reduzir o peso máximo pela metade, a partir de 600.000 libras, reduzir o limite em 2 EPNdB. O limite final é 102 EPNdB para peso máximo de 75.000 libras ou menos.

c) Critérios para classificação de aeronaves no Estágio 3

Decolagem:

para aviões com mais de 3 motores:

106 EPNdB para peso de 850.000 libras ou mais. Para cada vez que for possível reduzir o peso máximo pela metade, a partir de 850.000 libras, reduz-se o limite em 4 EPNdB. O limite é 89 EPNdB para um peso máximo de 44.673 libras ou menos;

para aviões com 3 motores:

104 EPNdB para peso máximo de 850.000 libras ou mais. Para cada vez que for possível reduzir o peso máximo pela metade, a partir de 850.000 libras, reduzir o limite em 4 EPNdB; o limite é 89 EPNdB para um peso máximo de 63.177 libras ou menos;

para aviões com menos de 3 motores:

101 EPNdB para peso máximo de 850.000 libras ou mais. Para cada vez que for possível reduzir o peso máximo pela metade, a partir de 850.000 libras, reduzir o limite em 4 EPNdB; o limite é 89 EPNdB para um peso máximo de 106.250 libras ou menos.

Lateral (*sideline*):

103 EPNdB para peso máximo de 882.000 libras ou mais. Para cada vez que for possível reduzir o peso máximo pela metade, a partir de 882.000 libras, reduzir o limite em 2,56 EPNdB; o limite é 94 EPNdB para um peso máximo de 77.200 libras ou menos.

Pouso:

105 EPNdB para peso máximo de 617.300 libras ou mais. Para cada vez que for possível reduzir o peso máximo pela metade, a partir de 882.000 libras, reduzir o limite em 2,33 EPNdB; o limite é 98 EPNdB para um peso máximo de 77.200 libras ou menos.

Embora as autoridades aeronáuticas dos diversos países do mundo possam definir outros critérios para classificação das aeronaves quanto ao ruído emitido, de acordo com suas necessidades e particularidades, em geral são utilizados os parâmetros definidos pela ICAO. As classificações da ICAO e da FAA seguem linhas gerais similares. Assim sendo, pode-se observar algumas correspondências, como por exemplo, quanto às aeronaves mais modernas

que pertencem ao Estágio 3, de acordo com a FAA ou aos Capítulos 3 ou 4, de acordo com a ICAO. No entanto, não há relação de identidade entre um Estágio e um Capítulo, o que não permite definir uma correspondência direta entre as classificações feitas pelas duas Agências, para todas as aeronaves.

A classificação dos motores aeronáuticos por gerações também tem caráter fortemente qualitativo. Por esta razão, não é possível definir uma regra geral que relacione as gerações de motores às demais classificações. De qualquer forma, essa classificação, seja pelo modelo da ICAO ou da FAA, auxilia a definição de restrições de operação de certos modelos de aeronaves, mais ruidosas, de maneira uniforme entre países diferentes. Por exemplo, salvo algumas exceções, as aeronaves classificadas como Capítulo 2 pela ICAO, não operam em território europeu desde 2002.

De modo geral, as métricas utilizadas na avaliação de ruído têm procurado, por meio de ajustes computacionais, capturar a interferência das características físicas do ser humano na percepção do ruído. Dessa forma, é aceito que o ruído emitido, sob a forma de ondas mecânicas, atinge o aparelho auditivo e seu sinal é transmitido ao cérebro humano. Então o ruído emitido não é, necessariamente, o mesmo ruído que as pessoas percebem. Mais recentemente, tem-se estudado a interferência de características sociais e psicológicas das pessoas na percepção do desconforto causado pelo ruído. Alguns estudos comprovam que a percepção do incômodo tem caráter fortemente subjetivo, podendo ser afetada pela idade, sexo e condição sócio-econômica do receptor, entre outras razões. Os impactos do ruído sobre os indivíduos, bem como a subjetividade como fator determinante na percepção do incômodo, são apresentados a seguir.

3.5 Ruído e seus Efeitos Sobre as Pessoas

O ruído é um som que causa algum tipo de desconforto ao observador. Esse conceito é relevante, pois o som que incomoda uma pessoa pode não incomodar outra, ou pelo menos não da mesma maneira, reforçando o seu caráter inerentemente subjetivo.

A maior parte da população mundial está submetida ao impacto do ruído urbano. Uma consequência importante da exposição de uma pessoa ao ruído é a possibilidade de danos à saúde. Esses danos estão relacionados ao tempo de exposição e ao nível de ruído percebido. De modo geral, existem evidências registradas em pesquisas internacionais que apontam, principalmente, os seguintes sintomas: quadros de insônia, irritabilidade, hipertensão e mesmo perdas auditivas parciais ou totais, reversíveis ou não (LAMBERT, 2000; COHEN et al., 1980; MIEDEMA e OUDSHOORN, 2001). Há aparente consenso sobre o efeito danoso do ruído sobre a capacidade auditiva das pessoas, uma vez que tal impacto é provocado principalmente pela incidência da onda sonora sobre o aparelho auditivo e, por esta razão, não está relacionado a percepções subjetivas e sim a danos físicos diretos. No entanto, de acordo com pesquisa realizada na década de 90 na Finlândia (HEINONEN-GUZEJEV et al., 2000), o nível de sensibilidade das pessoas não está diretamente relacionado ao ruído ao qual essa pessoa está exposta. A percepção humana do desconforto provocado pelo ruído é influenciada por atributos pessoais, tais como sexo, idade e classe social (ROGERSON, 1995) e a aceitação de seu caráter subjetivo é relevante para que se possa buscar mais precisão nos estudos do custo gerado pelo impacto sonoro sobre os indivíduos.

3.6 Subjetividade

Apesar das queixas relacionadas ao ruído aeronáutico serem registradas desde a década de 50, observa-se que a percepção do incômodo causado por este impacto ambiental

parece ter aumentado, especialmente desde os anos 80. Possivelmente, parte desta mudança tem suas raízes na expansão acelerada do tráfego aéreo. Mas é necessário indicar que esse crescimento pode ser consequência da consciência ambiental e dos movimentos ambientais que conduzem a uma expectativa em relação a padrões de vida mais elevados (GARCIA et al., 1993; MOL, 2000). Ainda que seja consenso que o ruído gerado pela operação de aeronaves afeta negativamente a qualidade de vida das pessoas que vivem perto dos aeroportos, admite-se que o conceito de qualidade de vida esteja ligado a experiências individuais (JANIC, 1999). Pode-se depreender daí, que a medida do desconforto provocado pelo ruído tem fortes componentes subjetivas. Além de considerar variáveis como número de operações, horário dos vôos, condições climáticas, entre outras, a mensuração do impacto deve também avaliar fatores subjetivos como, por exemplo, consciência ambiental e padrões de qualidade de vida e bem-estar. De acordo com Lu e Morrell (2006) a preocupação com questões sociais e ambientais tem sido fator de limitação no crescimento dos aeroportos. Para Gillen (2001), as externalidades (entre elas o ruído aeronáutico) criam um problema estratégico para a administração dos aeroportos em razão das queixas dos agentes, que possuem, como já foi visto, interesses conflitantes.

O caráter subjetivo do incômodo causado pelo ruído aeronáutico dificulta sua mensuração. As medidas de mitigação devem considerar o custo imposto pelo ruído e esse custo está relacionado ao incômodo percebido. Então, para definir políticas de mitigação, é necessário conhecer as relações que definem o nível de desconforto percebido, pois, as pessoas impactadas pelo ruído são as que demandarão as medidas de controle e atenuação.

Um estudo realizado pela *School of Public Health and Community Medicine* de Sidney, na Austrália, concluiu que pessoas expostas de forma recorrente ao ruído aeronáutico são mais propensas a manifestar quadros de estresse e hipertensão (BLACK et al., 2007).

Azevedo e Lima (2002) pesquisaram a subjetividade da percepção humana em relação ao desconforto gerado pelo ruído de várias fontes. Nesse estudo foram entrevistadas 870 pessoas em Portugal e foram observadas diferenças na percepção de incômodo, para as mesmas fontes, de acordo com a idade, o sexo e a profissão dos respondentes. O estudo confirma que a própria definição de ruído pressupõe caráter subjetivo, já que, diferentemente do som, que é uma medida de intensidade física, o ruído corresponde a uma medida de desconforto.

Pesquisa desenvolvida no TNO-PG, na Holanda, em 2001, que analisou resultados de outros estudos feitos em vários países do mundo relacionando ruído medido e ruído percebido, mostra que ainda que não haja relação direta entre desconforto e nível de ruído ao qual uma pessoa está exposta, é possível modelar a distribuição do incômodo em função do nível de exposição ao ruído desde que se considere que há uma variação considerável entre as reações dos indivíduos (MIEDEMA e VOS, 2003). No artigo “*A fuzzy expert system for noise-induced sleep disturbance*”, Zaheeruddin e Jain (2006) relatam os distúrbios do sono provocado pelo ruído aeronáutico a pessoas de diversas idades. Ficou evidenciado naquele estudo que as pessoas de meia idade são mais sensíveis a esse tipo de ruído durante o sono do que as pessoas mais jovens e as mais idosas.

O Professor Jacques Lambert, Diretor de Pesquisa do *Laboratoire des Transports et Environnement du Institut National de Recherche sur les Transports et Leur Sécurité* e Presidente do Grupo de Trabalho “*Dose/Effets du Bruit*” da Comissão Européia, afirma que esses impactos podem ser maiores ou menores de acordo com a disposição fisiológica ou psicológica das pessoas (LAMBERT, 2000).

Então, o ruído afeta o ser humano por dois caminhos neurofisiológicos distintos. O primeiro ocorre pela via auditiva especificamente, com as ondas sonoras entrando pelo

pavilhão auditivo, ou orelha, e atingindo o nervo auditivo; e o segundo, por uma via neurológica indireta que ativa as respostas não auditivas ao ruído. Ainda de acordo com Lambert (2000), os efeitos do ruído podem ser agrupados em seis categorias:

a) o **desconforto psicológico** é a sensação percebida e manifestada pelas pessoas submetidas ao ruído. Esse desconforto advém das interferências nas atividades cotidianas: conversar, assistir a um programa na televisão, ouvir rádio, entre outras. Tais componentes psicológicos são complexos e representam a expressão das pessoas em relação ao incômodo. Nas pesquisas sobre desconforto acústico, as pessoas se mostram claramente mais incomodadas pelo ruído aeronáutico em relação ao ruído provocado por automóveis e trens, ainda que o nível de ruído medido seja o mesmo para todos os modos de transporte.

b) as **interferências na comunicação** geralmente ocorrem nas áreas externas: ruas ou pátios. Nas áreas internas o ruído não seria percebido de maneira mais intensa, pois seria possível fechar as janelas do lugar e, com isso, reduzir a incidência do som. Essa constatação do Prof. Lambert, válida para as regiões de clima mais ameno ou frio, é de difícil verificação no caso das regiões quentes, onde as janelas estão costumeiramente abertas, não oferecendo proteção contra o ruído. É o que acontece em grande parte do território brasileiro.

c) outro efeito do ruído são as **interferências no sono**. Considera-se que uma noite de sono calmo é condição necessária para a saúde e a qualidade de vida das pessoas. Sua função seria reduzir a fadiga física e mental. A experiência mostra que o ruído decorrente dos meios de transporte pode perturbar o sono das pessoas causando dificuldade para adormecer, sono leve, fadiga ao levantar-se pela manhã e diminuição do desempenho nas tarefas diárias.

d) o ruído é considerado um **agente de estresse** que provoca reações psicológicas, comportamentais e somáticas. A exposição ao ruído estimula o sistema endócrino,

provocando reações do mesmo tipo de outras respostas ao estresse. A exposição contínua pode desencadear um quadro crônico de problemas de saúde, notadamente cardiovasculares, principalmente para níveis de ruído superiores a 70 dB(A). Esses mesmos efeitos estão descritos no estudo “*Physiological motivational and cognitive effects of aircraft noise on children*“, de Cohen et al. (1980).

e) embora o ruído ambiental não possa ser responsável direto por **danos à saúde mental** das pessoas, pode **acelerar ou intensificar** o desenvolvimento de distúrbios mentais latentes. Abey-Wickrama et al. (1969) mostram dados que comprovavam o número maior de internações em clínicas psiquiátricas para moradores dos arredores do Aeroporto de Heathrow, comparativamente aos moradores de áreas não submetidas a ruído aeronáutico.

f) **modificações comportamentais** causadas pela exposição ao ruído incluem o hábito de manter as janelas fechadas, evitar o espaço externo das residências, como jardins e calçadas, investir em medidas de insonorização dos imóveis, entre outras.

Concluindo, o Prof. Lambert afirma que o ruído é responsável por problemas psicológicos nos indivíduos. Essas reações são mais perceptíveis naqueles que já possuem pré-disposição para o incômodo, como por exemplo, os que já apresentem comprometimento de seu estado de saúde, como é geralmente observado em pacientes dos hospitais.

É importante ressaltar que os efeitos dos impactos apresentados pelo Prof. Lambert são de difícil mensuração. O primeiro passo, fundamental, para se avaliar o custo causado pelo ruído, é conhecer as reações dos indivíduos a esse impacto. Tais reações costumam se manifestar por modificações na qualidade de vida, as quais podem ser mensuradas em termos monetários e, ainda que a medida quantitativa de percepções subjetivas não seja tarefa trivial, considere-se aqui o que foi afirmado por Richard B. Shepard: “a subjetividade pode ser

quantificada e tratada com rigor matemático pela aplicação de avançadas técnicas de inteligência computacional” (SHEPARD, 2005, pp. v). Shepard (1995, pp. vii) também afirma que: “O conceito de Lógica *Fuzzy* foi desenvolvido explicitamente para tratar a imprecisão inerente à linguagem diária que as pessoas utilizam para expressar idéias que não podem ser medidas.” Uma das ferramentas utilizadas para o cálculo matemático do valor da subjetividade é a Lógica *Fuzzy*, ou Lógica Nebulosa. Particularmente, sua utilização neste trabalho foi definida a partir de consultas a especialistas da área, como o Prof. Jules Slama, professor da Universidade Federal do Rio de Janeiro, profundo conhecedor do tema ruído, que tem utilizado a Lógica *Fuzzy* com sucesso em seus trabalhos.

4. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DO RUÍDO AERONÁUTICO

Assim como acontece para a maioria dos impactos ambientais, existem inúmeras medidas de controle e mitigação de ruído aeronáutico. De um modo geral, todas essas medidas podem ser agrupadas em duas categorias:

a) Instrumentos de Comando e Controle

São oriundos dos pressupostos da Economia Ecológica e baseados, principalmente, em regulações que atuam sobre o processo produtivo que provoca o impacto ambiental. Alguns exemplos de Instrumentos de Comando e Controle são, segundo Cunha (2007):

- Estudos de Impacto Ambiental (EIA);
- Licenciamentos;
- Zoneamentos;
- Multas e Sanções.

As medidas baseadas em instrumentos de comando e controle foram as primeiras a serem aplicadas na tentativa de controle de impactos ambientais. Geralmente são acompanhadas de fiscalização e sanção em caso de não cumprimento dos padrões estabelecidos. No caso do ruído aeronáutico, pode-se citar os Licenciamentos Ambientais dos aeroportos e as medidas de restrição de ruído na fonte, como reduções ou mesmo proibições da operação de alguns tipos de aeronaves mais ruidosas.

b) Instrumentos Econômicos

Os Instrumentos Econômicos foram criados dentro dos princípios da Economia Neoclássica e sua principal característica é descentralizar as decisões, conferindo ao agente

poluidor a flexibilidade para optar pela alternativa econômica que maximize sua eficiência.

Podem ser citados como exemplos de Instrumentos Econômicos:

- Impostos e taxas, que visam a cobrar do agente poluidor pelos danos ambientais causados pelo impacto de sua atividade;
- Subsídios que beneficiam o agente que adota medidas de redução dos impactos.

Em geral, as medidas de redução de ruído na fonte estão ligadas a avanços tecnológicos e redução do número de vôos (CARLSSON, 2000). Algumas alternativas têm sido implantadas para reduzir o desconforto produzido pelo ruído de aeronaves, como por exemplo, a alteração nos procedimentos operacionais para pouso e decolagem com o objetivo de reduzir a área sob o impacto. Já aquelas relacionadas à redução do ruído no receptor procuram afastar o receptor da fonte de ruído ou interpor barreiras entre esses agentes. Essas medidas envolvem compatibilização entre o Zoneamento Municipal e as restrições impostas pela presença de um aeroporto e são de difícil implantação, uma vez que seu cumprimento depende de inúmeros fatores, como conscientização da população e fiscalização por parte dos órgãos públicos. A ICAO e a FAA recomendam o controle de uso do solo, por meio de leis de zoneamento urbano compatíveis com as curvas de ruído. O objetivo é evitar que o ruído incida sobre as áreas mais povoadas. Deve-se ressaltar que a dinâmica de ocupação do solo é fortemente influenciada pelas condições sócio-econômicas do município. A Tabela 6 apresenta algumas medidas de mitigação de ruído propostas pela FAA (*Federal Aviation Administration*), que são indicadas a partir da causa do problema.

Tabela 6 – Medidas de mitigação de acordo com a origem do problema de ruído

	ALTERNATIVAS SUGERIDAS	ORIGEM DO PROBLEMA DE RUÍDO						
		TAXI	DECOLAGEM	APROXIMAÇÃO	CORRIDA APOS O POUO	VÔOS DE TREINAMENTO	MANUTENÇÃO	EQUIP. DE SOLO
PLANO DIRETOR	Mudanças na localização, extensão e resistência das pistas	•	•	•	•	•		
	Cabeceiras deslocadas			•		•		
	Saídas de pista de alta velocidade	•			•			
	Re-alocação de terminais	•					•	•
	Isolação acústica nas áreas de teste de manutenção ou emprego de bancos de ensaio de motores com supressores de ruído ou barreiras acústicas	•					•	•
ESTRATÉGIAS DE USO DO AEROPORTO E DO ESPAÇO AÉREO	Utilização preferencial ou alternativa das pistas de pouso	•	•	•	•	•		
	Utilização de trajetórias preferenciais ou procedimentos modificados para decolagem ou aproximação		•	•		•		
	Restrições dos movimentos no solo(*)	•						
	Restrições de testes de motores ou de equipamentos no solo						•	•
	Limitações do número e tipo de operações de certos tipos de aeronaves	•	•	•	•	•	•	•
	Restrições de uso, reprogramação de vôos, deslocamentos de vôos para outros aeroportos	•	•	•	•	•	•	•
	Aumentar o ângulo de aproximação ou a distância do ponto de toque(*)			•		•		
OPERAÇÃO	Redução de potência e remanejamento no uso de <i>flaps</i> (*)		•	•		•		
	Uso limitado do fluxo reverso(*)				•			
OCUPAÇÃO DO SOLO	Aquisição ou arrendamento de terras(*)	•	•	•	•	•	•	•
	Loteamento de propriedades do aeroporto	•	•	•	•	•	•	•
	Zoneamento visando uma utilização compatível	•	•	•	•	•	•	•
	Estabelecimento requisitos de construção e de isolação acústica dos edifícios	•	•	•	•	•	•	•
	Informação sobre a localização de curvas de ruído nas propriedades		•	•	•	•	•	•
	Garantia de compra		•	•	•	•	•	•
PROGRAMA DE GERENCIAMENTO DE RUÍDO	Tarifas de aterragem proporcionam ao ruído	•	•	•	•	•		
	Monitoração do ruído		•	•		•	•	
	Estabelecimento de mecanismos de reclamação para o público	•	•	•	•	•	•	•
	Estabelecimento de um programa visando à participação da sociedade local	•	•	•	•	•	•	•

(*) Exemplos de restrições que envolvem responsabilidades da FAA para garantia da segurança. Essas restrições não devem ser implementadas diretamente pelo Aeroporto.

A dinâmica da ocupação do solo é complexa e é comum observar-se a ocupação ilegal ou clandestina de algumas áreas, principalmente as mais degradadas e com baixo valor imobiliário, geralmente procuradas por famílias mais carentes. Tais ocupações se dão fora dos parâmetros da Lei de Zoneamento e a população é prejudicada pelo ruído aeronáutico.

De acordo com Ronaldo Seroa da Mota (IPEA, 1996), a utilização de Instrumentos Econômicos, que atendem ao princípio do poluidor-pagador e atuam como gerador de receita, está disseminada nos países desenvolvidos, sendo cada vez mais aplicada na América Latina e no Caribe. Sua eficiência é melhorada quando utilizada em conjunto com Instrumentos de Comando e Controle. As Tarifas de Ruído são exemplos de Instrumentos Econômicos.

4.1 Custo Externo

Pindyck e Rubinfeld (2006) afirmam que os requisitos para a existência de mercados competitivos não se sustentam por si mesmos, sendo necessário assegurar-se que as chamadas “falhas de mercado” sejam tratadas. As falhas impedem o mercado de atingir a eficiência e são decorrentes de quatro situações básicas: poder de mercado, informações incompletas, externalidades e bens públicos. Os aeroportos podem apresentar, pelo menos, dois tipos de falhas de mercado: o poder de mercado, decorrente da condição de monopolista do aeroporto, é caracterizado pela prática de preços superiores ao custo marginal; e as externalidades, que podem ser representadas pelos impactos ambientais. Considerando que a atividade aeroportuária está sob regulação, adota-se, neste trabalho, a hipótese de que o poder de mercado foi tratado por mecanismos de controle de preços e essa falha de mercado não é relevante. No entanto, a ineficiência permanece em virtude da presença de outras falhas de mercado, como as externalidades. Este trabalho propõe um mecanismo de tratamento para um tipo de externalidade, a tarifa de ruído, e sua aplicação visa a melhorar as condições de eficiência do mercado do transporte aéreo.

O ruído aeronáutico afeta negativamente o bem-estar das pessoas que residem em áreas próximas aos aeroportos. Os efeitos do ruído sobre essas pessoas são chamados externalidades econômicas. De acordo com Nicholson (1985), externalidades acontecem quando a atividade de um agente econômico produz efeitos, neste caso específico, custos, nas atividades de outros e esses efeitos não são visíveis para o mercado. Como esses custos são externos ao mercado, eles são chamados de *custos externos* ou externalidades.

Como se verifica na Figura 14, quando ocorre uma externalidade, o Custo Marginal Social (custo total da produção, incluindo o custo externo) é maior do que o Custo Marginal Privado (custo pago pela empresa), afastando o mercado da eficiência. A condição de eficiência foi enunciada por Pareto³, e pressupõe a igualdade entre o Custo Marginal Social e o Benefício Marginal Social como representativa da otimalidade na alocação de recursos. Sob esta condição, os recursos são alocados de forma que, para que um agente econômico aumente seu bem-estar, outro agente terá que perder (PINDYCK e RUBINFELD, 2006).

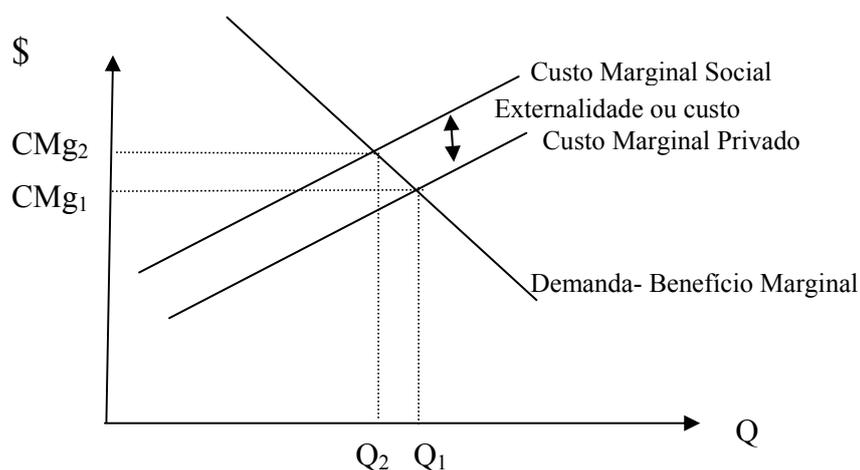


Figura 14 – Efeito da externalidade na quantidade produzida

Fonte: Pindyck e Rubinfeld, 2006

³ Vilfredo Pareto, economista italiano que viveu no século XIX.

A Figura 14 mostra o efeito de um tipo específico de falha de mercado: a externalidade. Pode-se afirmar que a internalização desse custo externo melhora a condição de eficiência do mercado. No caso específico do ruído aeronáutico, os moradores da área de entorno dos aeroportos são prejudicados em razão dos custos associados à ocorrência do ruído (ELLER et al., 2004; ELLER e MARUJO, 2007). Para melhorar a eficiência do mercado, o agente regulador, no caso o próprio governo, deve impor medidas de internalização desse custo externo. De acordo com o *Macmillan Dictionary of Modern Economics* (1992), a internalização de um custo externo pode se dar pela imposição de uma Taxa Pigouviana de valor igual ao valor do custo externo.

Ainda que o dicionário mencione a cobrança de uma *taxa pigouviana*, no caso aquela definida por Arthur Cecil Pigou no início do século XX como forma de internalização de custos externos, a rigor deve-se considerar que no sentido estrito da legislação, “taxa” é um tributo estabelecido pela Constituição Federal Brasileira (artigo 145), pago por um **serviço público prestado ou colocado à disposição** das pessoas pela Administração Direta. Não é essencial que o serviço seja consumido. Este não é o caso do instrumento econômico adequado para a internalização do prejuízo causado pelo ruído aeronáutico. Nesse caso, é mais apropriada a utilização do conceito de “tarifa”, tributo devido como contrapartida a um serviço público prestado por empresas públicas ou sociedades de economia mista ou, ainda, empresas particulares, por delegação do Estado. De fato, a principal diferença entre taxa e tarifa é que no caso da segunda, deve haver obrigatoriamente a relação de consumo para que haja a cobrança, diferentemente da primeira, quando o Estado age de forma unilateral.

Para que o mercado atinja uma condição próxima da otimalidade, é necessário medir da forma mais precisa possível, o valor do custo externo e, em segundo lugar, adotar-se uma forma de internalização eficaz.

4.1.1 Tarifas de ruído aeronáutico

O ruído causa efeitos negativos sobre a saúde das pessoas. Por esta razão, em vários países, a administração dos aeroportos tem aplicado diferentes tipos de medidas de mitigação de ruído aeronáutico que vão desde procedimentos de redução de ruído nas operações de pouso e decolagem até a definição de limites no total de ruído permitido. Entre essas medidas também estão a restrição a vôos noturnos e as tarifas de ruído.

De acordo com os princípios microeconômicos, a aplicação de tarifas de ruído é um instrumento de internalização de custo externo, dado seu papel de:

a) instrumento de desestímulo do agente poluidor

Nesse caso, o agente poluidor é a companhia aérea, que pode optar por usar aeronaves menos ruidosas para reduzir os custos com tarifas.

b) provedor de recursos

Tais recursos visam ao custeio do monitoramento dos níveis de ruído, pesquisas sobre o assunto e, também, a implantação de medidas de mitigação dos efeitos do ruído provocado pelos aviões. As medidas de mitigação podem ter a forma de colocação de barreiras acústicas ou procedimentos de insonorização dos imóveis situados em área de impacto, entre outras.

Segundo a ICAO, o número de aeroportos que aplicam tarifa de ruído é relativamente pequeno, sendo sua aplicação recomendada apenas nos casos de aeroportos que, efetivamente, apresentam problemas de ruído. Observa-se, no entanto, que ops aeroportos que praticam essa tarifa costumam estar entre os maiores do mundo. Tais tarifas devem ser projetadas para cobrir apenas o custo de medidas de mitigação e de prevenção, conforme estabelecido no Doc

9082, *ICAO's Policies on Charges for Airports and Air Navigation Services* (ICAO, 2004).

Por esta razão, as tarifas de ruído não devem representar fonte de lucro para o aeroporto.

Ainda de acordo com a ICAO, as tarifas de ruído devem ser associadas às tarifas de pouso, sob a forma de sobre-tarifa ou descontos e devem considerar o nível de ruído emitido pela aeronave de acordo com sua classificação no Anexo 16. A ICAO não determina um método específico de geração de tarifas, mas sugere a utilização dos valores medidos pelo *Effective Perceived Noise Level* (EPNL) como parâmetro de percepção de ruído.

A aplicação das tarifas de ruído está disseminada como instrumento de redução do ruído aeronáutico em diversos aeroportos do mundo. Em 1999, apenas 10 países da União Européia aplicavam tarifas de ruído (LU e MORRELL, 2006). No ano de 2007, quase todos os 27 países já praticavam esse tipo de tarifa, como observa-se na Tabela 7.

Tabela 7 - Número de aeroportos do mundo que aplicam tarifa de ruído

País	Número de Aeroportos	País	Número de Aeroportos
Alemanha	25	Hungria	01
Austrália	03	Ilhas Reunião*	01
Áustria	02	Japão	05
Bélgica	03	Luxemburgo	01
Canadá	01	Martinica	01
Coréia do Sul	01	Noruega	02
Croácia	01	Nova Caledônia**	01
Chipre	01	Polinésia Francesa	01
Escócia	02	Polônia	01
Espanha	01	Reino Unido	12
Estados Unidos	07	Republica Checa	01
Finlândia	01	Suécia	07
França	17	Suíça	06
Guadalupe	01	Suíça-França	01
Guiana Francesa	01	Taiwan	04
Holanda	03		

Fonte: Boeing, 2008

*As Ilhas Reunião são um Departamento Francês, com *status* de região administrativa (como a Guiana Francesa). Possuem área de 2.510 km² e situam-se no Oceano Índico, a 800 quilômetros a leste de Madagascar.

** Nova Caledônia é um arquipélago da Oceania, anexado à França e situado a 1.500 km a leste da Austrália.

A sofisticação ou mudanças na determinação dos parâmetros e de escalas a serem utilizados varia de acordo com as circunstâncias e a gravidade do problema do ruído.

Após análise das metodologias aplicadas para cálculo das tarifas divulgadas pela *Boeing Company*, observou-se grande diversidade de critérios e parâmetros. Foi possível, no entanto, observar algumas características comuns, para um número expressivo de casos:

a) a utilização do peso máximo de decolagem da aeronave para definir o valor da tarifa de ruído; e

b) a associação do valor final da tarifa à tarifa de pouso, de forma coerente com a recomendação da ICAO.

Outra característica comum é a sobretaxa, apresentada de forma explícita, para as operações em horário de pico ou noturno. Em outros casos, as tarifas de pouso e decolagem costumam ser mais elevadas nos horários de pico e noturno sem, no entanto, fazer qualquer referência ao ruído. O Anexo 1 a este trabalho mostra detalhes dos cálculos das tarifas para importantes aeroportos do mundo.

Em relatório publicado em 2003 sob o título *Airport Charges in Europe*, o *Airports Council International* (ACI-EUROPE, 2003) apresenta informações sobre a forma de aplicação, itens cobertos e regulação das tarifas aeroportuárias para os aeroportos operados por seus filiados, os quais representam 569 membros, com mais de 1.600 aeroportos no continente europeu. Entre todos os operadores relacionados naquele trabalho, apenas a AENA, operadora de 47 aeroportos na Espanha e os operadores dos Aeroportos Athens International Airport (Grécia), Zurich Airport (Suíça) e Manchester Airport (Reino Unido) informam que parte de suas tarifas de pouso é destinada para medidas de controle e mitigação de ruído aeronáutico, o que mostra inconsistência com os dados da Boeing. Cabe, no entanto,

ressaltar que esses dados são obtidos por informação voluntária da administração dos diversos aeroportos, o que poderia explicar as divergências. Ainda assim, o número de aeroportos que reportam a aplicação das tarifas de ruído é significativo.

Considerando os efeitos comprovadamente danosos do ruído aeronáutico sobre a população que reside nas áreas próximas aos aeroportos, as tarifas de ruído mostram-se como recurso de mitigação desse tipo de impacto ambiental. Embora esse instrumento econômico esteja disseminado em grande parte dos aeroportos mais importantes do mundo, nenhum aeroporto brasileiro utiliza esse instrumento de controle de ruído aeronáutico, mesmo considerando as queixas da população.

Apesar das diferentes metodologias estudadas para os casos em que havia informações disponíveis, não se observou a aplicação de variável de percepção da população em relação ao incômodo sofrido. Considerando-se que a reação das pessoas ao desconforto causado pelo ruído define o comportamento do mercado frente a esse custo externo, determinando, em última análise, sua medida, a ausência de uma variável de caráter subjetivo não permite que o valor da tarifa seja eficiente, do ponto de vista econômico, pois o valor cobrado não representa efetivamente o custo do ruído para a sociedade.

5. LÓGICA FUZZY

Partindo do princípio que há subjetividade e, por conseqüência, incerteza, no entendimento humano a respeito de alguns assuntos, McNeill e Thro (1994) afirmam que um tratamento de incertezas é recomendável em cinco tipos de situações:

- ✓ sistemas complexos que tornam difícil ou impossível a modelagem;
- ✓ sistemas controlados por conhecimento humano;
- ✓ sistemas com *inputs* e *outputs* contínuos e complexos;
- ✓ sistemas que usam a observação humana como *input* ou como base para as regras;
- ✓ sistemas que são naturalmente vagos, tais como aqueles encontrados nas ciências sociais e comportamentais.

O tema abordado nesta pesquisa é consistente com as características dos sistemas que, dada sua complexidade, apresentam dificuldades para a modelagem e, também, com aqueles relacionados às ciências sociais. Para tratamento dessas características que envolvem incerteza e subjetividade, utiliza-se, neste trabalho, a Lógica *Fuzzy*.

O conceito de Lógica *Fuzzy*, também chamada de Lógica Difusa ou Lógica Nebulosa⁴, foi desenvolvido pelo engenheiro elétrico Lotfi A. Zadeh, que iniciou seus trabalhos no desenvolvimento da dinâmica *fuzzy* em 1965, sendo reconhecido mundialmente por seus estudos nessa área. Mendel (1995, pp. 346) afirma que:

In general, a Fuzzy Logic System (FLS) is a nonlinear mapping of an input data (feature) vector into a scalar output (the vector output case decomposes into a collection of independent multi-input/single output systems).

⁴ Os termos Lógica *Fuzzy*, Lógica Nebulosa e, ainda, Lógica Difusa são utilizados neste trabalho indistintamente.

Pode-se encontrar em Klir e Yuan (1996) que uma série nebulosa pode ser descrita de maneira que $X = \{x\}$ represente um espaço de pontos (objetos) com x evidenciando um elemento genérico de X . Tem-se, então, que uma série nebulosa A em X é uma série de pares ordenados, tais que:

$$A = \{[x, \mu(x)]\} \quad \text{para } x \in X \quad (13)$$

onde $A(x)$ é chamado o grau de pertinência de x em A . Neste caso, se $A(x)$ assume valores no espaço M , chamado de espaço de pertinência, então A é uma função de X para M . A função $A: X \rightarrow M$, que define A , é chamada função de pertinência de A . Quando M contém apenas dois pontos, 0 e 1, A não apresenta características de incerteza e os objetos x são chamados de valores *crisp*. Neste caso sua função fica reduzida a uma função de característica convencional, de forma binária.

Em outros casos, a série nebulosa A em X está em uma classe sem limites rigidamente definidos, isto é, uma classe na qual o ponto (objeto) x pode ter um grau de pertinência intermediário entre completamente pertinente (1) e completamente não pertinente (0). Pode-se, então, atribuir graus de pertinência intermediários para cada x , assumindo simplesmente que M é o intervalo $[0, 1]$. No intervalo, os objetos podem pertencer mais ou menos ao conjunto X . Dessa forma, utilizando os graus de pertinência, torna-se possível quantificar variáveis lingüísticas como, *extremo* ou *forte*, por exemplo, estabelecendo gradações que “reforçam” ou “enfraquecem” esses termos lingüísticos.

5.1 Sistemas Nebulosos

Um sistema nebuloso é baseado em regras que permitem inferir a respeito de um determinado problema. Um dos procedimentos de inferência utilizados é o Modus Ponens que tem a seguinte regra:

SE x é A ENTÃO y é B

ou SE <premissa> ENTÃO <conclusão>. Para a criação de um sistema nebuloso são necessários os seguintes elementos: regras, “fuzzificador ou nebulizador”, inferência e “fuzzifzificador ou desnebulizador”⁵. A Figura 15 apresenta um esquema do modelo nebuloso.



Figura 15 - Sistema de Lógica Nebulosa

O desenvolvimento de um sistema nebuloso deve envolver seis etapas, as quais são detalhadas a seguir (OLIVEIRA JR., 2007):

5.1.1 Fuzzificação

Primeiramente, é necessário aplicar-se o fuzzificador aos conjuntos de entrada e definir os conjuntos de saída do modelo. O processo de fuzzificação consiste em transformar um dado numérico em um dado *fuzzy*. Para isso, são atribuídos graus de pertinência a valores numéricos, com o objetivo de se definir o grau de pertinência de um objeto em relação a um conjunto. Neste caso, não se trata de aplicação da lógica clássica booleana, na qual um objeto pertence ou não pertence a um conjunto. No modelo *fuzzy* os valores numéricos podem pertencer mais ou menos a um conjunto. O grau de pertinência de um par ordenado em um conjunto *fuzzy* X pode ser dado, por exemplo, por $X = 1.0/(x_1, y_1) + 0.3/(x_1, y_2) + 0.9/(x_1, y_3)$,

⁵ Alguns conceitos fundamentais de Lógica Nebulosa são apresentados no Apêndice 1.

onde os valores 1.0, 0.3 e 0.9 são, respectivamente, os graus de pertinência dos pares x_1, y_1 , x_1, y_2 e x_1, y_3 .

5.1.2 *Elaboração das regras*

Em segundo lugar, é preciso elaborar as regras que sustentarão o modelo *fuzzy* e serão a base do sistema de inferência do modelo. A regra de inferência tem a forma SE X ENTÃO Z, onde X é o antecedente e Z é o conseqüente. O termo antecedente pode ser composto de mais de um conjunto, como por exemplo, SE X e Y ENTÃO Z. Neste caso, X e Y são antecedentes (*inputs*). Os antecedentes são ligados por meio de conectivos, que podem ser AND ou OR.

5.1.3 *Cálculo dos operadores*

Nesta etapa efetua-se o cálculo dos *inputs* do modelo. Os operadores AND (chamado de t-norma) e OR (chamado de t-conorma) indicam, respectivamente, operações de intersecção e união de conjuntos

5.1.4 *Cálculo das implicações*

Os conectivos atuam como operadores de implicação e calculam as implicações de cada regra no modelo, tomando os graus de pertinência dos conjuntos *input*, operando-os e gerando um grau de pertinência para o *output*. Os operadores de implicação podem assumir diferentes formas:

5.1.4.1 *Zadeh max-min*

Este operador, criado por Lotfi Zadeh, considera os menores graus de pertinência entre os pares ordenados dos conjuntos e, a seguir, por comparação, toma o maior entre esses graus

de pertinência, ou o máximo entre os mínimos, utilizando o operador AND. É dado por:

$$\text{Max} (\min(\mu_A(x), \mu_B(y)), (1-\mu_A(x)))$$

5.1.4.2 Mamdani-min

A atuação desse operador é feita comparando os graus de pertinência dos pares ordenados dos conjuntos de entrada e, tomando sempre o menor entre eles por meio do operador lógico OR. Foi criado por E.H. Mamdani e sua representação é:

$$\text{Min}(\mu_A(x), \mu_B(y))$$

5.1.4.3 Larsen

O operador Larsen foi criado por P.M. Larsen, nos anos 80. Larsen especializou-se em aplicações *fuzzy* a processos industriais e o operador de implicação que leva seu nome atua pela multiplicação dos graus de pertinência de um par ordenado de objetos pertencentes a conjuntos *fuzzy*, utilizando o operador lógico AND. Este é o operador utilizado neste trabalho para gerar o conjunto de saída e é representado por:

$$\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)$$

5.1.4.4 Aritmético

É baseado na lógica multivalores e definido por:

$$\text{Min}(1, (1- \mu_A(x) + \mu_B(y)))$$

5.1.4.5 Booleano

É baseado na lógica clássica e tem sido utilizado em controle. Sua demonstração é:

$$\text{Max}((1 - \mu_A(x)), \mu_B(y))$$

5.1.4.6 Produto Limitado

Este operador tem sido utilizado em controle *fuzzy* e é definido por:

$$\text{Max}(0, (\mu_A(x) + \mu_B(y) - 1))$$

5.1.4.7 Produto Drástico

Sua utilização é voltada a problemas de controle. Envolve uma decisão *crisp* como forma de implicação e é dado por:

$$\begin{aligned} &\mu_A(x), \text{ se } \mu_B(y) = 1 \\ &\mu_B(x), \text{ se } \mu_A(y) = 1 \\ &0, \text{ se } \mu_A(y) < 1, \mu_B(y) < 1 \end{aligned}$$

5.1.4.8 Seqüência Padrão

Este operador possui atributos *crisp* e é dado por:

$$\begin{aligned} &1, \text{ se } \mu_A(x) \leq \mu_B(y) \\ &0, \text{ se } \mu_A(x) > \mu_B(y) \end{aligned}$$

5.1.4.9 Gougen

O operador Gougen considera uma relação de implicação *fuzzy* robusta se a função de pertinência do antecedente $\mu_A(x)$ for menor que a função de pertinência do conseqüente $\mu_B(x)$. Trata-se de uma versão mais elaborada do operador Seqüência Padrão e é formalmente definido por:

$$1, \text{ se } \mu_A(x) \leq \mu_B(y)$$

$$\mu_B(y) / \mu_A(x), \text{ se } \mu_A(x) > \mu_B(y)$$

5.1.4.10 Gödelian

Este operador é representado por:

$$1, \text{ se } \mu_A(x) \leq \mu_B(y)$$

$$\mu_B(y), \text{ se } \mu_A(x) > \mu_B(y)$$

A escolha do operador mais adequado depende do objetivo e características do modelo que está sendo desenvolvido. Em geral, observa-se que o modelo Mamdani-min costuma ser empregado e um grande número de aplicações.

5.1.5 Agregação dos conseqüentes

Em seguida, como quinta etapa, efetua-se a agregação dos conseqüentes (os valores obtidos como conclusão das regras), também por meio de operadores. Esses operadores costumam representar o sentido do ELSE apostado ao final de cada regra de um mapa de regras. Alguns exemplos de operadores são máximo e soma limitada. A agregação utiliza usualmente uma t-conorma, quando o operador de implicação é uma t-norma, e uma t-norma em caso contrário (SANDRI e CORREA, 1999).

Na agregação, os operadores geram resultados nebulosos, que precisam ser fuzzifzificados. O modelo desenvolvido por Takagi-Sugeno é uma exceção a esta regra, pois utiliza um polinômio que produz um resultado *crisp*, isto é, não há fuzzifzificação posterior. Apresenta-se, a seguir, as características dos operadores de implicação na Tabela 8 (TSOUKALAS e UHRIG, 1997):

Tabela 8 – Operadores de implicação das regras

OPERADORES		IMPLICAÇÃO
Zadeh Max-Min	AND (\wedge)	Mínimo
Mamdani Min	(OR) (\vee)	Máximo
Larsen (Produto)	(OR) (\vee)	Máximo
Aritmético	AND (\wedge)	Mínimo
Booleano	AND (\wedge)	Mínimo
Produto Limitado	(OR) (\vee)	Máximo
Produto Drástico	(OR) (\vee)	Máximo
Seqüência Padrão	AND (\wedge)	Mínimo
Gougen	AND (\wedge)	Mínimo
Gödelian	AND (\wedge)	Mínimo

Fonte: Tsoukalas e Uhrig, 1997

5.1.6 Fuzzificação

A sexta e última etapa do desenvolvimento do modelo *fuzzy* é a fuzzificação. A fuzzificação consiste em transformar resultados nebulosos em valores *crisp*. Esta etapa, necessária em todos os modelos nebulosos (exceto no modelo Takagi-Sugeno, como já foi mencionado), pode ser feita utilizando várias técnicas, sendo as mais comuns, segundo Sandri e Correa (1999):

- a) Maior dos Máximos (LOM): Encontra o valor de saída por meio do ponto em que o grau de pertinência da distribuição da ação de controle atinge o maior valor máximo;
- b) Média dos Máximos (MOM): Encontra o ponto médio entre os valores que têm o maior grau de pertinência inferido pelas regras;

c) Centro da Área ou Centróide (COA): O valor final de saída é dado pelo centro geométrico dos valores de saída *fuzzy*.

Os valores *crisp* dos conjuntos assumem graus de pertinência de acordo com uma função de pertinência *fuzzy* e essa função pode assumir formas diferentes.

5.2 Formas das funções de pertinência

A curva usada para descrever a função de pertinência, a partir da qual o grau de pertinência é definido, precisa refletir o sentido real do termo lingüístico utilizado.

Shepard (1995) mostra que o sentido semântico do conceito descrito pelo conjunto *fuzzy* é a maneira pela qual o grau de pertinência de um objeto, pertencente a um conjunto, reage às modificações na variável independente (ou universo de discurso). Então, a forma da função descreve o comportamento do grau de pertinência da variável lingüística ao longo do eixo de x. Existem quatro tipos básicos de curvas que representam as funções de pertinência.

5.2.1 Função de pertinência triangular

A função de pertinência triangular mostra uma modificação linear do grau de pertinência da variável lingüística em resposta a mudanças na variável independente. Ainda de acordo com Shepard (1995), esse modelo de função é indicado para os casos em que se necessita definir a função de pertinência a partir de um número *crisp*. Por essa razão, a função triangular é mais comumente utilizada em sistemas de controle, e não costuma ser adequada para representar situações relacionadas a impactos ambientais ou modificações do comportamento humano. A Figura 16 apresenta um modelo de função triangular.

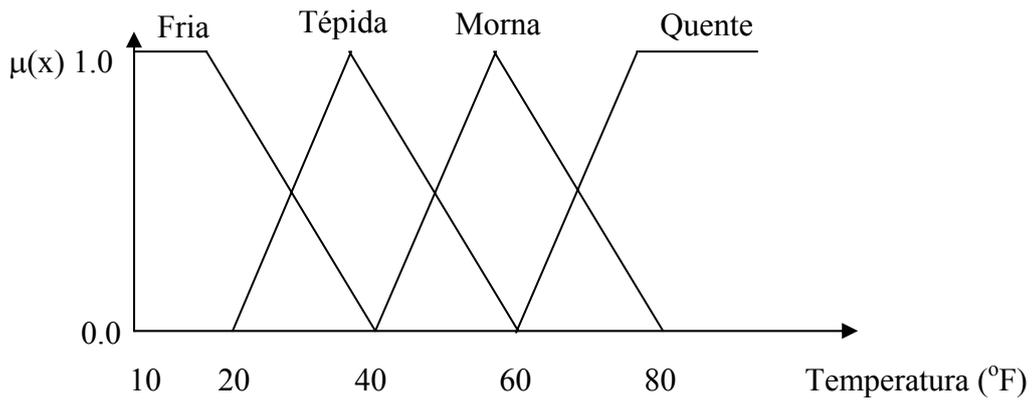


Figura 16 – Exemplo de função de pertinência triangular

5.2.2 Função de pertinência trapezoidal

As funções de pertinência trapezoidais representam um valor que aumenta linearmente o grau de pertinência entre 0.0 e 1.0 sobre uma faixa de valores que estão colocados no eixo de x . A pertinência permanece no grau 1.0 para uma parte da faixa de valores da variável independente, e então começa a decrescer novamente, de forma linear. Enquanto a função triangular trata adequadamente um número *crisp*, a função trapezoidal pode ser indicada para representar conceitos como “aceitável” ou “sustentável”, ou outras variáveis que são definidas em faixas mais largas de valores, como observa-se na Figura 17.

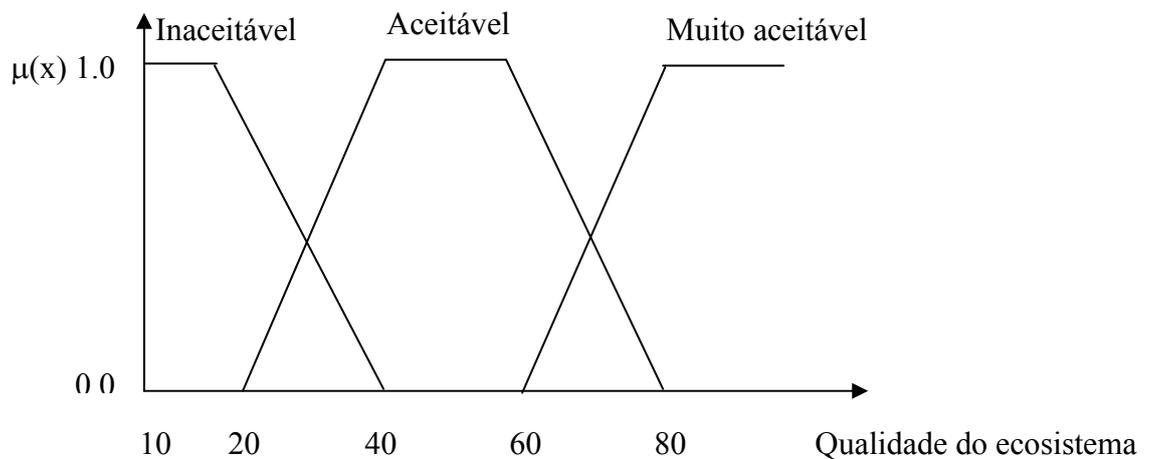


Figura 17 - Exemplo de função de pertinência trapezoidal

5.2.3 Função de pertinência sigmoidal

A função sigmoidal é extensivamente utilizada em análise de impacto ambiental (SHEPARD, 2005). A curva com esse formato permite representar variações não-lineares nos graus de pertinência, em resposta a modificações na variável independente. A vantagem de uma função sigmoidal sobre uma função triangular, por exemplo, é que a primeira possui um ponto de inflexão em cada extremo dos graus de pertinência (0.0 e 1.0). Abaixo do ponto de inflexão superior (para $\mu(x) = 1.0$), o grau de pertinência decresce rapidamente, enquanto acima do ponto de inflexão inferior (para $\mu(x) = 0.0$), o grau de pertinência aumenta vagarosamente, como mostra a Figura 18. Essa característica permite representar de forma adequada a percepção das variações das condições ambientais de acordo com o tempo, o lugar e a expectativa de qualidade (SHEPARD, 2005).

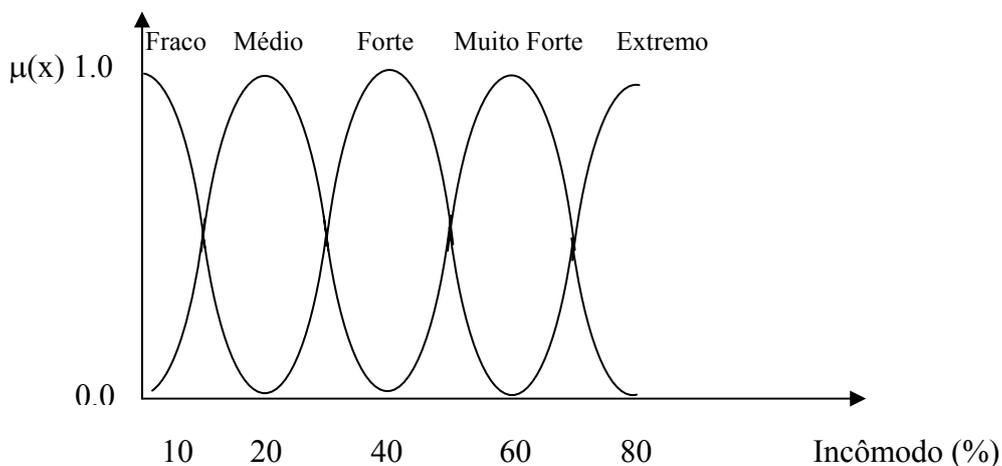


Figura 18 – Exemplo de função de pertinência sigmoidal

5.2.4 Função gaussiana

A função gaussiana apresenta uma característica de maior incerteza cuja magnitude varia com base nos valores da variável independente (universo de discurso) e também do grau de pertinência. Este comportamento reflete um aumento da incerteza em termos das variáveis

lingüísticas utilizadas no modelo, pelo aumento da largura da faixa capturada por cada curva, como se pode observar na Figura 19.

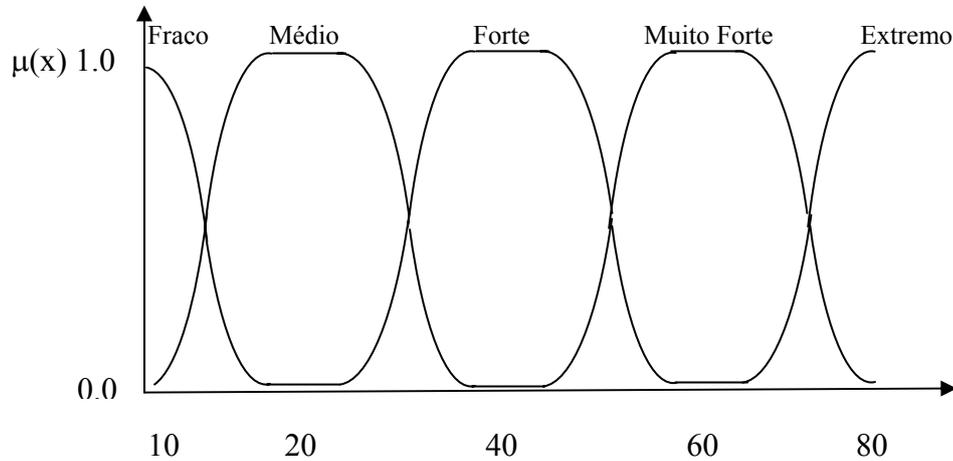


Figura 19 – Exemplo de função gaussiana

O conhecimento humano capturado em um ambiente *fuzzy* é considerado incerto, pois as palavras, expressões lingüísticas, que alimentam o modelo, podem ter significados diferentes para diferentes pessoas. O termo conseqüente – ENTÃO – pode diferir para pessoas pertencentes a um mesmo grupo, já que essas pessoas podem não concordar com o significado do termo antecedente – SE. No entanto, é possível observar que há uma referência a respeito do que seria o significado do termo DESCONFORTO, por exemplo. Por isso, Shepard (1995) considera que o caráter aleatório inerente ao conhecimento humano deve ser tratado por uma função que tenha a capacidade de manter uma idéia central e, a partir daí, considerar uma faixa de incerteza. Para esses casos, a aplicação das funções gaussianas mostra-se adequada e é utilizada neste trabalho.

No próximo capítulo são apresentadas algumas aplicações da teoria dos conjuntos nebulosos, por meio de uma revisão da literatura.

6. REVISÃO DA LITERATURA

6.1 Lógica Nebulosa

Nas últimas décadas, inúmeros modelos de características determinísticas ou estocásticas têm sido desenvolvidos para tratar questões de engenharia, de economia, e de diversos outros campos da ciência. As formulações para os problemas eram desenvolvidas utilizando-se o conhecimento objetivo, geralmente com tratamento binário. No livro *Controle e Modelagem Fuzzy*, os autores afirmam que “a lógica Aristotélica fez do atributo da bivalência um marco histórico em nossa cultura ocidental”. Entretanto, “há um considerável descompasso entre a visão bivalente e o mundo real”. Na vida real, não há apenas verdadeiro ou falso, mas muitas gradações de *verdade* (SIMÕES e SHAW, 2007).

Muitas vezes a informação lingüística é utilizada para quantificar ou medir, ou mesmo transmitir uma percepção de medida, de variáveis que são difíceis de serem medidas por outras técnicas matemáticas. A informação lingüística representa o conhecimento subjetivo. Podem ser informações lingüísticas as expressões *grande, pequeno, alto, baixo, forte, fraco*, entre inúmeras outras. Em problemas de transporte, por exemplo, é muito comum que o usuário de um sistema faça uma escolha, no seu dia-a-dia, baseado em informações lingüísticas. Como exemplo, tem-se a decisão de escolha de rota baseada na seguinte afirmação: “A via A está *muito* congestionada, então vou pela via B”. Não é necessário quantificar o congestionamento com informações sobre a velocidade média dos automóveis, ou com o comprimento, em quilômetros, da fila de carros. A informação lingüística *muito* é suficiente para o usuário tomar sua decisão que, em última análise, está baseada em critérios subjetivos. Ao resolver problemas de tráfego e transporte na vida real, utiliza-se não apenas os conhecimentos objetivos (fórmulas e equações), nem somente os conhecimentos subjetivos

(informação lingüística). A Lógica Nebulosa pode combinar os conhecimentos objetivos e subjetivos (TEODOROVIC, 1999).

Novák (2006) afirma, com relação à Lógica Fuzzy, que trata-se de

a special many-valued logic addressing the vagueness phenomenon and developing tools for its modeling via truth degrees taken from an ordered scale. It is expected to preserve properties of classical logic as possible.

O autor também sustenta que a Lógica *Fuzzy* pode ser aplicada ao desenvolvimento de processos especiais de inferência, incluindo esquemas de raciocínio humano e deve atender aos seguintes requisitos:

- a) ser aplicada a um sistema formal de maneira a ter sua aplicação bem justificada.
- b) ser um sistema aberto, de modo que seja possível estender suas aplicações utilizando novos conectivos.
- c) sua aplicação deve seguir um esquema previamente definido, respeitando técnicas e conceitos.

As aplicações de Lógica Nebulosa têm sido voltadas em grande parte para sistemas de controle. John Yen (1999) em um artigo que mostra o estado da arte das aplicações *fuzzy*, apresenta a história do desenvolvimento da Lógica Difusa, seus conceitos e perspectivas de extensão para outras áreas, além de controle e problemas industriais. O item adiante apresenta algumas dessas aplicações.

6.2 Aplicações de Lógica *Fuzzy*

Embora a Lógica Nebulosa seja aplicada, de forma mais concentrada, a problemas industriais e de controle, é possível observar que sua utilização passa por todos os campos da ciência. Assim, das ciências naturais às sociais, inúmeros estudos têm utilizado essa

ferramenta com sucesso. Por exemplo, uma pesquisa recente, apresentada no Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional, em São José dos Campos (SP), mostra um interessante trabalho de Lógica *Fuzzy* aplicado às ciências físicas, onde é feita uma análise da ionosfera (PILLAT et al., 2008).

Já em seu artigo *Fuzzy Logic systems for transportation engineering: the state of the art*, Teodorovic (1999) afirma que a lógica nebulosa é uma abordagem matemática promissora para modelar processos de tráfego e transporte caracterizados por subjetividade, ambigüidade, incerteza e imprecisão. A utilização dessa ferramenta é mostrada para tratar casos de geração e distribuição de viagens, escolha modal, escolha de rota, controle de tráfego aéreo e nível de serviço, entre outras aplicações. Em 1977, Pappis e Mamdani publicaram o primeiro artigo no qual um problema prático de tráfego e transporte foi resolvido usando lógica nebulosa.

Burlamaqui e Cheng (2002), em relatório de pesquisa realizado na Universidade de São Paulo, apresentam um modelo *fuzzy* para definição de roteiros turísticos. A preferência do turista é um dado de entrada do sistema e os resultados permitem analisar a capacidade de atratividade de uma certa localidade na escolha do turista/consumidor. Na área econômica, o artigo de Banerjee (1995) apresenta um modelo nebuloso que utiliza funções de escolha *fuzzy* e é aplicado à solução de problemas de preferência revelada e racionalidade, dois dos principais conceitos da teoria econômica. É demonstrado que a presença de pelo menos uma situação de ambigüidade é suficiente para negar a hipótese de racionalidade.

Outro estudo, cujos resultados são relevantes para este trabalho, foi desenvolvido na Bélgica, onde pesquisadores da Ghent University realizaram uma pesquisa que visava à medida da percepção de ruído com base em um modelo nebuloso que utilizou um termo lingüístico para indicar uma quantidade nebulosa (BOTTELDOOREN e VERKEYN, 2002).

A pesquisa envolveu 3.200 pessoas, as quais foram escolhidas em um processo de dois estágios. No primeiro, foi realizada uma escolha aleatória entre moradores com idade acima de 16 anos. Esses moradores foram convencidos a participar da pesquisa por meio de contato telefônico. No segundo estágio, cada morador recebeu um questionário com questões relacionadas ao objeto de estudo. Esse questionário foi elaborado de forma a atribuir graus de importância a ruídos provenientes de diferentes fontes, tais como ruído de tráfego, ruído em restaurantes, de animais de estimação, entre outros. Para cada fonte apresentada, o respondente deveria atribuir uma resposta que variava entre (*not at all*) para ausência de incômodo e (*extremely*) para incômodo mais acentuado. Além disso, outras técnicas foram utilizadas na construção do questionário, como colocação das perguntas em pontos estratégicos do mesmo. O retorno dos questionários respondidos foi da ordem de 64%.

A partir das respostas obtidas foram atribuídos graus de pertinência a cada fonte de ruído, de acordo com os valores do intervalo $M = [0, 1]$, o que permitiu quantificar o incômodo causado por cada fonte de ruído e compará-las, com o objetivo de otimizar as medidas de políticas públicas na solução desse importante problema ambiental.

Ainda com relação à questão do ruído, Zaheeruddin (2006) mostra que a diferença entre percepção e medida é que, em geral, a medida é um valor *crisp*, enquanto a percepção é *fuzzy* (apud Zadeh e From, 1999). A fundamentação para manipulação de dados de percepção foi definida por Zadeh em 1996. Zaheeruddin desenvolveu um modelo nebuloso que trata da análise da ocorrência de distúrbios do sono provocados por ruído, para pessoas de diferentes faixas etárias. Seus resultados mostram que as pessoas de idades diferentes reagem de forma diferente, quando se varia a faixa do ruído, em dB(A), e a duração dos eventos sonoros.

Assim, por exemplo, pessoas entre 15 e 40 anos e entre 50 e 75, apresentam uma probabilidade⁶ de sofrerem distúrbios do sono por causa de ruído entre 35 e 40 dB(A), com duração de até 50 segundos, “extremamente pequena” (0-0.06); já para as pessoas com idade entre 35 e 59 anos, essa probabilidade é “pequena”. Esse comportamento se repete, com as chamadas “pessoas de meia idade” reportando desconforto mais crítico para a maioria das faixas e duração dos eventos sonoros.

A diferença de percepção humana do incômodo causado pelo ruído, em diferentes horários, é apresentada no artigo *Complaints caused by aircraft operations: an assessment of annoyance by noise level and time of day* (Hume et al., 2003). Nessa pesquisa, os autores mostram uma relação entre as queixas sobre o ruído recebidas pela administração do Aeroporto de Manchester, no Reino Unido, e o número de movimentos de aeronaves ocorridos, naquele aeroporto, ao longo de um período de tempo.

O trabalho de Yeh e Chang (2009) apresenta uma nova proposta para a tomada de decisão com base em critérios múltiplos (MCDM). O estudo se aplica a alternativas de avaliação da decisão que envolvem julgamentos subjetivos feitos por um grupo de responsáveis por essas decisões. Um processo de comparação é usado para ajudar os tomadores de decisão a fazer os julgamentos comparativos. Os autores desenvolveram um método de ponderação hierárquica para avaliar os pesos de um grande número de critérios de avaliação por comparações. Para refletir a imprecisão inerente de julgamentos subjetivos, as avaliações individuais são agregadas como uma avaliação do grupo usando números triangulares. Em seguida, para a obtenção de um valor cardinal da preferência para cada alternativa da decisão, um algoritmo de MCDM é desenvolvido estendendo o conceito do

⁶ Embora o autor utilize o termo “probabilidade”, certamente não se trata de um valor estatístico, mas sim de um valor *fuzzy*, definido a partir dos graus de pertinência.

grau de otimalidade para incorporar pesos dos critérios na medida da distância. Os resultados são aplicados a um processo de escolha de aeronaves.

Para a elaboração do modelo proposto neste trabalho, foi necessário buscar outras aplicações, ainda que mais escassas, de maneira a tornar clara a viabilidade da utilização dessa ferramenta ao propósito da pesquisa.

No Capítulo 7, a seguir, é apresentada a metodologia utilizada neste trabalho para a criação de um modelo de geração de tarifa de ruído aeronáutico empregando Lógica *Fuzzy*.

7. METODOLOGIA

Para que a tarifa seja eficiente, seu valor deve corresponder, da forma mais precisa possível, ao custo externo gerado pelo ruído aeronáutico. Com o objetivo de estimar com melhor precisão o valor do custo externo, este trabalho propõe a inclusão de dois tipos de variáveis, cuja sistemática de obtenção de dados e análise são detalhadas a seguir: uma variável baseada em medições técnicas do ruído e outra variável definida com base em medida de percepção das pessoas sobre o incômodo causado pelo ruído. Esta segunda variável, que visa a capturar a subjetividade da percepção do ruído, é inédita entre as tarifas pesquisadas e praticadas em outros países e seu cálculo é feito utilizando Lógica *Fuzzy*.

7.1 Variável de medição do ruído

A primeira etapa deste trabalho foi analisar o ruído emitido pelas aeronaves, de acordo com critério técnico, que leva em consideração as medições de ruído, feitas com a utilização de ajustes computacionais que aproximam o ruído emitido daquele percebido pelo ouvido humano. Essas medidas, obviamente, não consideram o impacto dos atributos pessoais na percepção do incômodo.

Para obter-se o ruído das aeronaves utilizou-se a *Advisory Circular 36-1H* da *Federal Aviation Administration* (FAA, 2003), que é o órgão regulador do transporte aéreo nos Estados Unidos da América. Esse documento apresenta uma relação de todas as aeronaves que operam naquele país, seja por companhias aéreas americanas, seja por companhias estrangeiras. Trata-se de um documento completo, que oferece quase todas as informações necessárias ao conhecimento do ruído emitido por aeronave. Além disso, trata-se de uma fonte oficial, que apresenta os dados tomados pela FAA como suficientes para homologação das aeronaves, o que foi relevante na escolha desse documento como fonte de consulta para a

consecução desta pesquisa. A AC36-1H apresenta, além do modelo do avião, o tipo do motor e o peso máximo de decolagem. As variáveis que completam os dados de análise são os níveis de ruído medido nas operações de pouso (*Approach*), decolagem (*Take-off-flyover*) e *Sideline*, medidos em EPNdB (*Effective Perceived Noise Level.*) As medidas desses níveis de ruído são feitas pela FAA ou por órgãos por ela indicados, de acordo com normas que consideram a localização precisa dos pontos de medida, e têm o objetivo de permitir a certificação e homologação das aeronaves que operam naquele país.

As medidas de ruído de pouso e decolagem são feitas com a aeronave em sobrevôo e são importantes, pois mostram que o impacto do ruído pode atingir um grande número de pessoas que residem nas áreas vizinhas do aeroporto. Já na medida de ruído *Sideline*, a aeronave ainda está no solo, na corrida de decolagem. O ruído atinge níveis elevados, mas a aeronave não está próxima das populações da área de entorno e a propagação é atenuada pelos obstáculos do próprio solo. O ruído no interior do aeródromo afeta mais os empregados das empresas que lá trabalham e os problemas decorrentes dessa exposição podem ser atenuados com o uso de Equipamentos de Proteção Individual, os EPI's. Por esta razão, neste trabalho, esta medida não foi considerada, tomando-se como referência apenas as medidas de ruído de pouso e de decolagem.

Conforme foi demonstrado no Capítulo 3 deste trabalho, o empuxo é relevante na determinação dos níveis de ruído aeronáutico e por isso justifica-se sua inclusão nesta pesquisa. Para a obtenção do empuxo do motor das aeronaves foi necessário consultar outras fontes, principalmente os *sites* dos fabricantes das aeronaves e/ou dos motores utilizados.

Após associar os dados da AC36-1H aos de empuxo, foi possível construir uma tabela com os dados de peso máximo de decolagem, empuxo e ruído de pouso e decolagem para 363

tipos de aviões diferentes⁷. Partindo da hipótese de que toda aeronave que pousa, também decola do aeroporto, e com o intuito de calcular o ruído total produzido nas duas operações, adotou-se o critério de soma dos níveis de pressão sonora medidos para as operações de pouso e decolagem. Para gerar o nível total de pressão sonora, utilizou-se a unidade SEL (*Sound Exposure Level*). O SEL corresponde à soma de todos os níveis de pressão sonora tomados por unidade de tempo, dentro do intervalo de interesse (IAC, 1999) e é calculado de acordo com a seguinte equação que resguarda a evolução logarítmica da soma da pressão sonora:

$$SEL = 10 \log_{10} \left[10^{\left(\frac{\text{ruído}_{\text{pouso}}}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{\text{ruído}_{\text{decolagem}}}{10}\right)} \right]$$

O formato geral dos dados obtidos para as aeronaves é apresentado na Tabela 9:

Tabela 9 - Aeronaves do Anexo 3 da AC36-1H

Fabricante	Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (Libras x 10 ³)	Motor	Ruído Decolagem (EPNdB)	Ruído Pouso (EPNdB)	SEL
Airbus	A319-112	104,53	123,45	CFM56-5B6/P	78,5	93,7	93,82
Airbus	A319-114	104,53	163,14	CFM56-5A5	86,8	94,8	95,43
Boeing	B-737-400	104,5	138,5	CFM56-3C-1	85	100,2	100,32
Boeing	B-747-100	215,1	750	JT9D-7F	104,5	104,5	107,51

Os dados mostrados na Tabela 9 foram repetidos para as 363 aeronaves, todas classificadas como Estágio 3 pela FAA e que representam a maioria das aeronaves que estão em operação nos principais aeroportos do mundo.

⁷ A relação completa das aeronaves encontra-se no Anexo 2.

A etapa seguinte do trabalho foi agrupar essas aeronaves, quanto ao ruído emitido, com o objetivo de verificar a ocorrência de agrupamentos naturais, por faixa de ruído. Utilizou-se, nesta tarefa, os recursos do software aplicativo MatLab 6.5.1.

Foi então definido, de forma aleatória, o número de grupos, e o software aplicativo, por meio da técnica *c-means*, indicou um ponto central para cada agrupamento. Em seguida, o sistema mede a distância dos vários pontos (aeronaves) em relação aos pontos centrais. Foram criados cinco agrupamentos e o resultado é mostrado na Figura 20. Para aferição dos resultados, o próprio sistema efetua iterações que visam a reduzir os erros do modelo. Um erro é dado por um posicionamento incorreto de uma aeronave em um agrupamento.

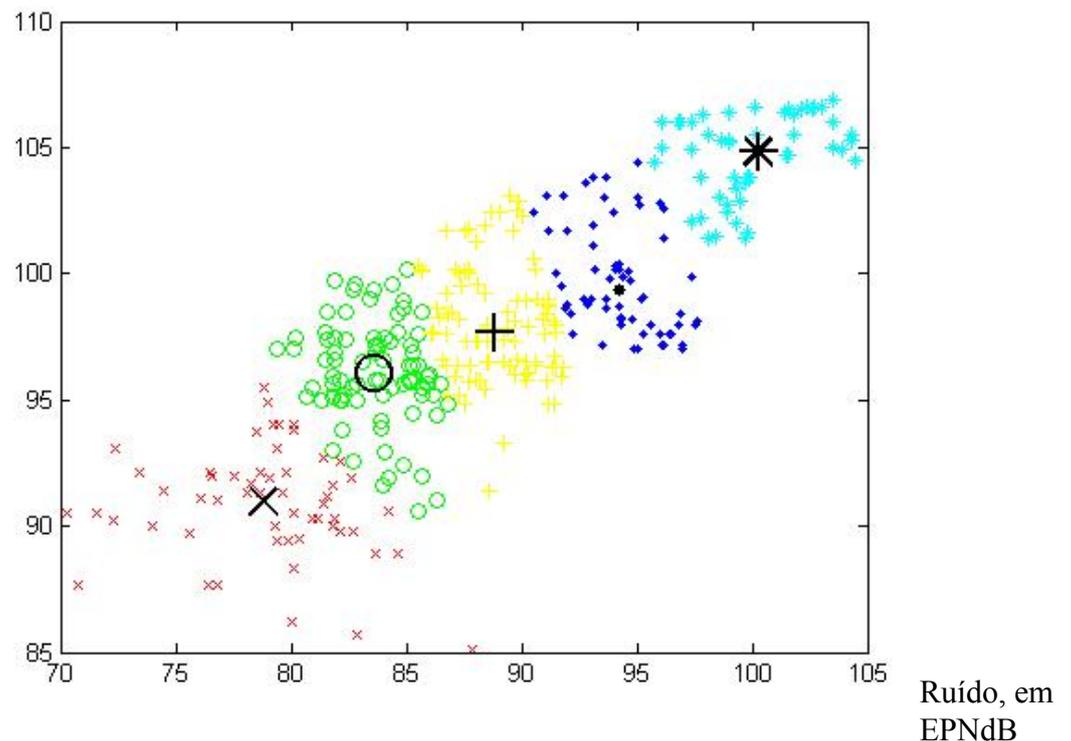


Figura 20 - Agrupamentos formados pelas aeronaves em relação ao ruído de pouso e de decolagem

Tomando-se os cinco agrupamentos gerados pelo sistema, utilizou-se o *Toolbox Fuzzy Logic* do MatLab para atribuir graus de pertinência aos agrupamentos. Os valores de ruído, apresentados em SEL, foram normalizados utilizando-se recurso do próprio sistema. Foram obtidos os resultados apresentados na Figura 21.

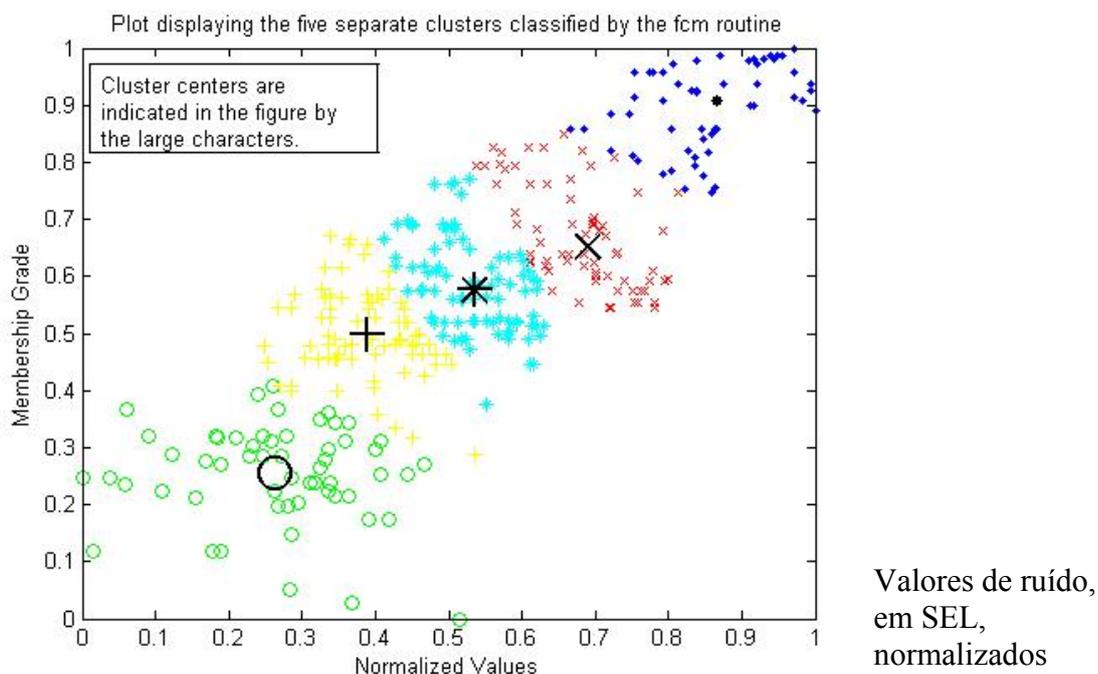


Figura 21 – Graus de pertinência atribuídos às aeronaves em agrupamentos, para valores normalizados de ruído

A Figura 21 mostra que é possível agrupar as aeronaves em função do ruído emitido nas operações de pouso e decolagem. Trata-se de um critério técnico, que utiliza variáveis quantitativas, como empuxo do motor, peso máximo de decolagem da aeronave e ruído medido. Os valores de ruído estão somados e normalizados.

Após validar-se a influência do empuxo e do peso máximo de decolagem no ruído produzido pelas aeronaves, passou-se à segunda variável, *input* do modelo: a percepção de incômodo reportada pelas pessoas que residem na Área II de ruído do Aeroporto.

7.2 Variável subjetiva

A segunda variável considerada neste modelo tem caráter subjetivo e representa a percepção das pessoas que são impactadas pelo ruído aeronáutico e, portanto, arcam com os custos desse efeito colateral da aviação.

As pessoas percebem o incômodo com intensidades diferentes em relação à hora do dia em que ocorre o movimento da aeronave. A análise das tarifas de ruído aplicadas em diversos aeroportos do mundo mostra que as tarifas são mais elevadas em horários especiais. Os resultados obtidos comprovam que há relação positiva entre o número de queixas e as horas do dia em que ocorre um número maior de movimentos.

Outra questão relacionada à hora do dia em que ocorrem as operações de aeronaves diz respeito aos vôos noturnos. Em geral, o chamado ruído de fundo, que é o ruído das outras atividades que ocorrem na área de entorno do aeroporto, como por exemplo, do trânsito e de pessoas nas ruas, é reduzido durante a noite. Por esta razão, o ruído dos aviões fica mais evidenciado, acarretando maior desconforto à população.

Dessa forma, pode-se afirmar que:

a) em horário de pico, o aumento do número de eventos provoca mais incômodo, independentemente do tipo da aeronave;

b) em horário noturno, a redução do ruído de fundo provoca uma percepção mais intensa do ruído aeronáutico.

Admitindo-se que vôos ocorridos em horário de pico ou noturno causam maiores transtornos, estes devem sofrer acréscimos na tarifa de ruído para compensar o aumento do

incômodo provocado, da mesma maneira que as aeronaves que operam fora desses horários devem receber tarifas de ruído reduzidas.

Neste trabalho, a ferramenta adotada para verificação da hipótese de variações nas queixas da população quanto ao ruído aeronáutico em diferentes horários do dia, foi a aplicação de questionários à população residente nas redondezas do Aeroporto Internacional Governador André Franco Montoro, ou Aeroporto de Guarulhos, como é mais conhecido. A população residente possui mais conhecimento do problema ambiental local do que aqueles que residem em outros lugares. Sua percepção pode ser muito útil no sentido de assegurar que todos os fatores são, pelo menos, considerados e, ainda, que não se despenda tempo excessivo no processo de avaliação do problema (SHEPARD, 2005).

A seleção dos moradores teve como critério a área de impacto localizada dentro da Curva II de ruído. Nessa região, composta por 17 bairros, o nível de ruído esperado é de 65dB, de acordo com as curvas isofônicas elaboradas pela ANAC. O questionário possui dez questões que podem ser vistas no Apêndice 2 e foi elaborado com base na Escala de Likert. A Escala de Likert, desenvolvida em 1932 pelo professor de psicologia e sociologia Rensis Likert, é uma escala de somatória, na qual a atitude do entrevistado é medida sobre uma série contínua, que vai de altamente favorável até altamente desfavorável, ou vice-versa (REA e PARKER, 2000). Os mesmos autores afirmam que a Escala de Likert “funciona particularmente bem no contexto de uma série de perguntas que procuram conhecer atitudes a respeito de um assunto específico.”

As pessoas foram abordadas, em sua maioria, nas ruas ou em estabelecimentos comerciais. As tentativas de contato nas residências não tiveram sucesso, pois devido a condições de insegurança da cidade, as pessoas não costumam atender a estranhos. Foram obtidos duzentos e quarenta e oito questionários válidos.

O questionário apresenta, primeiramente, o objetivo da pesquisa. Em seguida, as duas primeiras, a oitava e a nona questões buscavam identificar o perfil do entrevistado. As demais objetivam conhecer o nível de incômodo percebido pelas pessoas em relação ao ruído.

A pergunta número três ofereceu aos respondentes algumas fontes de ruído urbano e o ruído aeronáutico, em particular, para que apontassem quanto se sentiam incomodados em relação a cada uma dessas fontes. Essa questão tem o objetivo de medir a contribuição do ruído aeronáutico para o ruído urbano total.

A questão número quatro visa a capturar a sensação de incômodo percebido pelos moradores, por faixa de hora. Para a consecução deste trabalho, essa questão é extremamente importante, uma vez que fornece o segundo *input* para o modelo. As demais questões são auxiliares na elaboração do cenário da problemática do ruído nas redondezas do Aeroporto de Guarulhos.

As perguntas cinco, seis e sete têm o objetivo de conhecer a disposição do entrevistado em tomar uma atitude concreta em relação ao mercado, apontando, por meio de preferência declarada, sua intenção de modificar o valor de venda de seu imóvel. Por último, a questão número dez apresenta ao respondente a possibilidade de acrescentar comentários e sugestões:

Os resultados das respostas à questão três são mostrados na Figura 22:

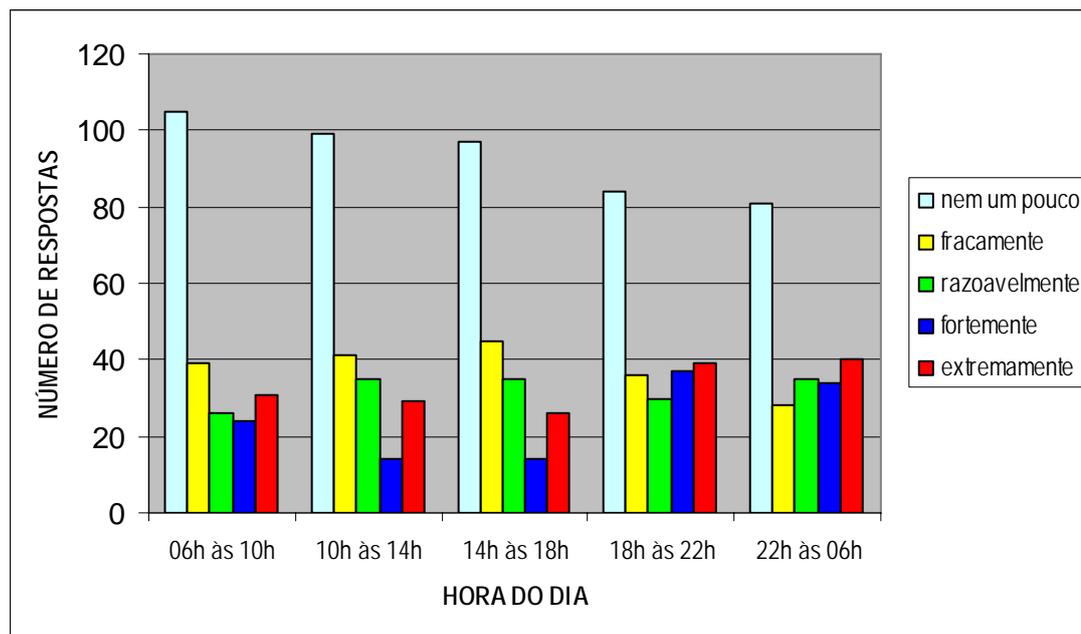


Figura 22 - Incômodo total por faixa de hora

O objetivo deste trabalho é gerar um modelo de tarifa de ruído aeronáutico baseado no ruído emitido pelas aeronaves e no ruído percebido pelos moradores. Por esta razão, no caso dos resultados da percepção de incômodo por faixa de hora, as respostas que apontaram que o morador sentia-se *Nem um Pouco* ou *Fracamente* incomodado foram excluídas. Assumiu-se a hipótese que as respostas que não apontam desconforto significativo não podem explicar o incômodo provocado pelo ruído aeronáutico. A Figura 23 apresenta o incômodo reportado pelos moradores, após exclusão das respostas *Nem um Pouco* e *Fracamente*:

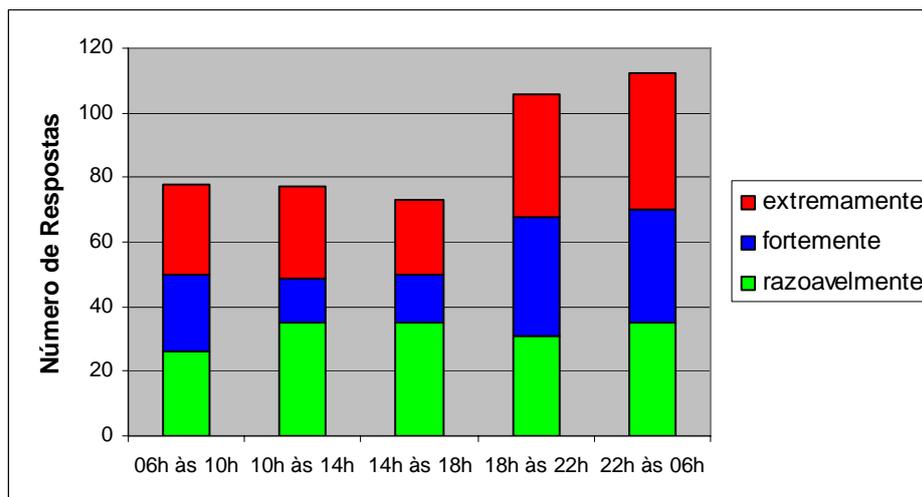


Figura 23 - Níveis de desconforto por faixas de hora

7.3 Inputs e output do Modelo

Os *inputs* do modelo levam em conta dois conjuntos *fuzzy* que se referem, respectivamente, ao ruído aeronáutico e ao desconforto reportado pelos moradores.

No primeiro caso, foram geradas funções do tipo gaussianas, que representam as faixas de ruído, definidas pelo próprio MatLab, com base no número de funções e na faixa total de ruído, em SEL para ruídos de pouso e decolagem, das 363 aeronaves estudadas, que varia de 85 a 110 EPNdB. De acordo com o nível de ruído, foi gerada uma classificação, conforme mostrado na Tabela 10:

Tabela 10 – Classificação do ruído das aeronaves do modelo

RUÍDO (EM EPNdB)	CLASSIFICAÇÃO
De 85 até 88,125	Fraco
De 88,125 até 94,375	Médio
De 94,375 até 100,625	Forte
De 100,625 até 106,875	Muito Forte
De 106,875 até 110	Extremo

O segundo *input* do modelo é a percepção do desconforto causado pelo ruído, por faixa de hora. A partir da tabulação das respostas dos 248 questionários, e tomando como referência as respostas à questão número 3, foram definidos os seguintes níveis de incômodo, por faixa de hora, mostrados na Tabela 11:

Tabela 11 – Nível de incômodo por faixas de hora

RUÍDO (EM EPNdB)	CLASSIFICAÇÃO
Das 06h às 10h	Forte
Das 10h às 14h	Fraco
Das 14h às 18h	Médio
Das 18h às 22h	Muito Forte
Das 22h às 02h	Extremo
Das 02h às 06h	Extremo

Foram então criadas funções gaussianas, que representavam as faixas de hora e o MatLab atribuiu os graus de pertinência de cada uma: Incômodos Forte, Fraco, Médio, Muito Forte, Extremo e, novamente, Extremo, para resguardar o intervalo de quatro horas de abrangência de cada função. Cabe lembrar que, no questionário, foi apresentado um intervalo de hora das 22h às 06h (oito horas) para que o respondente avaliasse o incômodo percebido. Esse intervalo foi dividido em duas partes: das 22h às 02h e das 02h às 06h para preservar as faixas de quatro horas.

Depois da definição dos conjuntos que compõem os *inputs* do modelo de geração de tarifa de ruído aeronáutico, chamado de fuzzificação das entradas, o passo seguinte é a definição do *output*. O *output* está fortemente relacionado ao objetivo deste trabalho, que é a geração de tarifa de ruído aeronáutico a ser aplicada às operações das aeronaves no Aeroporto Internacional de São Paulo. Seguindo a recomendação da ICAO, este modelo propõe uma tarifa a ser aplicada à Tarifa de Pouso e Decolagem. Neste caso, a proposta é criar um multiplicador que será aplicado à Tarifa de Pouso e Decolagem. É importante ressaltar que a

tarifa de ruído tem o objetivo de desestimular a utilização de aeronaves ruidosas, mas deve, ao mesmo tempo, encorajar as companhias a utilizar aeronaves mais silenciosas. Por esta razão, o multiplicador foi admitido como variando de 0.8 a 1.2⁸, o que significa, em termos práticos, que a tarifa pode ser representada por um desconto de 20% até um acréscimo de 20%, dependendo do ruído medido para a aeronave X que voa no horário Y.

Para definição do *output* foram geradas cinco classes de tarifa, chamadas seqüencialmente de Tarifas 1, 2, 3, 4 e 5 ou T1, T2, T3, T4 e T5. Em seguida, utilizando-se o conectivo AND definiu-se base de regras, do tipo SE-ENTÃO, cujo mapa de regras está demonstrado na Tabela 12:

Tabela 12 – Mapa de regras

RUÍDO	FRACO	MÉDIO	FORTE	MUITO FORTE	EXTREMO
INCÔMODO					
FRACO	T1	T1	T1	T2	T2
MÉDIO	T1	T2	T2	T2	T3
FORTE	T2	T2	T3	T3	T4
MUITO FORTE	T3	T3	T4	T4	T5
EXTREMO	T4	T4	T4	T5	T5

O número de tarifas é flexível e visa a atender às necessidades particulares do aeroporto em estudo. Em última análise, a definição do número de tarifas é prerrogativa do tomador de decisões públicas. A leitura da base de regras deve ser feita da seguinte maneira:

⁸ Esta faixa de variação é uma sugestão acadêmica. Caberá à ANAC fixar a faixa que melhor atenda a um valor de tarifa com aceitação nacional e internacional, resguardando seu objetivo, que é de reduzir o incômodo causado pelo ruído.

- Regra 1: SE o ruído é Fraco E o incômodo é Fraco, ENTÃO a tarifa é T1
- Regra 2: SE o ruído é Fraco E o incômodo é Médio, ENTÃO a tarifa é T1.
- Regra 3: SE o ruído é Fraco E o incômodo é Forte, ENTÃO a tarifa é T2
- Regra 4: SE o ruído é Fraco E o incômodo é Muito Forte, ENTÃO a tarifa é T3.
- Regra 5: SE o ruído é Fraco E o incômodo é Extremo, ENTÃO a tarifa é T4.
- Regra 6: SE o ruído é Médio E o incômodo é Fraco, ENTÃO a tarifa é T1.
- Regra 7: SE o ruído é Médio E o incômodo é Médio, ENTÃO a tarifa é T2.
- Regra 8: SE o ruído é Médio E o incômodo é Forte, ENTÃO a tarifa é T2.
- Regra 9: SE o ruído é Médio E o incômodo é Muito Forte, ENTÃO a tarifa é T3.
- Regra 10: SE o ruído é Médio E o incômodo é Extremo, ENTÃO a tarifa é T4.
- Regra 11: SE o ruído é Forte E o incômodo é Fraco, ENTÃO a tarifa é T1.
- Regra 12: SE o ruído é Forte E o incômodo é Médio, ENTÃO a tarifa é T2.
- Regra 13: SE o ruído é Forte E o incômodo é Forte, ENTÃO a tarifa é T3.
- Regra 14: SE o ruído é Forte E o incômodo é Muito Forte, ENTÃO a tarifa é T4.
- Regra 15: SE o ruído é Forte E o incômodo é Extremo, ENTÃO a tarifa é T4.
- Regra 16: SE o ruído é Muito Forte E o incômodo é Fraco, ENTÃO a tarifa é T2.
- Regra 17: SE o ruído é Muito Forte E o incômodo é Médio, ENTÃO a tarifa é T2.
- Regra 18: SE o ruído é Muito Forte E o incômodo é Forte, ENTÃO a tarifa é T3.
- Regra 19: SE o ruído é Muito Forte E o incômodo é Muito Forte, ENTÃO a tarifa é T4.
- Regra 20: SE o ruído é Muito Forte E o incômodo é Extremo, ENTÃO a tarifa é T5.
- Regra 21: SE o ruído é Extremo E o incômodo é Fraco, ENTÃO a tarifa é T2.
- Regra 22: SE o ruído é Extremo E o incômodo é Médio, ENTÃO a tarifa é T3.
- Regra 23: SE o ruído é Extremo E o incômodo é Forte, ENTÃO a tarifa é T4.
- Regra 24: SE o ruído é Extremo E o incômodo é Muito Forte, ENTÃO a tarifa é T5.
- Regra 25: SE o ruído é Extremo E o incômodo é Extremo, ENTÃO a tarifa é T5.

As implicações de cada uma das regras foram calculadas pelo operador, ou t-norma **produto** e a agregação do *output* foi feita pelo operador **máximo**. A fuzzificação foi feita pelo método do centróide. Os resultados são apresentados no Capítulo 8, a seguir.

8. RESULTADOS

Os resultados obtidos por este trabalho mostram, primeiramente, que o ruído aeronáutico vem crescendo em importância como fator de desconforto urbano no município de Guarulhos. As respostas à questão 3 do questionário (Apêndice 2), que visa a comparar o incômodo percebido pelos moradores em função de várias fontes diferentes de ruído, são mostradas na Figura 24:

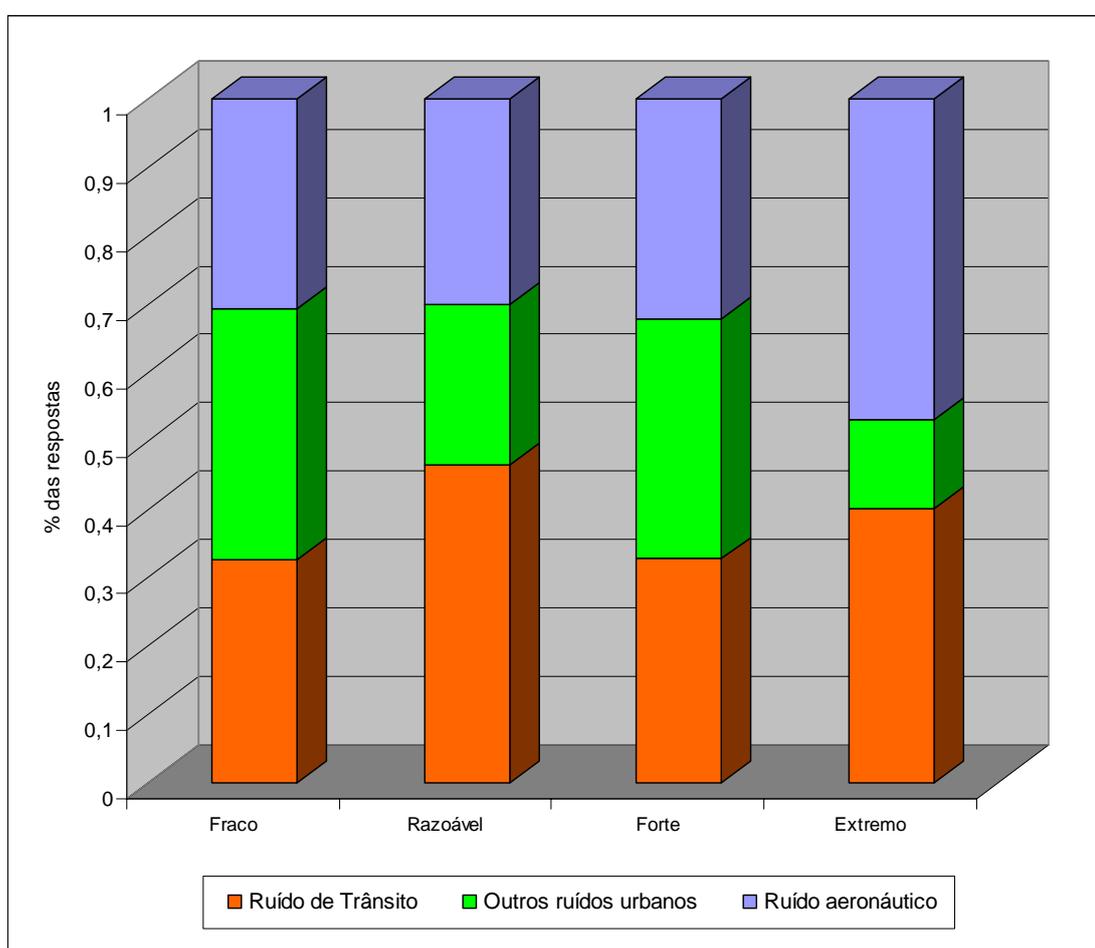


Figura 24 – Incômodo percebido pelos moradores de Guarulhos em relação a diversas fontes de ruído urbano

Pode-se observar que o incômodo apontado como **extremo** é direcionado de forma mais que proporcional ao ruído aeronáutico. No item denominado “Outros ruídos urbanos”

foram exemplificados aqueles provocados por pessoas falando, máquinas trabalhando nas ruas e animais. Nas outras categorias de desconforto, o ruído aeronáutico é mencionado, de forma distribuída, por aproximadamente um terço das pessoas. Verifica-se, a partir dos resultados obtidos, que o ruído aeronáutico é fonte relevante de desconforto urbano, com conseqüente perda de bem-estar das pessoas que residem em área de impacto.

No desenvolvimento do modelo, os resultados obtidos levam em consideração duas variáveis que são determinantes no resultado do incômodo causado pelo ruído aeronáutico: o ruído medido nas operações de pouso e decolagem das aeronaves e o incômodo que as pessoas percebem quando expostas a esse ruído.

A definição dos parâmetros iniciais do modelo é demonstrada na Figura 25:

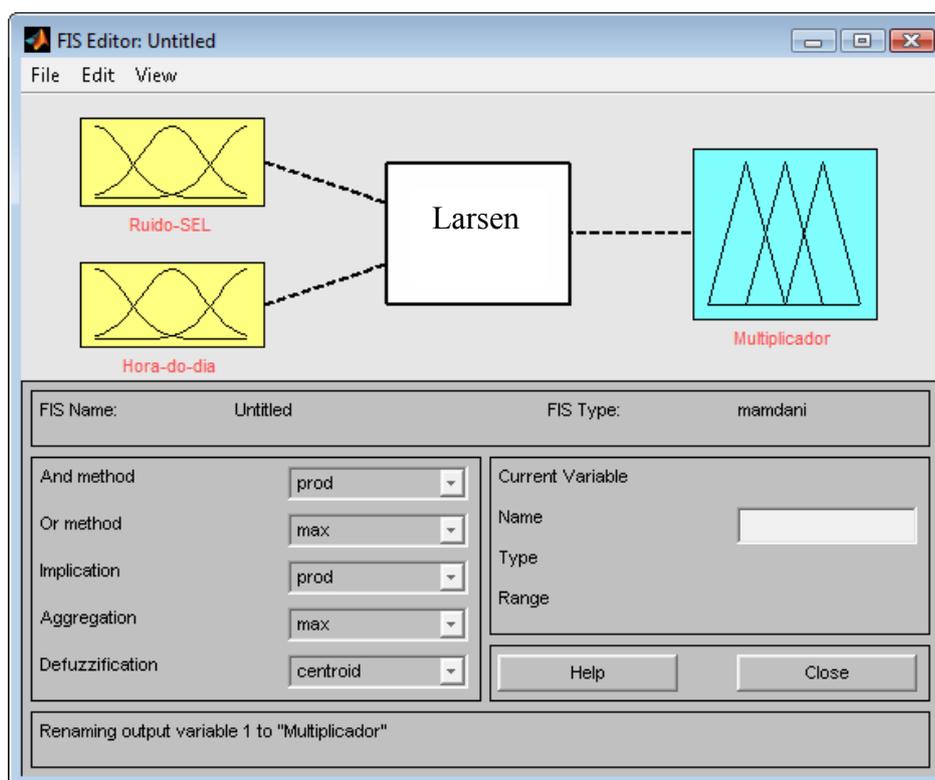


Figura 25 - Parâmetros iniciais do modelo

As Figuras 26 e 27 mostram o processo de fuzzificação das duas variáveis de entrada:

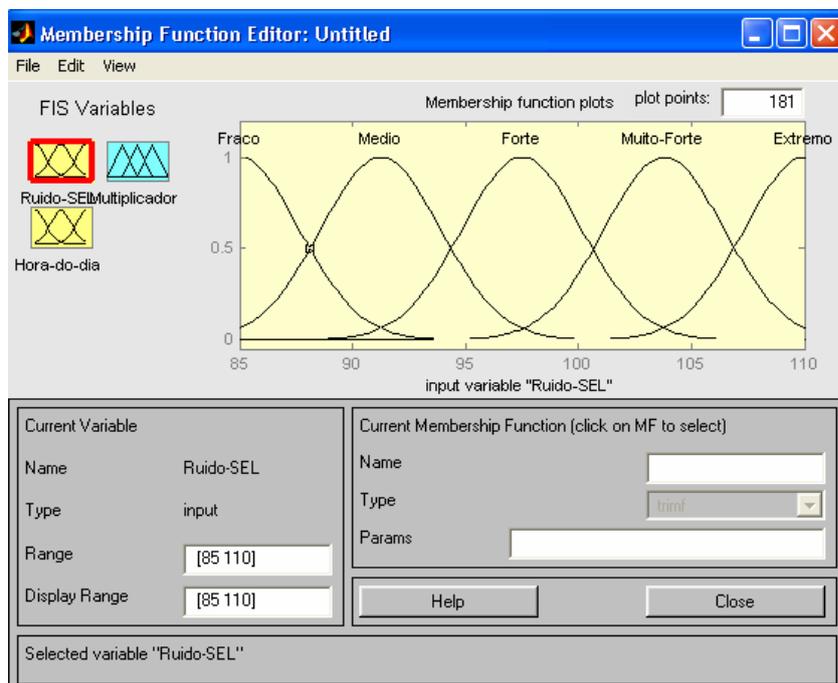


Figura 26 – Fuzzificação do conjunto “Ruído-SEL”

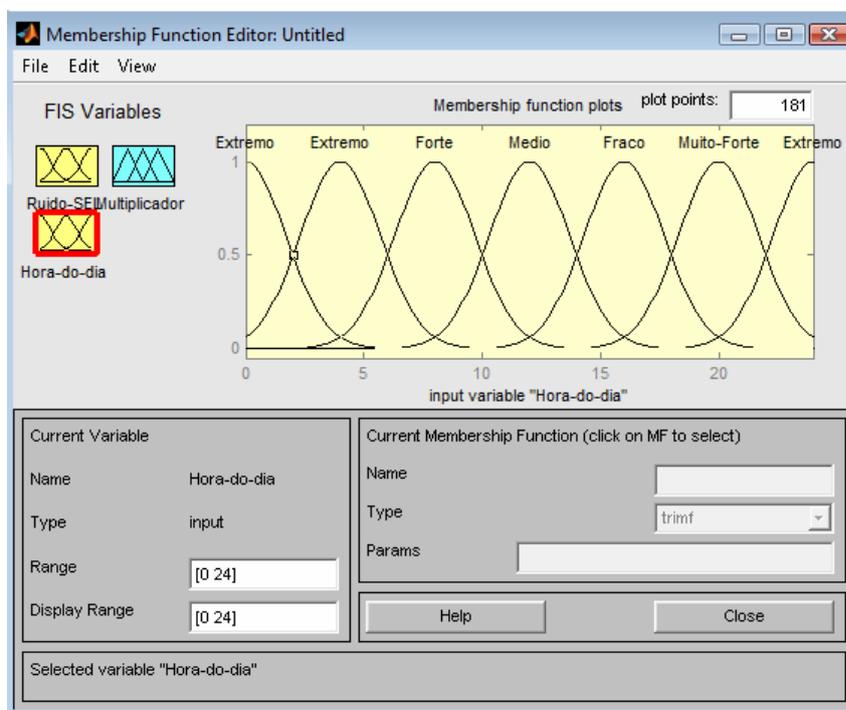


Figura 27 – Fuzzificação do conjunto “Hora do dia”

Para a fuzzificação do primeiro *input* do modelo utilizou-se funções gaussianas, com intervalos entre 85 e 110 EPNdB para a variável de ruído SEL para as aeronaves selecionadas. Já para o conjunto de nível de incômodo percebido, que corresponde ao segundo *input*, a faixa utilizada para a variável independente é 0 a 24, correspondendo às 24 horas do dia (compatível com os dados apresentados aos respondentes nos questionários aplicados).

A Figura 28, adiante, apresenta a fuzzificação do conjunto de saída, representado pelas tarifas. Para esse conjunto, utilizou-se uma função triangular, com o eixo de x variando entre 0.8 e 1.2. Esses valores correspondem ao multiplicador da tarifa de pouso.

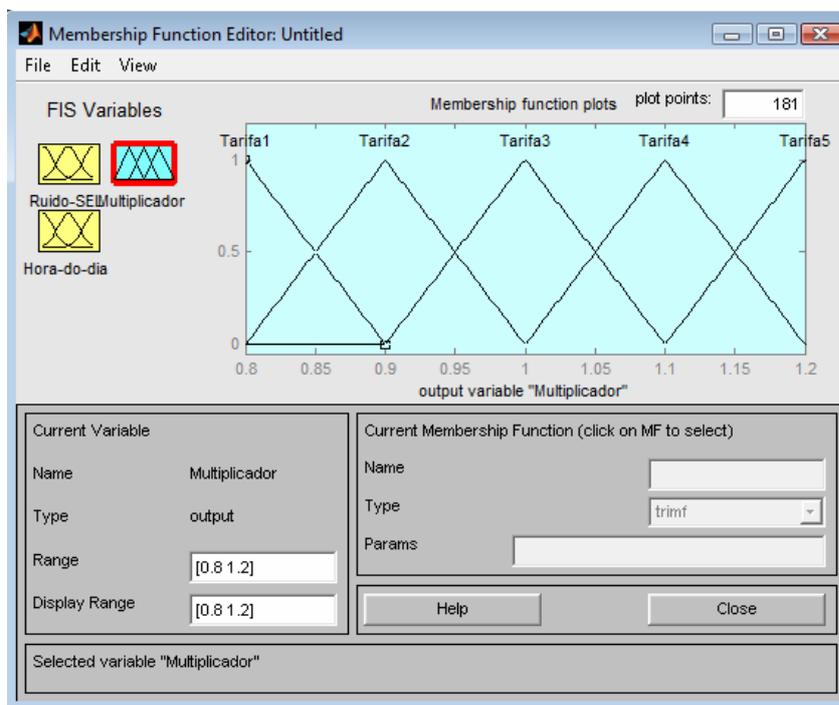


Figura 28 – Fuzzificação do conjunto “Tarifas”

Finalmente, a Figura 29 apresenta todo o processo de fuzzificação, em forma gráfica. Observe-se que as tarifas que recebem um multiplicador mais elevado se referem justamente às aeronaves mais ruidosas e que voam em horários em que o incômodo percebido pelos moradores é maior. Esse resultado é coerente com as premissas adotadas neste trabalho.

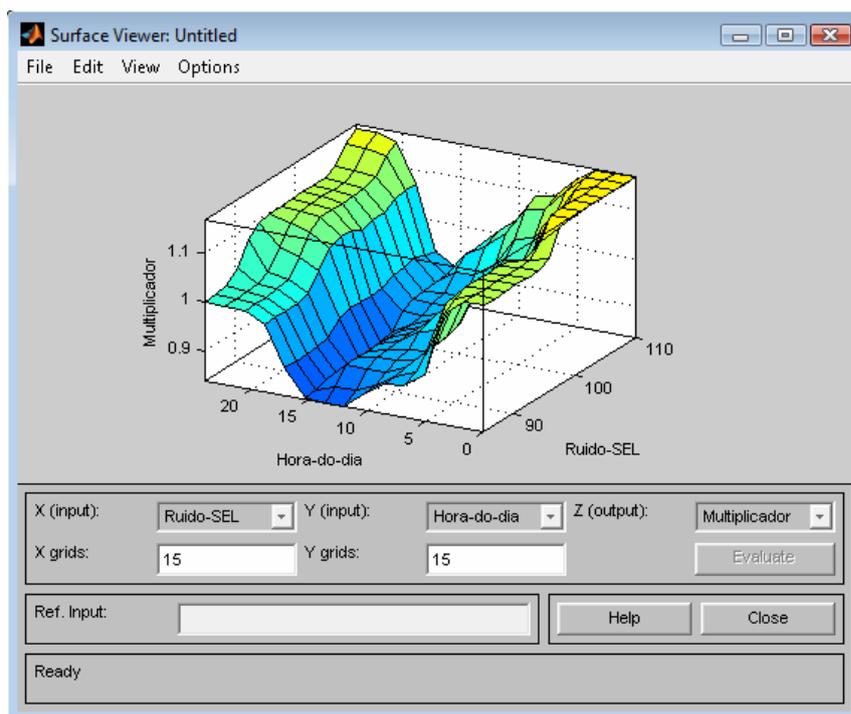


Figura 29– Resultado do modelo de geração de tarifa de ruído aeronáutico

Observando-se as regras geradas para o multiplicador, verifica-se a relação entre as variáveis de *input* e de *output*, como demonstrado na Figura 30.

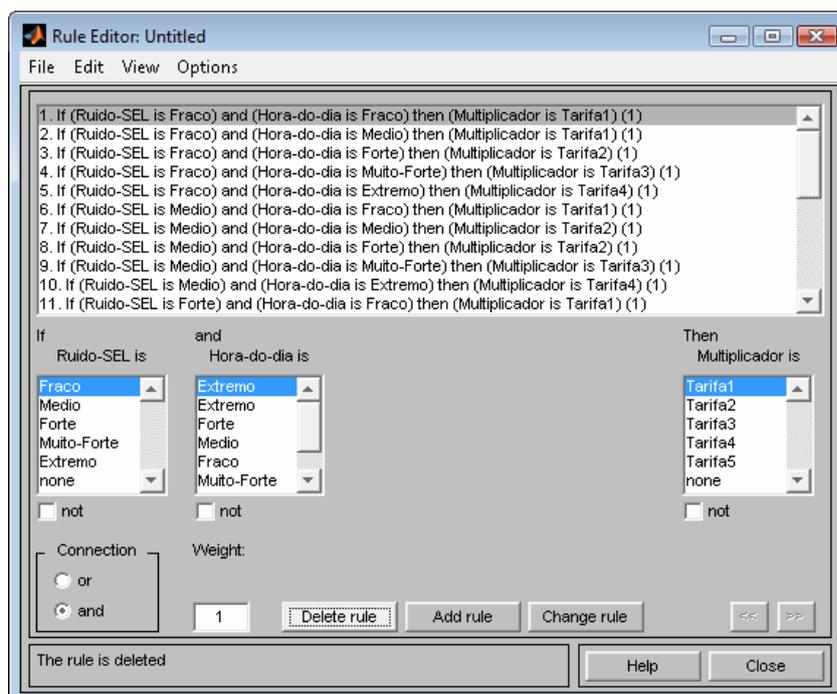


Figura 30 – Regras do modelo

A Figura 31, adiante, mostra o resultado do modelo, com *inputs* e *output*:

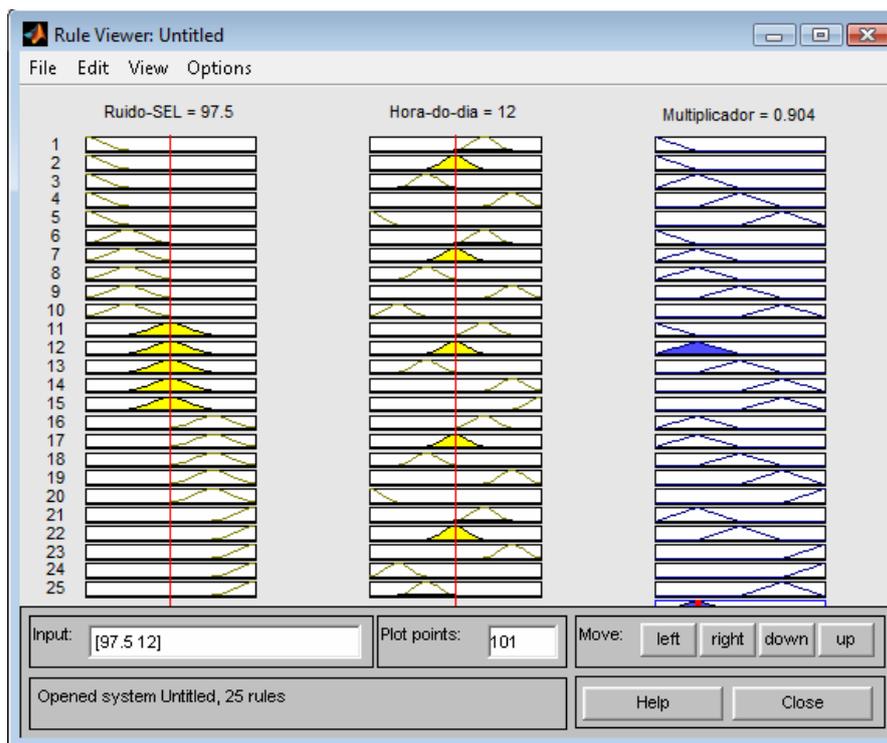


Figura 31 – Resultados do modelo

Na Figura 31, a primeira coluna mostra o *input 1*, Ruído-SEL, enquanto a coluna do meio apresenta o segundo *input* do modelo, Hora do dia. A terceira coluna apresenta o *output*, que é o multiplicador da tarifa. As linhas centrais que aparecem na primeira e na segunda colunas são móveis e permitem a modificação dos parâmetros, por ação do agente, de maneira a alterar o multiplicador para aeronaves e/ou horários de operação diferentes

A partir dos dados apresentados na Figura 31, conclui-se que uma aeronave que tenha um ruído SEL, para operações de pouso e decolagem, igual a 97.5 EPNdB, e que esteja iniciando uma operação de pouso às 12h, no Aeroporto Internacional de São Paulo, pagará uma tarifa de pouso acrescida de um multiplicador de 0.904. A redução obtida em relação à tarifa praticada se deve ao horário da operação, identificado como de incômodo fraco pelos moradores. Variações nos *inputs* acarretam variações no *output*. Isso significa que a mesma

aeronave operando em horário de incômodo mais crítico pagará uma tarifa de pouso acrescida de um multiplicador maior do que 1 e que pode chegar a 1.2, de acordo com os parâmetros estabelecidos. Como exemplo, tomou-se o mesmo nível de ruído, 97.5 EPNdB e simulou-se uma operação às 20h, o resultado foi uma elevação do multiplicador para 1.09, representando um acréscimo de 9% na tarifa de pouso, como apresentado na Figura 32

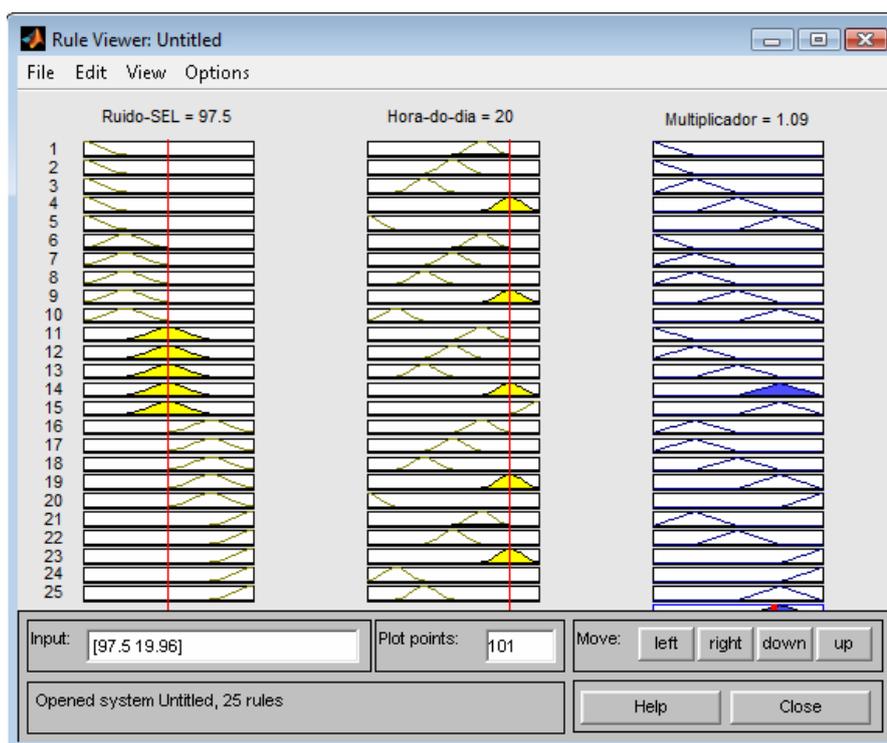


Figura 32– Simulação de multiplicador para uma aeronave com SEL de 97.5 EPNdB, operando às 20h00

Este modelo é totalmente flexível e atende à recomendação da ICAO de gerar um modelo de tarifa de ruído aeronáutico que é calculada sob a forma de acréscimo à tarifa de pouso já praticada nos aeroportos brasileiros.

De acordo com informação publicada no *site* da INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária, as tarifas aplicadas às operações de aeronaves em aeroportos brasileiros têm o objetivo de remunerar a empresa administradora e são aplicadas à aviação

regular e não regular. Essas tarifas foram criadas pela Lei nº 6.009, de 26/12/1973, e regulamentadas pelo Decreto nº 89.121, de 6/12/1983. Com relação à tarifa de pouso, é cobrada em função da Categoria do Aeroporto e do tipo do voo, se doméstico ou internacional, como apresentado a seguir.

8.1 Exemplo do cálculo da tarifa de ruído para uma aeronave A320-214

A tarifa de pouso objetiva remunerar os custos dos serviços e das facilidades proporcionados às operações de pouso, taxi e permanência da aeronave em até três horas após o pouso. É fixada em função da categoria do aeroporto e da natureza do voo (doméstico ou internacional).

A Tabela 13 apresenta os valores das tarifas de pouso aplicadas às operações de aeronaves em aeroportos do Brasil considerando o peso da aeronave e a categoria do aeroporto:

Tabela 13 – Valores das Tarifas de Pouso, por tonelada de peso do avião

CATEGORIA DO AEROPORTO	DOMÉSTICA R\$/ton	INTERNACIONAL U\$/ton
1 ^a	2,51	8,49
2 ^a	2,21	7,71
3 ^a	1,44	6,62
4 ^a	0,68	3,30

Fonte: Infraero, 2008

O cálculo a seguir considera os valores cobrados de aeronaves que operam em aeroportos Categoria I, na qual está classificado o Aeroporto Internacional de São Paulo Governador André Franco Montoro.

Tomando-se uma aeronave que opera regularmente no Aeroporto Internacional de São Paulo, como por exemplo, o Airbus A320-214, tem-se que essa aeronave possui motor CFM56-5B4/P de acordo com a AC36-1H, peso máximo de decolagem de 77 toneladas (conforme mostra o Regulamento Aeronáutico Brasileiro) e 95.59 EPNdB de SEL para os ruídos de pouso e decolagem. Aplicando a metodologia, essa aeronave, considerada de ruído entre médio e forte, voando às 20h receberia um acréscimo de 6% na tarifa de pouso a título de tarifa de ruído. A tarifa total de pouso ficaria:

Em vôo doméstico:

$\text{R\$ } 2,51 \times 77 \text{ ton} \times 1,06 = \text{R\$ } 204,87$, dos quais R\$ 11,60 corresponderiam à tarifa de ruído.

Em vôo internacional:

$\text{US\$ } 8,49 \times 77 \text{ ton} \times 1,06 = \text{US\$ } 692,96$, dos quais US\$ 39,23 corresponderiam à tarifa de ruído.

Como exemplo, no Aeroporto de Frankfurt, na Alemanha, a mesma aeronave não pagaria tarifa de ruído se operasse entre 06h da manhã e as 21h59.

Caso a operação ocorresse às 0h, a tarifa de pouso no Aeroporto Internacional de São Paulo seria:

Em vôo doméstico:

$\text{R\$ } 2,51 \times 77 \text{ ton} \times 1,10 = \text{R\$ } 212,60$, dos quais R\$ 19,33 corresponderiam à tarifa de ruído.

Em vôo internacional:

US\$ 8,49 x 77 ton x 1,10 = US\$ 719,10, dos quais US\$ 65,37 corresponderiam à tarifa de ruído.

Comparando esses dados as tarifas praticadas no Aeroporto de Frankfurt, uma Aeronave Airbus A320-214, operando às 0h pagaria uma tarifa de ruído no valor de EUR 67,50.

Os valores obtidos pelo modelo proposto por este trabalho parecem relativamente compatíveis com aqueles praticados no Aeroporto de Frankfurt, para a aeronave A320-214, o que mostra sua consistência para analisar a situação proposta. No entanto, o cálculo aplicado à situação real deve ser estabelecido pelo órgão regulador, em função de razões que estão além do objetivo deste trabalho, como por exemplo as componentes políticas. No Apêndice 3 são apresentados os cálculos de tarifa de ruído para outras aeronaves, escolhidas de forma aleatória, operando em horários diferentes.

9. CONCLUSÕES

O ruído aeronáutico tornou-se um sério problema de desconforto urbano no município de Guarulhos, com agravantes para a qualidade de vida e a saúde das pessoas que residem na área de entorno do Aeroporto Internacional de São Paulo Governador André Franco Montoro. Este trabalho propõe um modelo de geração de tarifa de ruído aeronáutico a ser aplicada às companhias aéreas que operam naquele aeroporto. O modelo considera as duas variáveis mais utilizadas no cálculo das tarifas de ruído praticadas no resto do mundo: ruído da aeronave e hora da operação. Como diferencial inédito, este modelo propõe a inclusão da percepção das pessoas em relação ao incômodo que sofrem em decorrência de sua exposição a esse tipo de impacto ambiental. A inclusão de uma variável de caráter subjetivo visa a melhorar a precisão do cálculo do custo do ruído, melhorando as condições de eficiência da tarifa proposta. A precisa avaliação do custo do ruído é vital para a eficiência da tarifa uma vez que seu valor deve corresponder ao valor do custo externo. Para o tratamento matemático dessa variável subjetiva, este trabalho emprega a Lógica *Fuzzy*. A utilização da Lógica *Fuzzy* apresentou vantagem sobre os modelos estatísticos clássicos na modelagem de um fator social, representado pela mudança no comportamento.

O modelo de geração de tarifa de ruído proposto neste trabalho atende aos princípios da teoria econômica neoclássica que preconiza a internalização do custo externo como forma de maximizar a eficiência de um mercado. Com relação às variáveis utilizadas, o modelo identifica as principais variáveis que afetam o nível de ruído emitido pelas aeronaves: o empuxo e o peso máximo de decolagem, bem como identifica, por meio de pesquisa realizada com base em entrevistas pessoais, as faixas de hora em que há maior incômodo percebido pelos moradores da região de entorno do Aeroporto Internacional de São Paulo. Com relação à metodologia de cálculo de tarifa, o modelo atende à recomendação da ICAO de acréscimo

da tarifa de ruído à tarifa de pouso. O fator multiplicador da tarifa proposto varia entre 0.8 e 1.2, como forma de encorajar as companhias aéreas a utilizar aeronaves mais silenciosas e, também, a voar em horários menos críticos com relação ao incômodo. A introdução de um multiplicador menor que a unidade oferece a possibilidade de redução da tarifa de pouso, por meio de uma tarifa de ruído negativa. Observe-se que o modelo é flexível e pode ser readaptado para fatores multiplicadores de tarifa em qualquer intervalo, melhorando sua característica de instrumento de apoio ao tomador de decisão pública.

Quanto aos questionários aplicados, há um número expressivo de pessoas que informaram não se sentir incomodadas pelo ruído aeronáutico. No entanto, observou-se que as queixas se tornam mais acentuadas a partir das 18 horas, o que confirma a tese de que a redução de ruído de fundo torna o ruído dos aviões mais perceptível causando, portanto, maior incômodo. A partir das 18 horas, também, as pessoas retornam para suas casas e, por essa razão, ficam mais expostas ao ruído que não percebiam em seus locais de trabalho. O tipo de construção das empresas geralmente oferece algum tipo de proteção acústica que não costuma ser utilizado nas residências. Cabe ressaltar que o Aeroporto de Guarulhos produz, em média, 500 operações por dia, operando inclusive em horário noturno. Salienta-se, também, que as características da topografia do município, que é muito acidentada, fazem com que pessoas que residam em uma mesma rua, sob rota de aproximação, por exemplo, percebam o ruído de forma diferente: as que moram na parte alta da rua recebem o ruído de forma mais intensa e as que residem na parte baixa da mesma rua, ficam mais afastadas da aeronave em sobrevôo, sendo menos incomodadas. A utilização de uma variável de percepção subjetiva deve ser destacada, como ferramenta para uma gestão aeroportuária moderna e coerente com os anseios de uma população cada vez mais exigente no que diz respeito a padrões e expectativas de qualidade de vida.

Observe-se, ainda, que, após análise de mais de cem modelos de tarifa de ruído em todo o mundo, divulgadas pela Boeing (BOEING, 2008) constatou-se que a aplicação da Lógica *Fuzzy* ainda não havia sido testada. Da mesma forma, a inclusão da percepção do ser humano em relação ao incômodo como medida de custo externo caracteriza procedimento inédito.

Em que pese o fato de que a utilização da Lógica *Fuzzy* está consagrada no tratamento de sistemas de controle, sua aplicação ao problema de geração de modelo de tarifa de ruído aeronáutico necessitou de adaptações, tendo em vista seu caráter inédito. Para melhor desenvolvimento do modelo, foi necessário buscar referências em estudos já desenvolvidos nas áreas ambiental e de controle. Diferentemente dos modelos de controle, o modelo aqui apresentado não apresenta o efeito *feedback*. No entanto, cabe ressaltar que, diferentemente dos modelos estatísticos, que formam um corpo de verdade a partir do acúmulo de eventos sob análise (desde que os eventos sejam estacionários), o problema estudado nesta pesquisa não exige repetição de eventos. Os resultados obtidos mostram uma modelagem do comportamento, com base na percepção humana, extraindo vantagem do modelo nebuloso, e apresentando resultado sensível e independente do tamanho da amostra.

Os resultados obtidos se aplicam exclusivamente ao Aeroporto Internacional de São Paulo Governador André Franco Montoro, em razão do modelo considerar os níveis de desconforto da população do município de Guarulhos. Entretanto, o mesmo modelo pode ser aplicado a qualquer outro aeroporto, desde que seja alimentado com dados de percepção dos moradores da área vizinha ao aeroporto em questão.

O modelo oferece flexibilidade dos parâmetros e se apresenta como um instrumento de auxílio ao tomador de decisões públicas na regulação, visando a internalizar o custo externo e

reduzir o impacto do ruído aeronáutico sobre as pessoas que residem na área de entorno do Aeroporto Internacional de São Paulo (ou outro Aeroporto, de forma mais geral).

9.1 Sugestões para continuação da pesquisa

As sugestões para continuação desta pesquisa enfocam, principalmente, os seguintes pontos:

Primeiramente, sugere-se que a parte subjetiva deste modelo, obtida pelos resultados da aplicação dos questionários, deva ser realimentada a cada cinco anos, com o objetivo de validar os níveis de desconforto reportados até o momento ou capturar mudanças comportamentais que possam alterar o valor da tarifa. Tais mudanças podem decorrer justamente da redução do incômodo causado pelo início da cobrança desse tributo;

Em segundo lugar, recomenda-se calcular o montante da externalidade observada, por exemplo, por meio do cálculo do passivo ambiental, que corresponde à desvalorização dos imóveis de toda a região compreendida pela Curva II de ruído, com o objetivo de limitar a duração da aplicação da tarifa de ruído aeronáutico.

Com relação especificamente à parte da aplicação da ferramenta *fuzzy*, sugere-se verificar a influência de conectivos de lógica na alteração dos valores das tarifas e o seu significado lingüístico. Também recomenda-se simular a aplicação de outros métodos de fuzzificação, bem como testes com o Modelo Takagi-Sugeno, que não precisa ser fuzzificado.

Referências Bibliográficas

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-10151 Acústica - Avaliação do ruído.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR-10152 Níveis de ruído para conforto acústico
1. ACI-Europe - Airport Council International. Airport Charges in Europe, May 8, 2003.
2. ASHFORD, N. **Airport Operations**. McGraw-Hill, p. 57-87, 1997.
2. ABEY-WICKRAMA, I. et al. Mental Hospital Admissions and Aircraft Noise, **Lancet**, p. 1275-1277, 1969.
3. AZEVEDO, R. e LIMA, M. L. **Componentes Psicossociais do Ruído: as medições cognitivas do ruído em diferentes grupos profissionais**. 1º. Colóquio Psicologia, Espaço e Ambiente. Évora, Portugal, maio de 2002.
4. BANERJEE, A. Fuzzy choice functions, revealed preference and rationality. **Fuzzy Sets and Systems**, n. 70, p. 31-43, 1995.
5. BLACK, D. A. et al. Aircraft noise exposure and resident's stress and hypertension: a public health perspective for airport environmental management. **Journal of Air Transport Management**, n. 13, p. 264–276, 2007.
6. BOEING. *Airport Noise and Emission Regulation*. Disponível em <http://www.boeing.com/commercial/noise/list.html>. Acesso em 03 de julho de 2008.
7. BOTTELDOORN, D. e VERKEYN, A. Fuzzy models for accumulation of reported community noise annoyance from combined sources. **Journal of Acoustical Society of América**, n. 112, v. 4, oct. 2002.
8. BRASIL (Federal). Congresso Nacional. Lei no. 6.009. Dispõe sobre a utilização e a exploração dos aeroportos, das facilidades à navegação aérea e dá outras providências. **Lex Legislação Federal**, Jul 1973.
9. BRASIL (Federal). Presidência da República. Decreto 89.121. Regulamenta Lei no. 6.009. **Lex Legislação Federal**, Jun 1983.
10. BURLAMAQUI, C.S. e CHENG, L. **Teoria dos Sistemas Nebulosos Aplicada a Sistemas de Informação Geográfica para definição de roteiro**. EPUSP – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Boletim Técnico, São Paulo, 2002.
11. CARLSSON, F. **Environmental Taxation in Airline Markets**. Working Paper in Economics no. 24, Göteborg University, May 2000.

12. COHEN, S. et al. Physiological motivational and cognitive effects of aircraft noise on children: moving from the laboratory to the field. **Am. Psychol.**, n. 35, p. 231-243; mar, 1980.
13. CUNHA, J.L.S. Os Instrumentos de Política Ambiental: Critérios de Avaliação. UNICAMP. Disponível em [http://www.cori.rei.unicamp.br/Brasil Japao3/ resul trbs.php?cod=269](http://www.cori.rei.unicamp.br/Brasil%20Japao3/resul%20trbs.php?cod=269). Acessado em 21 de fevereiro de 2007.
14. DOT – DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (1999). **Transportation-Related Noise in the United States**. Disponível em : <<http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/millennium/00134.pdf>>. Acesso em 25 de outubro de 2008.
15. ELLER, R. A. G.; Urbina, L.M.S. e Porto, P.P. Aircraft Noise Perception in Brazil: The São Paulo International Airport Case-Study. **Airlines Magazine**, v. 27, p. 1-3, Holanda, , 2004.
16. ELLER, R.A.G.; Marujo, E. A Choice Model for Collective Passenger Transportation in Brazil: Air x Highway. **Journal of the Brazilian Air Transportation Research Society**, vol. 3, Issue 2, p. 57-68, novembro de 2007.
17. EUROPEAN COMISSION. Future Noise Policy, Brussels, 1996.
18. FAA – Federal Aviation Administration. **Advisory Circular Ac36-1h: Noise Standards: Aircraft Type and Airworthiness Certificatio**, janeiro de 2003.
19. GARCÍA, A., FAUS, L.J. e GARCÍA, A.M. The Community Response to Aircraft Noise Around Six Spanish Airports. **Journal of Sound and Vibration**, n. 164, v. 1, p. 45-52, 1993.
20. GUARULHOS (Município). Câmara Municipal. Lei No. 4.818. Estabelece o Zoneamento Municipal e dá outras providências. **Lex**: legislação Municipal da Cidade de Guarulhos. Jul 1996.
21. GUILLEN, D. **Noise 101: The Economics of Noise Management Strategies and Policies**. Institute for Transportation Studies. University of California, Berkely, San Diego, CA, February, 2001.
22. HEINONEN-GUZEJEV et al. Self-Report of Transportation Noise Exposure, Annoyance And Noise Sensitivity In Relation To Noise Map Information. **Journal of Sound and Vibration**, n. 234, v. 2, p. 191-206, 2000.
23. HINES, J. W. **MATLAB Supplement to Fuzzy and Neural Approaches in Engineering**, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1997
24. HORONJEFF, R. e MCKELVEY. **Planning and Design of Airports**. Fourth Edition, McGraw-Hill, Inc. pp. 719-773, 1993.
25. HUME, K. et al. Complaints aused by aircraft operations: an assessment of annoyance by noise level and time of day. **Journal of Air Transport Management**, n. 9, p. 153–160, 2003.

26. IAC - INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL. **Controle de Ruído Aeroportuário**. STP 39 AGA/ENG. ICAO, 4ª. edição, 1999.
27. INFRAERO - EMPRESA BRASILEIRA DE INFRA-ESTRUTURA AEROPORTUÁRIA. Disponível em www.infraero.com.br/cargaarea. Acessado em 18 de maio de 2008.
28. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em www.sidra.ibge.gov.br. Acessado em 10 de julho de 2008.
29. IAC - INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL. **Controle de Ruído Aeroportuário**. STP39. AGA/ENG. ICAO, 4a. edição, 1999.
30. ICAO - **Doc 9082, ICAO's Policies on Charges for Airports and Air Navigation Services**, Seventh Edition, 2004
31. ICAO – INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Noise Certification Database**. Disponível em <http://noisedb.stac.aviation-civile.gouv.fr/>. Acesso em 20 de outubro de 2008
32. IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Uso de Instrumentos Econômicos na Gestão Ambiental da América Latina e Caribe: Lições e Recomendações**. Texto para Discussão 440, Rio de Janeiro, 1996.
33. JANIC, M. Aviation and externalities: the accomplishments and problems. **Transportation Research**, Part D 4, p. 159-180, 1999.
34. KLIR, G.J. e YUAN, B. **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. Prentice-Hall Inc. NJ, USA, 1996.
35. LAMBERT, J. Using Monetary Values of Noise for Transport Policy decisions: current practice and future developments in France. The 29th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, 27-30, Nice, France, August 2000.
36. LU, C. H.Y. e MORRELL, P. Determination and applications of environmental costs at different sized airports – aircraft noise and engine emissions. **Transportation Reviews**, n. 33, p. 45–61, 2006.
37. McNEILL, M. e THRO, E. Fuzzy logic: a practical approach 1994. **Academic Press Professional, Inc.** San Diego, CA, USA, 1994.
38. Macmillan Dictionary of Modern Economics, Fourth Edition, David W. Pearce (1992).
39. MENDEL, J.M. Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial. **Proceedings of the IEEE**, n. 3, v. 83, March, 1995.

40. MIEDEMA, H.M.E. e OUDSHOORN, C.G.M. Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and Their Confidence Intervals Environmental. **Health Perspectives**, n.4, v. 109, April 2001.
41. MIEDEMA, H. M. E. e VOS, H. Noise sensitivity and reactions to noise and other environmental conditions. **J. Acoust. Soc. Am.** n. 113, v. 3, p. 1.492-1.504, March 2003.
42. MTB - MINISTÉRIO DO TRABALHO. Portaria no. 3.214, de 08 de junho de 1978, que aprova as Normas Regulamentadoras - NR - do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas a Segurança e Medicina do Trabalho. NR-15 Atividades e Operações Insalubres. DOU de 06 de junho de 1978.
43. MOL, A.P.J. *The environmental movement in an era of ecological modernization.* **Geoforum**, vol. 31, p.45-56, 2000.
44. NICHOLSON, W. **Microeconomic Theory**. Third Edition, Dryden Press, 1985.
45. NOVAK, V. Which logic is the real fuzzy logic? **Fuzzy Sets and Systems**, n. 157 , p. 635-641, 2006.
46. NUSSENZVEIG, H.M. **Curso de Física Básica 2**, 4ª. ed. Ver. – São Paulo: Edgard Blücher, 2004.
47. OBATA, H. et al. (1997) *SEA-TAC International Impact Mitigation Study* <http://www.rcaanews.org/rcaa/hoksec9.htm> , State of Washington, US, 1997.
48. OLIVEIRA JR., H.A. (Coord.). **Inteligência Computacional Aplicada à administração, Economia e Engenharia em MatLab**. São Paulo: Thomson Learning, 2007.
49. PILLAT, V.G. et al. **Lógica Nebulosa Aplicada a Estudos da Ionosfera Terrestre**. Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional - ERMAC. Pelotas, RS, Nov. 2008.
50. PINDYCK, R. & RUBINFELD, D. **Microeconomia**, 6ª. Edição, Editora Pearson, São Paulo, Trad. 2006.
51. POLÈSE, M. **Economia Urbana e Regional: Lógica Espacial das Transformações Econômicas**. Associação Portuguesa para o Desenvolvimento Regional. Trad. e adapt. de Henrique Soares de Albergaria e J.P. Barbosa de Melo. 1ª. Edição, junho de 1998.
52. PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARULHOS. **Expansão Urbana de Guarulhos**. Secretaria de Desenvolvimento Urbano, 2007.
53. REA, L.M. e PARKER, R.A. **Metodologia de Pesquisa, do Planejamento à Execução**, Editora Pioneira, 262 páginas, 2000.

54. Revista Superinteressante. *A matemática do som*. Editora Abril, Ed. 119, agosto de 1997.
55. ROGERSON, R.T. Environmental and Health-Related Quality of Life: Conceptual and Methodological Similarities. **Soc. Sci. Med.** Vol. 41, No. 10, pp. 1373-1382, 1995.
56. ROLLS-ROYCE. **Trent 1000: Optimised for the Boeing 787 Dreamliner™ Family**. Acesso em 12 de janeiro de 2009. Disponível em http://www.rollroyce.com/civilaerospace/downloads/airlines/trent_1000.pdf
57. SANDRI, S. e CORREA, C. (1999) **Lógica Nebulosa**. V Escola de Redes Neurais, 19 de julho de 1999, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, SP, pp. C073-c090.
58. SANTOS, C.J.F. dos. **Identidade urbana e globalização: A formação dos múltiplos territórios em Guarulhos**. São Paulo: Annablume; Guarulhos: Sindicato dos Professores de Guarulhos, 2006. 248 p.
59. SÃO PAULO. Decreto nº 50.860. **Lex Legislação Estadual de São Paulo**, Jun 2006.
60. SÃO PAULO. Decreto nº 51.978. **Lex Legislação Estadual de São Paulo**, Jul 2007.
61. SHEPARD, R.B. **Quantifying Environmental Impact Assessments Using Fuzzy Logic**. Springer Science+Business Media, Inc., 2005.
62. SIMÕES, M. G. e SHAW, I.S. **Controle e modelagem fuzzy**. São Paulo: Blucher: FAPESP, 2007.
63. TAKASHI, A. e BRODEGAL, B.R.C. T-Normas, T-Conormas, Complementos e Implicações Intervalares. **TEMA Tend. Mat. Apl. Comput.**, n.7, v.1, p. 139-148, 2006.
64. TEODOROVIC, D. Fuzzy logic systems for transportation engineering: the state of the art. **Transportation Research Part A** 33, p. 337-364, 1999.
65. TSOUKALAS, L.H. e UHRIG, R. E. **Fuzzy and Neural Approaches in Engineering**. John Wiley & Sons, 1997.
66. VILLAT, Valdir Gil et al. (2008). Lógica nebulosa aplicada a estudos na ionosfera terrestre. VIII Encontro Regional. de. Matemática Aplicada e Computacional. Natal, 20, 21 e 22 de Novembro. **ERMAC 2008**,
67. YEH, C.H. e CHANG, Y.H. Modeling subjective evaluation for fuzzy group multicriteria decision making. **European Journal of Operational Research**, n. 194 p. 464-473, 2009.
68. YEN, J. Fuzzy Logic – a modern perspective. **IEEE Transactions on knowledge and data engineering**, n. 1, v. 11, Jan/Feb 1999.

69. ZAHEERUDDIN e JAIN, V.K. A fuzzy expert system for noise-induced sleep disturbance. **Expert Systems with Applications**, n. 30, p. 761–771, 2006.

APÊNDICE 1

Apêndice 1 – Conceitos fundamentais de Lógica *Fuzzy* pertinentes a este trabalho

Da mesma forma como acontece com os conjuntos na teoria clássica, é necessário efetuar-se operações com os conjuntos *fuzzy*. Essas operações foram primeiramente descritas por Lotfi Zadeh (SHEPARD, 2005) e podem ser união, intersecção e negação, entre outras. Em Takashi e Brodegal (2006), vê-se que para efetuar operações entre conjuntos são utilizadas as t-normas, ou t-conormas. Uma t-norma é uma norma triangular, geralmente utilizada para representar o operador AND, ou a **intersecção** entre conjuntos. Segundo Oliveira, Jr. (2007) e Simões e Shaw (2007) existem alguns tipos de t-normas, como por exemplo:

a) Mínimo

$T_{\min}(A, B) = \min(\mu_A, \mu_B)$ que significa que, para cada elemento x do par ordenado, o valor de μ será a menor pertinência entre A e B .

b) Produto Algébrico

$T_{pa}(A, B) = (\mu_A \times \mu_B)$ que significa que, para cada elemento x do par ordenado, o valor de μ será dado pela multiplicação entre as pertinências de A e B .

A intersecção de dois conjuntos *fuzzy* A e B é definida como o conjunto *fuzzy* com a seguinte função de pertinência:

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[(\mu_A(x), \mu_B(x))]$$

onde μ_A, μ_B são as respectivas funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* A e B .

Observa-se que o operador da intersecção entre dois conjuntos *fuzzy* A e B é o mínimo. Isto ocorre por que a intersecção entre dois conjuntos é a parte comum entre eles, e por isso, é sempre menor que qualquer um dos conjuntos individuais. Por essa razão, o vetor de pertinência $A \cap B$ pode ser calculado dos valores individuais de A e B .

A função de pertinência $\mu_{A \cap B}(u)$, $u \in U$, da intersecção $A \cap B$, pode ser definida, ponto a ponto por: $\mu_{A \cap B}(u) = \mu_A(u) \mathbf{t} \mu_B(u) \leq \min[\mu_A(u), \mu_B(u)]$, onde \mathbf{t} é a norma-t ou norma

triangular de uma interseção. A norma-t é uma função de duas entradas definida nos domínios $t: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, onde X denota o operador de produto cartesiano.

Já as t-conormas servem para implementação da **união** entre conjuntos, com aplicação do operador OR. São comuns as seguintes t-conormas:

a) Máximo

$S_{\max}(A,B) = \max(\mu_A, \mu_B)$, ou seja, para cada elemento x do par ordenado, o valor de μ será a maior pertinência entre A e B.

b) Soma Algébrica

$S_{sa}(A,B) = (\mu_A + \mu_B) - (\mu_A \times \mu_B)$; ou seja, soma-se as pertinências e diminui-se o seu produto.

A união entre dois conjuntos *fuzzy* A e B é definida como o conjunto *fuzzy* com função de pertinência determinada por:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max[(\mu_A(x), \mu_B(x))]$$

onde μ_A , μ_B são as respectivas funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* A e B.

No caso da união entre dois conjuntos *fuzzy* A e B, o operador é o máximo. Isto ocorre por que o resultado da união entre dois conjuntos é a área compreendida pelo contorno de ambos, sendo, portanto, maior que qualquer um dos conjuntos individualmente.

A função de pertinência $\mu_{A \cup B}(u)$, $u \in U$, da união $A \cup B$, pode ser definida, ponto a ponto, por: $\mu_{A \cup B}(u) = \mu_A(u) \text{ s } \mu_B(u) \leq \max[\mu_A(u), \mu_B(u)]$, onde s é a co-norma triangular de uma união. A norma-s é uma função de duas entradas definida nos domínios $s: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, onde X denota o operador de união. Após a definição dos conjuntos *fuzzy* de entrada, ou *inputs*, e a fuzzificação das variáveis com a atribuição dos graus de pertinência, aplica-se o mecanismo de inferência *fuzzy*.

O conjunto nebuloso equivalente de NOT é o complemento de um conjunto *fuzzy*, definido como $\neg A^{\rightarrow} = A^{\rightarrow}$ ou $\neg A^{\rightarrow}$ e não será considerado neste trabalho.

APÊNDICE 2

Apêndice 2 – Questionário utilizado na pesquisa de campo

Este questionário é instrumento de pesquisa de doutoramento desenvolvida no Instituto Tecnológico de Aeronáutica sobre o tema Tarifa de Ruído Aeronáutico.

1. Em que bairro você mora/trabalha?

Mora: _____ Há quanto tempo? _____

Trabalha: _____ Há quanto tempo? _____

2. Qual a sua idade? _____

3. Com relação às condições do barulho da cidade, você diria que, nos últimos doze meses, você se sentiu incomodado:

a) Pelo ruído do trânsito de modo geral (ônibus, automóveis, caminhões :

() nem um pouco () fracamente () razoavelmente () fortemente () extremamente

b) Pelo ruído aeronáutico, em particular:

() nem um pouco () fracamente () razoavelmente () fortemente () extremamente

c) Por outros ruídos urbanos (crianças brincando, animais, máquinas trabalhando na rua:

() nem um pouco () fracamente () razoavelmente () fortemente () extremamente

4. Com relação ao ruído causado pelos aviões (ruído aeronáutico), nos vários horários do dia, você diria que, nos últimos doze meses, você se sentiu incomodado:

Hora do dia	nem um pouco	um fracamente	razoavelmente	fortemente	extremamente
06h às 10h					
10h às 14h					
14h às 18h					
18h às 22h					
22h às 06h					

5. Nos últimos doze meses, você sentiu vontade de trocar de residência por causa do ruído urbano em geral:

() nem um pouco () fracamente () razoavelmente () fortemente () extremamente

6. Nos últimos doze meses, você sentiu vontade de trocar de residência por causa do ruído causado pelos aviões (ruído aeronáutico):

() nem um pouco () fracamente () razoavelmente () fortemente () extremamente

7. Você já pensou em vender seu imóvel por causa do ruído dos aviões? Você estaria disposto a baixar o preço do seu imóvel para facilitar a venda? Quantos por cento?

8. A renda de sua família, somados todos os moradores da casa, é de quantos salários mínimos? (Esta resposta é opcional) _____

9. Você já viajou de avião? Se positivo, quantas vezes nos últimos doze meses?

() Sim () Não Número de vezes: _____

10. Você gostaria de acrescentar alguma pergunta/informação sobre o ruído aeronáutico na cidade de Guarulhos? _____.

APÊNDICE 3

Apêndice 3 - Cálculo da tarifa de ruído de acordo com o modelo desenvolvido neste trabalho, para aeronaves que operam no Aeroporto Internacional de São Paulo

Modelo	Empuxo (kN)	MTOW	Modelo do Motor	Nível de Ruído (EPNdB)			Hora do voo					
				Decolagem	Pouso	SEL	08h		14h		22h	
							M	Tarifa (R\$)	M	Tarifa (R\$)	M	Tarifa (R\$)
A320-231	113,4	162.00	V2500.A1	86,6	96,6	97,01	0,994	404,18	0,881	358,23	1,09	443,21
A340-212	144,57	595.25	CFM56-5C3	96,1	97,2	99,70	0,996	1.488,10	0,882	1.317,77	1,1	1.643,48
B727-200(FED EX)	64,5	177.60	JT8D-9 w/BOEING INLET+CHIN CSD	94,7	99,7	100,89	0,997	444,43	0,893	398,07	1,1	490,35
B-747-400	252,4	600.00	CF6-80C2B1F	89,6	101,7	101,96	0,997	1.501,50	0,898	1.352,38	1,1	696,87
B-747-400	252,4	600.00	PW4056	89,5	103,1	103,29	0,999	1.504,94	0,902	1.358,41	1,2	1807,2
B-777-200	338	555.00	RR TRENT 877	91,7	99,5	100,17	0,996	1.387,47	0,881	1.227,27	1,1	1.532,35
B-777-300	409	550.00	RR TRENT 892	88,4	99,2	99,55	0,996	1.374,97	0,881	1.216,22	1,1	1.518,55
MD-11	273,6	602.50	CF6-80C2D1F	92,8	103,6	103,95	1,0	686,73	0,904	620,80	1,1	755,40
MD-11	276	630.50	PW4462	95	104,4	104,87	1,01	1.598,38	0,91	1.440,12	1,2	1.899,06

Obs.: 1. As operações que ocorrem nos horários de 08h e 14h recebem redução na tarifa de pouso, de forma coerente com o nível de incômodo reportado pelos moradores nesses horários. Por outro lado, as operações que ocorrem no período noturno recebem sobre-tarifa, correspondendo ao custo imposto pelo incômodo que provocam.

2. M indica o multiplicador da tarifa de pouso.

ANEXO 1

Anexo 1 – Demonstração do cálculo das tarifas de ruído praticadas em aeroportos selecionados

1. Aeroporto: Augsburg Airport

País: Alemanha

Tabela 1: Válida para aeronaves com certificação de ruído e com ruído menor que 8 dB(A) abaixo do limite, aeronaves a jato, de acordo com o Anexo 16 da ICAO (Capítulos 3 a 8)

Tabela 2: Válida para aeronaves com certificação de ruído e com ruído maior que 4 e menor que 8 dB(A) abaixo do limite, aeronaves a jato, de acordo com o Anexo 16 da ICAO (Capítulo 3)

Tabela 3: Válida para aeronaves com certificação de ruído e nível de ruído menor que 4 dB(A) abaixo do limite (Capítulos 3 e 4)

Tabela 4: Válida para aeronaves não certificadas ou com ruído acima do limite (que não pertencem ao Capítulo 3)

MTOW	Tarifas de Pouso, por tonelada (EUR)							
	Tabela 1		Tabela 2		Tabela 3		Tabela 4	
	Pouso	Aproximação*	Pouso	Aproximação*	Pouso	Aproximação*	Pouso	Aproximação*
< 1.200 kg	6.00	2.00	10.00	2.50	18.00	4.5	26.00	6.50
Entre 1.201 e 2.000 kg	16.00	4.00	26.00	6.50	46.00	11.50	66.00	16.50
> 2.000 kg	10.00	2.50	16.00	4.00	28.00	7.00	40.00	10.00

*Taxas de aproximação são cobradas por todos os vôos IFR e todos os vôos que utilizem serviços ATC (Air Traffic Control).

2. Aeroporto: Bremen Airport
País: Alemanha

Tarifa de Pouso		Vôos internacionais e domésticos
Turbo Jet Powered Airplanes		Taxa por tonelada
Capítulo 3		
Com bônus		EUR 7.60
Sem bônus:		
- entre 22h00 e 06h00		EUR 11.45
Capítulo 2		EUR 23.85
Em não conformidade com o Anexo 16 da ICAO		EUR 38.15
Aeronaves com bônus		
Todas as aeronaves com MTOW abaixo de 25 toneladas e, ainda:		
A300	B717	DC8-70
A310	B727(3 Tay re-engined)	DC10
A318/319/A320/A321	B737-300 to 900	MD90
A330	B747-400	MD10/11
A340	B757	Gulfstream IV/V
L1011 Tristar	B767	AVRO RJ series
Fokker 100/70	B777	BAe 146
CRJ700	Tupolev 204	Global Express (GLEX)
Canadair Reg. Jet 100/200 (CR1, CR2)		

3. Aeroporto: Dresden Airport
País: Alemanha

Tarifa de Pouso	Vôos internacionais e domésticos
Turbo Jet Powered Airplanes	Taxa por tonelada
Capítulo 3	
Com bônus	EUR 6.71
Sem bônus:	EUR 7.74
Capítulo 2	EUR 17.04
Entre 02h00 e 06h00	EUR 29.71
Em não conformidade com o Anexo 16 da ICAO	EUR 34.37
Entre 21h00 e 05h00	EUR 52.93
Capítulos 3, 6 (-8dB(A)), 10 (-4dB(A))	EUR 6.71
Capítulos 5, 6, 8 e 10	EUR 7.74
Aeronaves não Certificadas	EUR 34.37

Aeronaves com bônus		
Todos os tipos de aeronaves com MTOW abaixo de 25 toneladas e, ainda:		
A300	B727(3 Tay re-engined)	DC8-400, DC8-70
A310	B737-300 to -800	DC10
A319	B747-400	MD11
A320	B757	MD 90
A321	B767	Gulfstream IV; V
A330	B777	BAe 146/SBTO RJ series
A340	B717	Fokker 100/70
Canadair CR J700	Lockheed Tristar L1011	Tupolev TU 204

4. Aeroporto: Hamburg Airport
País: Alemanha

Classes de ruído – dB(A)						
1	2	3	4	5	6	7
até 71,9	72,0- 74,9	75,0- 77,9	78,0- 80,9	81,0- 83,9	84,0- 86,9	Acima de 87,0
Tarifa, em Euros						
5.50	13.00	27.00	55.00	160.00	421.00	1350.00
Aeronaves						
AC69	AT722	A3181	A300F	A3006	A3004	AN12
AC6T	AT725	A3191	A3202	A3102	A3302	B7073
AC70	BA31	AJ25	A3211	A3103	A3303	B7272
AT42	BA461	AJ25	A3212	A3201	AN26	B727F
AT422	BE55	AN2	B7373	A3402	B7271	B7472
AT423	BE58	B7376	B7375	A3403	B747S	B7473
AT424	BE60	BA462	B7377	B7374	DC93	BA115
AT425	BN2	BA463	B7378	B7474	DC94	C141
ATP	C406	BBJ	B7572	B7573	FK28	DC103
BA41	C525	BJ40	B757F	B7673	LR24	DC86
BE02	CJ1	C337	BE40	B7772	MD81	IL62
BE10	CJ2	C340	BH06	C130	MD82	IL76
BE20	CRJ7	C551	DA20	DC101	MD83	IL86
BE30	D328J	C560	DA21	DC3	MD88	TU34
BE3B	E121	C650	DA50	DC92	TU54	YK42
...						

5. Aeroporto: Bordeaux
País: França

Vôos da União Européia e Domésticos - Pousos	
MTOW em toneladas (t)	Valor (em EURO)
até 6 t	6.26 (tarifa fixa)
7 t até 25 t	2.24 por tonelada acima de 6 t
de 26 t até 75 t	5.14 por tonelada acima de 25 t
76ª. Tonelada e acima	6.62 por tonelada acima de 75 t
Vôos Internacionais - Pousos	
MTOW em toneladas (t)	Valor (em EURO)
até 6 t	16.37 (tarifa fixa)
7 t até 25 t	2.73 por tonelada acima de 6 t
de 26 t até 75 t	5.48 por tonelada acima de 25 t
76ª. tonelada e acima	7.70 por tonelada acima de 75 t

Grupo de ruído	Fator multiplicador da Tarifa de Pouso:
1	1.30
2	1.20
3	1.15
4	1.00
5	0.85

6. Aeroporto: Nice-Riviera Airport (Cote D'Azur)
País: França

1ª. Etapa:

Pousos internacionais		
MTOW em toneladas (t)*	Tarifa fixa EURO	+ taxa por tonelada
até 18 t	55.30	
18-25 t	55.30	+ 3.30 acima de 18 t
25-50 t	78.41	+ 4.21 acima de 25 t
50-75 t	183.64	+ 4.87 acima de 50 t
Acima de 75 t	305.39	+ 6.86 acima de 75 t
Pousos domésticos		

MTOW em toneladas (t)	Tarifa fixa EUR	+ taxa por tonelada
até 18 t	38.79	
18-25 t	38.79	+ 2.48 acima de 18 t
25-50 t	56.12	+ 4.13 acima de 25 t
50-75 t	159.27	+ 4.59 acima de 50 t
Acima de 75 t	274.00	+ 5.91 acima de 75 t

2ª. Etapa: ajuste da tarifa de pouso:

Desde 1984, a tarifa de pouso é ajustada de acordo com o nível de ruído emitido pelas aeronaves, classificadas em grupos:

Grupo 1	1.30
Grupo 2	1.20
Grupo 3	1.15
Grupo 4	1.00
Grupo 5	0.85

3ª. Etapa: Cálculo da tarifa de ruído, aplicada a cada decolagem:

$Tax = b \times t \times \log(MTOW)$

b= coeficiente de acordo com o horário da partida e o grupo de ruído ao qual pertence a aeronave.

t= taxa única: EURO 6.00 (ajustada anualmente pelo nível de preços)

Grupo da Aeronave	Coeficiente		
	Hora da partida		
	06h00-18h00	18h00-22h00	22h00-06h00
1	12	36	120
2	12	36	120
3	6	18	50
4	2	6	12
5a	1	3	6
5b	.5	1.5	5

7. Aeroporto: Charles de Gaulle
País: França

Tarifas de Pousos Domésticos e Internacionais		
MTOW*	Tarifa Fixa	+ Taxa por tonelada (EURO)
até 25t	EUR 171.06	
de 25t até 50t	EUR 171.06	+ 4.51 acima de 25 t
acima de 50t t	EUR 283.81	+ 7.89 acima de 50 t
Aeronaves cargueiras	14% de desconto	
Multiplicador da tarifa de pouso de acordo com o ruído da aeronave (desde 1984):		
Grupo acústico da aeronave	Vôos diurnos 06h01-23h29	Vôos noturnos 23h30-06h00
1	1.30	2.90
2	1.20	2.70
3	1.15	2.50
4	1.00	1.00
5	0.85	0.90

8. Aeroporto: Gatwick Airport
País: Reino Unido

MTOW	Hora de pico	Fora de pico
Asa Fixa até 16 t	GBP 418.00	118.75
Capítulo 3(-) (QC1/0.5)		
até 55 t	Tarifa fixa GBP 376.20	106.88
acima de 55 t	Tarifa fixa GBP 376.20	120.96
Capítulo 3 - Básica		
até 55 t	Tarifa fixa GBP 418.00	118.75
acima de 55 t	Tarifa fixa GBP 418.00	134.40
Capítulo 3 - Alta		
até 55 t	Tarifa fixa GBP 627.00	178.13
acima de 55 t	Tarifa fixa GBP 627.00	201.60
Capítulo 2 (não voam mais no Reino Unido, exceto com autorização especial da empresa administradora do Aeroporto)		
até 55 t	Tarifa fixa GBP 1254.00	356.26

acima de 55 t	Tarifa fixa GBP 1254.00	403.20
Notes:		
1. Tarifa de pouso:		
Pico: 1o. de Abril a 31 de outubro, das 06h00 às 11h59 e das 17h00 às 18h59 GMT		
Fora de pico: todos os outros horários		
2. Capítulo 3 - Básica		
Esta tarifa se aplica a aeronaves com MTOW acima de 16 t e que atenda às restrições de ruído definidas pela Seção 3 do <i>Noise Restrictions Notice</i> , publicado pela Autoridade de aviação Civil do Reino Unido.		
3. Capítulo 3 – Alta		
Esta tarifa se aplica às aeronaves Cap 3 cujo ruído é menor que 5 EPNdB abaixo dos limites definidos pela ICAO para uma aeronave Capítulo 3. Exemplos: AN 124; BAC1-11; Boeing 707/720B; Boeing 727-100/200; Boeing 737-200; Boeing 747-100/200/300/SP; DC8-50/62/63; DC9-30/40/50; DC10-10; Fokker F28; IL-62M; IL-86; TU-134; TU-154M e YAK-42.		

9. Aeroporto: Kiruna Airport

País: Suécia

Cálculo: $C_{tot} = C \times (10^{[(L_a - T_a)/10]} + 10^{[(L_d - T_d)/10]})$, onde:

C_{tot} = Tarifa de pouso

C = Tarifa de ruído = SEK 10.00 (Tarifa máxima = SEK 200.00)

L_a = nível da aproximação de cada aeronave

T_a = Mínimo *threshold* no pouso

L_d = ruído médio em *sideline* e decolagem para cada aeronave

T_d = Mínimo *threshold* na decolagem

Se $L_a - T_a$ ou $L_d - T_d$ for 0 ou negativo, o fator referente a essa parcela é 0.

10. Aeroporto: Adelaide International

País: Austrália

Tarifa de ruído é calculada por $AUD 200.96 \times 2^{(ANL-265)/15}$

Capítulo 2: ANL (*assessed noise level*) é a soma do ruído, em dB, para pouso, decolagem e *sideline* mais 3.5. Aeronaves Cap. 2 voam apenas em condições especiais.

Capítulo 3: ANL é a soma do ruído, em dB, para pouso, decolagem e *sideline*

11. Aeroporto: Brisbane**País: Austrália**

Tarifa de pouso: AUD 10.97 por tonelada de MTOW

Tarifa mínima: AUD 60.00 por tonelada de MTOW

Sobre-tarifa para pouso ou decolagem entre 07h00 e 10h00 e entre 16h00 e 19h00: AUD 200.00

Há acréscimo de 25% sobre o valor da tarifa para aeronaves Capítulo 3, que eram originalmente Capítulo 2.

12. Aeroporto: Sidney Kingsford Smith**País: Austrália**

A tarifa de ruído é dada por: $AUD\ 200.96 \times 2^{(ANL-265)/15}$

Capítulo 2: ANL (assessed noise level) é a soma do ruído, em dB, para pouso, decolagem e sideline mais 3.5. Aeronaves Cap. 2 voam apenas em condições especiais.

Capítulo 3: ANL é a soma do ruído, em dB, para pouso, decolagem e sideline.

Observações:

O programa de mitigação de impacto (Sydney Airport Noise Amelioration Programme - SANAP) utiliza recursos gerados pela aplicação das tarifas de ruído e, até 2004, obteve os seguintes resultados:

- aquisição voluntária de residências e uma igreja localizados dentro de área de 40 Australian Noise Exposure Forecast.

- insonorização de residências dentro da área de 30 ANEF.

- insonorização de prédios públicos (escolas, hospitais e igrejas) dentro da área de 25 ANEF.

- 4086 residências insonorizadas

- 147 residências e um prédio público adquiridos (3 proprietários não aceitaram vender)

- 25 escolas insonorizadas, 1 with work underway

- 29 creches insonorizadas.

- 7 casas de repouso insonorizadas.

-34 igrejas completed, 2 with work underway and 1 recusou-se a vender.

Entre 1995 e 2004 foram arrecadados 365 milhões de dólares em tarifas de ruído. O programa gastou 411 milhões no mesmo período.

13. Aeroporto: Innsbruck Airport**País: Áustria**Grupo 1: [EUR 1015.06](#)

B727-200, B737-200(Mixer & Hush Kit), B747-400, DC8-70, DC9-10/20 Hush Kit, MD80/81/82/83, DC10-30/30ER, MD11, Yak-42, Tristar L-1011-500, Gulfstream III

Grupo 2: [EUR 609.04](#)

A-300/B2/B4, A-300-600, A310-300, A340-200/300/500/600, B767-200/ 200ER/300/300ER, DC9-40 Hush Kit(JT8D), DC10-10/40, Tristar L-1011-100/200, TU-154M(Soloviev D-30), Fokker VFW-614, Morane MS-760, Piaggio PD-808, YAK-40

Grupo 3: [EUR 304.52](#)

A-310-200, A330-200/300, B-777-200/200ER/300/300ER, MD87, IL-96M-300, Falcon-20/50/900, Falcon 200, Mystere, Jetstar L-1329/II(TFE 731), Mitsubishi MU-300, Diamond 1/BE40, Sabreliner NA-265/65-80, (TFE), Westwind IAI-1124/AJ25(TFE).

A tarifa tem valor específico que não incide sobre a tarifa de pouso ou decolagem.

Cap.. 2 com peso > 75.000 lbs não voam desde maio de 1990, exceto para socorro médico e aeronaves militares.

14. Aeroporto: Viena International**País: Áustria**

Tarifa de [EUR 1.12 por passageiro embarcando](#), somada à tarifa de embarque. É aplicada desde janeiro de 2006.

15. Aeroporto: Prague Ruzyne Airport**País: República Checa**

Categoria 1: CZK 5.7 por tonelada

Categoria 1: CZK 11.4 por tonelada

Categoria 1: CZK 28.5 por tonelada

Categoria 1: CZK 63.5 por tonelada

Categoria 1: CZK 127.5 por tonelada

Tarifa calculada sobre o MTOW ou ruído na Certificação da aeronave.

Aplicável apenas a aeronaves com MTOW > 9 tons.

Valor de ruído de certificação da aeronave é comparado aos limites do Anexo 16 da ICAO e aplica-se a seguinte regra:

Categ.1: diferença ≥ 15 EPNdB

Categ.2: diferença entre 10 e 14.95 EPNdB

Categ. 3: diferença entre 5 e .95 EPNdB

Categ. 4: diferença entre 0 e 4.95 EPNdB

Categ. 5: diferença < 0 para aeronaves Cap.. 2

Medidas de insonorização de residências e prédios públicos iniciada em 1997: compromisso público da Autoridade Aeroportuária.

Até 2006 insonorização de 2367 casas, 2 abrigos, 2 centros de saúde e 3 escolas. Entre 1998 e 2006 o Programa de Insonorização despendeu EUR 18.500 provenientes das tarifas de ruído.

Proibição de construções novas na área de 75 dB. Construção na área de 65 dB somente com proteção acústica.

ANEXO 2

Anexo 2 – Relação de Aeronaves utilizadas neste estudo, de acordo com a AC36-1H

	Fabricante	Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL
1.	AEROSPATIALE	SN601 CORVETTE	11,10	13.90	JT15D-4	80,40	89,50	90,00
2.	AEROSPATIALE	SN601 CORVETTE	11,10	14.60	JT15D-4	74,00	90,00	90,11
3.	AIRBUS	A300 B4-605R	273,60	330.40	CF6-80C2A5F	87,40	99,50	99,76
4.	AIRBUS	A300 B4-605R	273,60	385.46	CF6-80C2A5F	91,50	100,00	100,57
5.	AIRBUS	A300B2-1C	227,00	291.00	CF6-50C2-R	89,90	102,90	103,11
6.	AIRBUS	A300B2-1C	227,00	313.00	CF6-50C2-R	91,80	103,10	103,41
7.	AIRBUS	A300B2-203	227,00	313.10	CF6-50-C2	91,10	103,10	103,37
8.	AIRBUS	A300B4-103	233,10	347.20	CF6-50-C2	93,60	103,00	103,47
9.	AIRBUS	A300B4-203	233,10	313.05	CF6-50C2	90,50	102,40	102,67
10.	AIRBUS	A300B4-203	233,10	363.70	CF6-50-C2	94,00	102,40	102,99
11.	AIRBUS	A300B4-622R	258,00	330.00	PW-4158	88,00	101,30	101,50
12.	AIRBUS	A300B4-622R	258,00	385.00	PW-4158	93,10	101,90	102,44
13.	AIRBUS	A310-221	214,00	305.60	JT9D-7R4D1	90,50	100,60	101,00
14.	AIRBUS	A310-304	231,00	275.58	CF6-80C2A2	85,70	98,50	98,72
15.	AIRBUS	A310-304	231,00	352.74	CF6-80C2A2	92,90	98,80	99,79
16.	AIRBUS	A310-324	231,00	330.69	PW-4152	90,60	100,20	100,65
17.	AIRBUS	A319-112	104,53	123.45	CFM56-5B6/P	78,50	93,70	93,83
18.	AIRBUS	A319-112	104,53	166.44	CFM56-5B6/P	86,30	94,40	95,03
19.	AIRBUS	A319-113	97,89	123.46	CFM56-5A4	80,10	94,00	94,17
20.	AIRBUS	A319-113	97,89	158.73	CFM56-5A4	87,50	94,80	95,54
21.	AIRBUS	A319-114	104,53	123.45	CFM56-5A5	79,50	94,00	94,15
22.	AIRBUS	A319-114	104,53	163.14	CFM56-5A5	86,80	94,80	95,44
23.	AIRBUS	A319-131	102,66	123.46	V2522-A5	79,20	94,00	94,14
24.	AIRBUS	A319-131	102,66	158.73	V2522-A5	85,30	94,50	94,99
25.	AIRBUS	A320-211	111,20	162.00	CFM56-5A1	87,80	96,40	96,96
26.	AIRBUS	A320-211	111,20	149.90	CFM56-5A1	85,30	96,40	96,72
27.	AIRBUS	A320-214	117,90	132.16	CFM56-5B4/P	78,80	95,50	95,59
28.	AIRBUS	A320-214	117,90	182.80	CFM56-5B4/P	88,00	95,80	96,47

Fabricante		Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL
29.	AIRBUS	A320-231	113,40	149.90	V2500.A1	84,00	96,60	96,83
30.	AIRBUS	A320-231	113,40	162.00	V2500.A1	86,60	96,60	97,01
31.	AIRBUS	A321-211	142,30	165.34	CFM56-5B3/P,Nº 27772	82,90	95,60	95,83
32.	AIRBUS	A321-211	142,30	205.02	CFM56-5B3/P,Nº 27772	89,80	96,60	97,42
33.	AIRBUS	A321-231	146,80	165.34	V2533A5	81,80	95,10	95,30
34.	AIRBUS	A321-231	146,80	205.02	V2433A5	88,20	95,80	96,50
35.	AIRBUS	A330-301	287,00	396.83	CF6-80E1A2	87,00	98,50	98,80
36.	AIRBUS	A330-301	287,00	507.06	CF6-80E1A2	94,20	98,70	100,02
37.	AIRBUS	A330-321	284,70	396.83	PW4164	88,50	97,30	97,84
38.	AIRBUS	A330-321	284,70	507.06	PW4164	95,60	98,00	99,97
39.	AIRBUS	A330-322	302,50	396.83	PW4168	87,60	97,30	97,74
40.	AIRBUS	A330-322	302,50	507.06	PW4168	94,30	98,00	99,54
41.	AIRBUS	A340-212	144,57	485.01	CFM56-5C3	88,10	97,30	97,79
42.	AIRBUS	A340-212	144,57	595.25	CFM56-5C3	96,10	97,20	99,70
43.	AIRBUS	A340-312	144,57	485.02	CFM56-5C3	88,00	97,30	97,78
44.	AIRBUS	A340-312	144,57	595.24	CFM56-5C3	96,20	97,20	99,74
45.	BAE SYSTEMS(AVRO)	146-RJ 100	31,15	95.00	LF 507-1F	83,80	97,20	97,39
46.	BAE SYSTEMS(AVRO)	146-RJ 100	31,15	101.50	LF 507-1F	86,10	97,60	97,90
47.	BAE SYSTEMS(AVRO)	146-RJ 70	31,15	84.00	LF 507-1F	80,20	97,50	97,58
48.	BAE SYSTEMS(AVRO)	146-RJ 70	31,15	84.00	LF 507-1F	81,90	97,50	97,62
49.	BAE SYSTEMS(AVRO)	146-RJ 70	31,15	90.00	LF 507-1F	84,10	97,50	97,69
50.	BAE SYSTEMS(AVRO)	146-RJ 70	31,15	95.00	LF 507-1F	83,60	97,50	97,67
51.	BAE SYSTEMS(AVRO)	146-RJ 85	31,15	89.50	LF 507-1F	81,90	96,90	97,04

Fabricante	Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL
52. BAE SYSTEMS(AVRO)	146-RJ 85	31,15	97.00	LF 507-1F	84,30	97,30	97,51
53. BAE SYSTEMS(Bae)	146-100A	30,00	76.00	ALF502R-3	80,70	95,10	95,25
54. BAE SYSTEMS(Bae)	146-100A	30,00	76.00	ALF502R-3A	79,00	94,90	95,01
55. BAE SYSTEMS(Bae)	146-100A	30,00	82.25	ALF502R-3A	82,30	95,20	95,42
56. BAE SYSTEMS(Bae)	146-100A	31,00	82.25	ALF502R-5	82,30	95,20	95,42
57. BAE SYSTEMS(Bae)	146-110A	31,00	84.00	ALF502R-5	81,80	95,60	95,78
58. BAE SYSTEMS(Bae)	146-200A	30,00	89.50	ALF502R-3	85,90	95,60	96,04
59. BAE SYSTEMS(Bae)	146-200A	30,00	89.50	ALF502R-3A	84,90	95,60	95,95
60. BAE SYSTEMS(Bae)	146-200A	31,00	89.50	ALF502R-5	84,90	95,60	95,95
61. BAE SYSTEMS(Bae)	146-200A	31,00	93.00	ALF502R-5	85,20	95,80	96,16
62. BAE SYSTEMS(Bae)	146-300A	31,00	95.00	ALF 502R-5	86,00	96,00	96,41
63. BAE SYSTEMS(Bae)	146-300A	31,00	97.50	ALF502R-5	86,50	95,60	96,10
64. BEECH	BEECHJET 400	13,90	15.78	JT15D-5	88,60	91,40	93,23
65. BOEING	B-707-300B/C(QSI STC:ST00702LA	84,40	215.00	JT3D-3B	96,20	101,40	102,55
66. BOEING	B-707-300B/C(QSI STC:ST00702LA	84,40	336.00	JT3D-3B	99,50	102,90	104,53
67. BOEING	B-717-200	82,30	104.50	BR700-715A1-30	79,60	91,30	91,58
68. BOEING	B-717-200	93,40	104.50	BR700-715C1-30	78,10	91,30	91,50
69. BOEING	B-717-200	93,40	104.50	BR700-715C1-30(MP)	78,70	91,30	91,53
70. BOEING	B-717-200	82,30	121.00	BR700-715A1-30	84,00	91,60	92,30
71. BOEING	B727-100(DUGAN AIR STC)	62,30	160.50	JT8D-7	93,50	97,20	98,74

Fabricante		Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL
72.	BOEING	B727-200(DUGAN AIR STC)	68,90	190.50	JT8D-15	94,90	97,00	99,09
73.	BOEING	B727-200(DUGAN AIR STC)	68,90	209.41	JT8D-15	97,00	97,00	100,01
74.	BOEING	B727-200(DUGAN AIR STC)	64,50	190.50	JT8D-9	95,00	97,00	99,12
75.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA4833NM)	64,50	172.50	JT8D-9 w/BURBANK INLET+CHIN CSD	94,60	100,10	101,18
76.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA4833NM)	64,50	169.50	JT8D-9 w/BURBANK INLET+FAN CSD	94,10	100,20	101,15
77.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA4833NM)	64,50	177.60	JT8D-9 w/BOEING INLET+CHIN CSD	94,70	99,70	100,89
78.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA4833NM)	64,50	177.60	JT8D-9 w/BOEING INLET+FAN CSD	94,70	99,70	100,89
79.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA4833NM)	64,50	177.60	JT8D-9 w/BURBANK INLET+FAN CSD	94,10	100,30	101,23
80.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA4833NM)	64,50	177.60	JT8D-9 w/BURBANK INLET+CHIN CSD	94,10	100,30	101,23
81.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	64,50	155.00	JT8D-9 w/BOEING INLET+CHIN CSD	89,20	97,40	98,01
82.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	64,50	155.00	JT8D-9 w/BOEING INLET+FAN CSD	89,20	97,40	98,01
83.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	64,50	155.00	JT8D-9 w/BURBANK INLET+FAN CSD	88,50	98,00	98,46
84.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	64,50	155.00	JT8D-9 w/BURBANK INLET+CHIN CSD	88,50	98,00	98,46
85.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	68,90	160.00	JT8D-15 w/BOEING INLET+CHIN CSD	92,20	97,60	98,70
86.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	68,90	160.00	JT8D-15 w/BOEING INLET+FAN CSD	92,20	97,60	98,70
87.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	68,90	178.90	JT8D-15 w/BURBANK INLET+FAN CSD	94,30	98,20	99,68
88.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	77,30	184.20	JT8D-17 w/BOEING INLET+CHIN OR FAN CSD	95,30	97,60	99,61
89.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	77,30	184.20	JT8D-17 w/BOEING INLET+CHIN OR FAN CSD	94,80	98,20	99,83
90.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	77,30	190.50	JT8D-17R w/BOEING INLET+CHIN OR FAN CSD	96,40	97,60	100,05
91.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	77,30	197.00	JT8D-17R w/BOEING INLET+CHIN OR FAN CSD	96,00	97,60	99,88

Fabricante		Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL
92.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	77,30	184.50	JT8D-17R w/BURBANK INLET+CHIN OR FAN CSD	94,80	98,20	99,83
93.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	77,30	197.50	JT8D-17R w/BURBANK INLET+CHIN OR FAN CSD	96,90	98,40	100,72
94.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	68,90	199.05	JT8D-15 w/BOEING INLET+CHIN CSD	97,60	98,10	100,87
95.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	68,90	199.05	JT8D-15 w/BOEING INLET+FAN CSD	97,60	98,10	100,87
96.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	77,30	203.10	JT8D-17 w/BOEING INLET+CHIN OR FAN CSD	96,80	98,00	100,45
97.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	64,50	196.00	JT8D-9 w/BOEING INLET+CHIN CSD	97,50	98,00	100,77
98.	BOEING	B727-200(FED EX; STC SA5839NM)	64,50	196.00	JT8D-9 w/BOEING INLET+FAN CSD	97,50	98,00	100,77
99.	BOEING	B727-200(RAISBECK STC ST00399SE)	64,50	166.40	JT8D-9	96,50	97,60	100,10
100.	BOEING	B727-200(RAISBECK STC ST00555SE)	64,50	179.70	JT8D-9	97,00	97,20	100,11
101.	BOEING	B727-200(RAISBECK STC ST00685SE)	68,90	193.00	JT8D-15	97,40	99,90	101,84
102.	BOEING	B-727-200 RE(ROHR STC SA4363NM)	64,50	190.50	JT8D-219/JT8D-9	90,90	98,80	99,45
103.	BOEING	B-727-200 RE(ROHR STC SA4363NM)	68,90	184.00	JT8D-217C/JT8D-15	89,80	98,90	99,40
104.	BOEING	B-727-200 RE(ROHR STC SA4363NM)	64,50	184.00	JT8D-217C/JT8D-9	90,20	98,90	99,45
105.	BOEING	B-727-200 RE(ROHR STC SA4363NM)	77,30	190.50	JT8D-217C/JT8D-17	91,20	99,00	99,67
106.	BOEING	B-727-200 RE(ROHR STC SA4363NM)	77,30	209.50	JT8D-217C/JT8D-17	95,20	99,00	100,51
107.	BOEING	B-727-200 RE(ROHR STC SA4363NM)	64,50	198.50	JT8D-217C/JT8D-9	93,70	99,00	100,12
108.	BOEING	B-727-200 RE(ROHR STC SA4363NM)	68,90	198.70	JT8D-219/JT8D-15	92,70	99,00	99,91
109.	BOEING	B-727-200 RE(ROHR STC SA4363NM)	64,50	198.70	JT8D-219/JT8D-9	93,00	99,00	99,97
110.	BOEING	B-727-200 RE(ROHR STC SA4363NM)	68,90	209.42	JT8D-217C/JT8D-15	95,30	99,10	100,61
111.	BOEING	B-737-200(AVAREO;STC ST223CH)	71,20	128.10	JT8D-17	91,40	96,70	97,82
112.	BOEING	B-737-200(AVAREO;STC ST223CH)	68,90	100.80	JT8D-15	83,70	97,20	97,39
113.	BOEING	B-737-200(AVAREO;STC ST223CH)	64,50	100.80	JT8D-9	85,20	97,20	97,47
114.	BOEING	B-737-200(AVAREO;STC ST223CH)	68,90	100.50	JT8D-15	84,90	98,60	98,78
115.	BOEING	B-737-200(AVAREO;STC ST223CH)	64,50	100.50	JT8D-9	86,30	98,60	98,85
116.	BOEING	B-737-200(AVAREO;STC ST223CH)	68,90	121.50	JT8D-15	91,30	96,30	97,49

Fabricante		Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL
117.	BOEING	B-737-200(AVAREO;STC ST223CH)	71,20	128.10	JT8D-17	91,40	94,80	96,43
118.	BOEING	B-737-200(AVAREO;STC ST223CH)	64,50	118.50	JT8D-9	91,50	96,30	97,54
119.	BOEING	B-737-200(AVAREO;STC ST223CH)	64,50	121.50	JT8D-9	91,50	98,00	98,88
120.	BOEING	B-737-200(NORDAM;STC ST00131SE)	68,90	119.50	JT8D-15 w/LGW HUSHKIT	91,10	95,80	97,07
121.	BOEING	B-737-200(NORDAM;STC ST00131SE)	68,90	119.50	JT8D-15 w/LGW HUSHKIT	90,20	95,80	96,86
122.	BOEING	B-737-200(NORDAM;STC SA5730NM)	64,50	110.20	JT8D-9	87,30	98,20	98,54
123.	BOEING	B-737-200(NORDAM;STC SA5730NM)	68,90	105.60	JT8D-15	84,60	98,40	98,58
124.	BOEING	B-737-200 ADV (NORDAM;STC SA5730NM)	71,20	115.50	JT8D-17	86,80	98,40	98,69
125.	BOEING	B-737-200 ADV (NORDAM;STC SA5730NM)	64,50	124.50	JT8D-9	91,90	98,60	99,44
126.	BOEING	B-737-200 ADV (NORDAM;STC ST00131SE)	68,90	121.60	JT8D-15 w/LGW HUSHKIT	91,70	95,90	97,30
127.	BOEING	B-737-200 ADV (AVAERO;STC ST223CH)	68,90	100.80	JT8D-15	83,70	96,90	97,10
128.	BOEING	B-737-200 ADV (AVAERO;STC ST223CH)	64,50	100.80	JTD8-9	85,30	96,90	97,19
129.	BOEING	B-737-200 ADV (AVAERO;STC ST223CH)	64,50	100.50	JT8D-9	86,40	98,30	98,57
130.	BOEING	B-737-200 ADV (AVAERO;STC ST223CH)	68,90	124.50	JT8D-15	91,80	96,30	97,62
131.	BOEING	B-737-200 ADV (AVAERO;STC ST223CH)	71,20	128.10	JT8D-17	91,20	94,80	96,37
132.	BOEING	B-737-200 ADV (AVAERO;STC ST223CH)	64,50	121.50	JT8D-9	91,50	97,70	98,63
133.	BOEING	B-737-300	89,00	124.50	CFM56-3 w/HWFAP	82,40	98,50	98,61
134.	BOEING	B-737-300	89,00	124.50	CFM56-3 w/HWFAP	81,60	98,50	98,59
135.	BOEING	B-737-300	89,00	124.50	CFM56-3 w/HWFAP	81,60	97,40	97,51
136.	BOEING	B-737-300	89,00	124.50	CFM56-3 w/HWFAP	82,40	97,40	97,54
137.	BOEING	B-737-300	89,00	124.50	CFM56-3-B1	84,40	99,60	99,73
138.	BOEING	B-737-300	97,90	124.50	CFM56-3B-2	82,80	99,60	99,69
139.	BOEING	B-737-300	89,00	139.50	CFM56-3-B1	87,50	100,10	100,33

Fabricante		Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL
140.	BOEING	B-737-300	97,90	139.50	CFM56-3B-2	85,70	100,10	100,25
141.	BOEING	B-737-400	97,90	138.50	CFM56-3B-2	85,70	100,20	100,35
142.	BOEING	B-737-400	104,50	138.50	CFM56-3C-1	85,00	100,20	100,33
143.	BOEING	B-737-400	97,90	150.00	CFM56-3B-2	87,70	100,20	100,44
144.	BOEING	B-737-400	104,50	150.00	CFM56-3C-1	87,10	100,20	100,41
145.	BOEING	B-737-500	82,30	115.50	CFM56-3-B1	82,70	99,40	99,49
146.	BOEING	B-737-500	82,30	115.50	CFM56-3-B1(R)	83,60	99,40	99,51
147.	BOEING	B-737-500	82,30	139.00	CFM56-3-B1	87,30	100,00	100,23
148.	BOEING	B-737-500	82,30	132.80	CFM56-3-B1(R)	87,70	100,00	100,25
149.	BOEING	B-737-600	86,70	143.50	CFM56-7B18	85,70	95,50	95,93
150.	BOEING	B-737-600	86,70	124.00	CFM56-7B18	82,60	95,50	95,72
151.	BOEING	B-737-600	101,00	143.50	CFM56-7B22	84,40	95,50	95,82
152.	BOEING	B-737-600	101,00	124.00	CFM56-7B22	80,90	95,50	95,65
153.	BOEING	B-737-700	91,60	133.00	CFM56-7B20	83,80	95,80	96,07
154.	BOEING	B-737-700	101,00	133.00	CFM56-7B24	82,10	95,80	95,98
155.	BOEING	B-737-700	91,60	154.50	CFM56-7B20	87,10	95,90	96,44
156.	BOEING	B-737-700	101,00	154.50	CFM56-7B24	85,90	95,90	96,31
157.	BOEING	B-737-800	107,60	155.50	CFM56-7B24	85,50	96,40	96,74
158.	BOEING	B-737-800	107,60	174.20	CFM56-7B24	88,60	96,50	97,15
159.	BOEING	B-737-900	117,00	164.00	CFM56-7B26	85,50	96,40	96,74
160.	BOEING	B-737-900	121,40	164.00	CFM56-7B27	85,10	96,40	96,71
161.	BOEING	B-737-900	117,00	174.20	CFM56-7B26	87,20	96,40	96,89
162.	BOEING	B-737-900	121,40	174.20	CFM56-7B27	86,70	96,40	96,84
163.	BOEING	B-747-100	215,10	750.00	JT9D-7F	104,50	104,50	107,51
164.	BOEING	B-747-100	208,90	734.00	JT9D-7A	104,30	105,30	107,84
165.	BOEING	B-747-100	215,10	750.00	JT9D-7F	104,50	104,50	107,51
166.	BOEING	B-747-100	208,90	734.00	JT9D-7A	104,30	105,50	107,95
167.	BOEING	B-747-200	215,10	750.00	JT9D-7F	103,50	106,90	108,53

Fabricante		Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL
168.	BOEING	B-747-200	233,50	820.00	CF6-50E2	102,10	106,50	107,85
169.	BOEING	B-747-200	233,50	833.00	CF6-50E2	102,60	106,50	107,98
170.	BOEING	B-747-200	208,90	734.00	JT9D-7A	103,50	105,00	107,32
171.	BOEING	B-747-200	215,10	750.00	JT9D-7F	103,50	106,00	107,94
172.	BOEING	B-747-200	236,20	833.00	RB211-524D4	103,90	104,90	107,44
173.	BOEING	B-747-300	252,20	600.00	CF6-80C2B1	89,80	102,50	102,73
174.	BOEING	B-747-300	233,50	800.00	CF6-50E2	101,60	106,50	107,72
175.	BOEING	B-747-300	243,50	785.00	JT9D-7R4G2	100,10	106,60	107,48
176.	BOEING	B-747-300	243,50	833.00	JT9D-7R4G2	102,40	106,60	108,00
177.	BOEING	B-747-300	252,20	833.00	CF6-80C2B1	99,00	105,20	106,13
178.	BOEING	B-747-400	252,40	600.00	CF6-80C2B1F	89,60	101,70	101,96
179.	BOEING	B-747-400	252,40	600.00	PW4056	89,50	103,10	103,29
180.	BOEING	B-747-400	258,00	600.00	RB211-524G	89,10	102,40	102,60
181.	BOEING	B-747-400	266,90	600.00	RB211-524H	88,70	102,40	102,58
182.	BOEING	B-747-400	252,40	875.00	CF6-80C2B1F	99,80	103,80	105,26
183.	BOEING	B-747-400	252,40	870.00	CF6-80C2B1F	99,70	101,40	103,64
184.	BOEING	B-747-400	252,40	875.00	CF6-80C2B1F W/N1 MOD	99,90	103,80	105,28
185.	BOEING	B-747-400	252,40	870.00	PW 4056	101,50	104,70	106,40
186.	BOEING	B-747-400	252,40	875.00	PW4056	101,60	104,70	106,43
187.	BOEING	B-747-400	252,40	875.00	PW4056 PH3(FB2B)	99,70	103,60	105,08
188.	BOEING	B-747-400	252,40	875.00	PW4056 PH3(FB2C)	98,60	103,00	104,35
189.	BOEING	B-747-400	252,40	875.00	PW4056 PH3(FB2C)NR	97,40	102,10	103,37
190.	BOEING	B-747-400	252,40	875.00	PW4056 PKG B/PHASE I	99,30	103,40	104,83
191.	BOEING	B-747-400	258,00	875.00	RB211-524G	99,20	103,80	105,09
192.	BOEING	B-747-400	266,90	870.00	RB211-524H	97,80	103,80	104,77
193.	BOEING	B-757-200	162,80	187.00	PW 2037	81,50	97,70	97,80
194.	BOEING	B-757-200	162,80	220.00	PW 2037	86,20	97,70	98,00
195.	BOEING	B-757-200	162,80	187.00	PW 2037QFC	80,10	97,00	97,09

Fabricante		Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL
196.	BOEING	B-757-200	178,40	220.00	PW 2040	84,60	97,70	97,91
197.	BOEING	B-757-200	178,40	190.00	PW 2040QFC	79,40	97,00	97,07
198.	BOEING	B-757-200	166,40	220.00	RB211-535C	85,50	100,30	100,44
199.	BOEING	B-757-200	178,80	220.00	RB211-535-E4	82,20	95,00	95,22
200.	BOEING	B-757-200	178,80	220.00	RB211-535-E4	82,90	95,00	95,26
201.	BOEING	B-757-200	193,50	220.00	RB211-535E4-B	82,10	95,00	95,22
202.	BOEING	B-757-200	193,50	220.00	RB211-535E4-B	81,30	95,00	95,18
203.	BOEING	B-757-200	162,80	255.50	PW 2037	91,40	98,10	98,94
204.	BOEING	B-757-200	162,80	255.50	PW 2037QFC	89,70	97,30	98,00
205.	BOEING	B-757-200	178,40	255.50	PW 2040	89,70	98,10	98,69
206.	BOEING	B-757-200	178,40	255.50	PW 2040QFC	88,10	97,30	97,79
207.	BOEING	B-757-200	166,40	240.00	RB211-535C	88,10	99,60	99,90
208.	BOEING	B-757-200	178,80	255.50	RB211-535-E4	86,80	95,20	95,79
209.	BOEING	B-757-200	178,80	255.50	RB211-535-E4	87,30	95,20	95,85
210.	BOEING	B-757-200	193,50	255.50	RB211-535E4-B	86,20	95,20	95,71
211.	BOEING	B-757-200	193,50	255.50	RB211-535E4-B	85,70	95,20	95,66
212.	BOEING	B-757-300	191,70	235.87	RB211-535E4-B	84,00	95,20	95,52
213.	BOEING	B-757-300	191,70	275.00	RB211-535E4-B	88,40	95,40	96,19
214.	BOEING	B-767-200	213,50	282.00	JT9D-7R4D(A)	87,70	101,80	101,97
215.	BOEING	B-767-200	213,50	282.00	JT9D-7R4D(B)	88,40	101,90	102,09
216.	BOEING	B-767-200	233,50	300.00	CF6-80C2-B2	85,20	95,70	96,07
217.	BOEING	B-767-200	257,70	351.00	CF6-80C2-B4	87,70	95,70	96,34
218.	BOEING	B-767-200	231,00	335.00	PW4052	89,40	97,80	98,39
219.	BOEING	B-767-200	252,40	340.00	PW4056	88,50	97,80	98,28
220.	BOEING	B-767-200	231,00	351.00	PW4052	90,90	98,20	98,94
221.	BOEING	B-767-200	233,50	351.00	CF6-80C2-B2	89,50	96,40	97,21
222.	BOEING	B-767-200	257,70	387.00	CF6-80C2-B4	90,60	96,40	97,41
223.	BOEING	B-767-200	213,50	351.00	JT9D-7R4D(A)	95,10	102,70	103,40

Fabricante		Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL
224.	BOEING	B-767-200	213,50	360.00	JT9D-7R4D(B)	96,20	102,60	103,50
225.	BOEING	B-767-200	252,40	400.00	PW 4056	93,70	98,60	99,82
226.	BOEING	B-767-200/200ER	233,50	300.00	CF6-80C2B2F	85,10	95,80	96,15
227.	BOEING	B-767-200/200ER	257,70	300.00	CF6-80C2B4F	83,70	95,80	96,06
228.	BOEING	B-767-200/200ER	252,40	299.60	PW4056 PH3(FB2C)NRI	81,80	95,90	96,07
229.	BOEING	B-767-200/200ER	257,70	360.00	CF6-80C2B4F	88,50	96,50	97,14
230.	BOEING	B-767-200/200ER	257,70	387.00	CF6-80C2B4F W/N1 MOD	90,60	96,50	97,49
231.	BOEING	B-767-200/200ER	252,40	395.00	PW4056 PH3(FB2C)NRI	89,80	96,60	97,42
232.	BOEING	B-767-300	213,50	300.00	CF6-80A	87,50	101,70	101,86
233.	BOEING	B-767-300	213,50	300.00	CF6-80A2	86,70	101,70	101,84
234.	BOEING	B-767-300	231,30	288.70	CF6-80C2B2	83,10	96,50	96,69
235.	BOEING	B-767-300	257,50	380.00	CF6-80C2-B4	90,20	96,50	97,41
236.	BOEING	B-767-300	266,90	380.00	CF6-80C2-B6	89,20	96,50	97,24
237.	BOEING	B-767-300	222,40	300.00	JT9D-7R4E	90,00	102,30	102,55
238.	BOEING	B-767-300	252,40	380.00	PW 4056	92,00	98,80	99,62
239.	BOEING	B-767-300	266,90	380.00	PW4060	91,20	98,80	99,50
240.	BOEING	B-767-300	269,90	340.00	RB211-524G	89,40	98,50	99,00
241.	BOEING	B-767-300	213,50	351.00	CF6-80A	92,00	101,70	102,14
242.	BOEING	B-767-300	213,50	351.00	CF6-80A2	91,20	101,70	102,07
243.	BOEING	B-767-300	257,50	407.00	CF6-80C2-B4	92,10	98,40	99,31
244.	BOEING	B-767-300	266,90	407.00	CF6-80C2-B6	91,10	98,40	99,14
245.	BOEING	B-767-300	222,40	351.00	JT9D-7R4E	95,00	103,00	103,64
246.	BOEING	B-767-300	252,40	407.00	PW 4056	94,20	100,20	101,17
247.	BOEING	B-767-300	266,90	407.00	PW 4060	93,20	100,20	100,99
248.	BOEING	B-767-300	269,90	407.00	RB211-524G	93,80	99,80	100,77
249.	BOEING	B-767-300/300ER	252,40	295.00	PW4056 PH3(FB2C)NRI	81,90	96,60	96,74
250.	BOEING	B-767-300/300ER	266,90	295.00	PW4060 PH3(FB2C)NRI	81,50	96,60	96,73
251.	BOEING	B-767-300/300ER	252,40	412.00	PW4056 PH3(FB2C)NRI	91,00	97,60	98,46

Fabricante		Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL
252.	BOEING	B-767-300/300ER	266,90	412.00	PW4060 PH3(FB2C)NRI	90,30	97,90	98,60
253.	BOEING	B-767-400	282,50	350.00	CF6-80C2B8F	85,50	97,60	97,86
254.	BOEING	B-767-400	282,50	450.00	CF6-80C2B8F	91,20	98,70	99,41
255.	BOEING	B-777-200	343,00	506.00	GE90-77B	86,70	97,60	97,94
256.	BOEING	B-777-200	343,00	445.00	PW4077	84,90	98,90	99,07
257.	BOEING	B-777-200	338,00	458.00	RR TRENT 877	86,70	99,20	99,44
258.	BOEING	B-777-200	343,00	545.00	GE90-77B	88,80	97,80	98,31
259.	BOEING	B-777-200	343,00	545.00	PW4077	90,70	99,00	99,60
260.	BOEING	B-777-200	338,00	555.00	RR TRENT 877	91,70	99,50	100,17
261.	BOEING	B-777-300	400,00	450.00	PW4090	83,40	99,00	99,12
262.	BOEING	B-777-300	436,00	550.00	PW4098	87,70	100,00	100,25
263.	BOEING	B-777-300	409,00	550.00	RR TRENT 892	88,40	99,20	99,55
264.	BOEING	B-777-300	400,00	660.00	PW4090	94,40	99,90	100,98
265.	BOEING	B-777-300	436,00	660.00	PW4098	93,10	101,10	101,74
266.	BOEING	B-777-300	409,00	660.00	RR TRENT 892	94,20	100,40	101,33
267.	BOMBARDIER	BD-700-1A10(Global Express)	66,10	93.50	BR700-710-A2-20	82,10	89,80	90,48
268.	BOMBARDIER	BD-700-1A10(Global Express) BD700-1A10(Global Express)(Learjet	66,10	96.00	BR700-710-A2-20	82,70	89,80	90,57
269.	BOMBARDIER	STC:SA8184NM-D)	66,10	75.00	Rolls Royce/BR700-710-A2-20	75,60	89,70	89,87
270.	BOMBARDIER	CL-600	33,60	36.00	ALF-502	81,60	91,20	91,65
271.	BOMBARDIER	CL-600-2B19(CRJ)	41,00	53.00	CF-34-3A1	79,80	92,10	92,35
272.	BOMBARDIER	CL-600-2B19(CRJ)	41,00	53.00	CF-34-3B1	78,70	92,10	92,29
273.	BOMBARDIER	CL-600-2C10(CRJ700)	56,40	72.50	CF34-8C1	82,10	92,60	92,97
274.	BOMBARDIER	CL-600-2C10(CRJ700)	56,40	75.00	CF34-8C1	82,70	92,60	93,02
275.	BOMBARDIER	CL-601	40,70	42.10	CF34-1A	79,40	89,40	89,81
276.	BOMBARDIER	CL-601	40,70	43.00	CF34-1A	79,90	89,40	89,86
277.	BOMBARDIER	CL-601-3A	40,70	43.10	CF-34-3A	79,40	89,40	89,81
278.	BOMBARDIER	CL-604	38,80	47.60	GE CF34-3B	80,90	90,30	90,77

Fabricante		Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL
279.	BOMBARDIER	CL-604	38,80	48.20	GE CF34-3B	81,20	90,30	90,80
280.	CESSNA	500 CITATION	9,79	10.30	JT15D-1	76,40	87,70	88,01
281.	CESSNA	525 CESSNA JET	8,45	10.40	FJ44-1A	73,40	92,10	92,16
282.	CESSNA	525A CITATION JET II (CJ-2)	10,20	12.37	FJ44-2C	74,50	91,40	91,49
283.	CESSNA	550 CITATION II	11,10	13.30	JT15D-4	80,10	90,50	90,88
284.	CESSNA	550 CITATION II	11,10	14.10	JT15D-4	71,60	90,50	90,56
285.	CESSNA	551 CITATION II	11,10	12.50	JT15D-4	80,10	90,50	90,88
286.	CESSNA	560 CITATION Ultra	13,60	16.30	JT15D-5D	82,90	85,70	87,53
287.	CESSNA	560 CITATION V	12,90	16.30	JT15D-5A	84,60	88,90	90,27
288.	CESSNA	560 CITATION V	12,90	15.90	JT15D-5A	83,70	88,90	90,05
289.	CESSNA	560 ENCORE	14,90	16.63	PW535A	70,30	90,50	90,54
290.	CESSNA	560XL EXCEL	16,90	20.00	PW545A	72,40	93,10	93,14
291.	CESSNA	650 CITATION III	16,20	21.00	TFE731-3B-100S	84,90	92,40	93,11
292.	CESSNA	650 CITATION III	16,20	22.00	TFE731-3B-100S	80,10	93,80	93,98
293.	CESSNA	650 CITATION VI	16,20	22.45	TFE731-3C-100S	82,20	93,80	94,09
294.	CESSNA	750 CITAION X	28,50	35.70	AE3007C	72,30	90,20	90,27
295.	CESSNA	S550 CITATION S/II	11,10	14.70	JT15D-4B	87,90	85,10	89,73
296.	CESSNA	S550 CITATION S/II	11,10	15.10	JT15D-4B	80,00	86,20	87,13
297.	DASSAULT	FALCON 200	23,10	32.00	ATF3-6A-4C	83,90	93,90	94,31
298.	DASSAULT	FALCON 200 (M5634)	23,10	32.00	ATF3-6A-4C	83,90	94,20	94,59
299.	DASSAULT	FALCON 2000	25,60	36.50	CFE738-1-1B	79,40	93,10	93,28
300.	DASSAULT	FALCON 20-Basic/D/E/F	20,00	28.66	CF700-2D-2Q	81,90	99,70	99,77
301.	DASSAULT	FALCON 20-F5 (M3500)	21,10	29.10	TFE731-5AR-2C	81,80	90,00	90,61
302.	DASSAULT	FALCON 20-F5 (M3530)	21,10	29.10	TFE-731-5BR-2C	79,30	90,00	90,35
303.	DASSAULT	FALCON 20-F5 (M3547)	21,10	30.50	TFE731-5BR-2C	81,90	90,30	90,89
304.	FAIRCHILD DORNIER	DORNIER 328-300	26,90	33.51	PW306B	76,10	91,10	91,24
305.	FAIRCHILD DORNIER	DORNIER 328-300 Mod 10	26,90	34.52	PW306B	76,50	92,10	92,22

Fabricante		Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL	
306.	FOKKER	F100	67,20	98.00	TAY MK650-15	81,80	93,00	93,32	
307.	FOKKER	F70	61,60	81.00	TAY MK620-15	76,80	87,70	88,04	
308.	FOKKER	F70	61,60	92.00	TAY MK620-15	80,10	88,30	88,91	
309.	GULFSTREAM	G100	18,90	24.65	TFE731-40R-200G	79,10	91,90	92,12	
310.	GULFSTREAM	G200	26,90	34.85	PW306A	81,40	90,90	91,36	
311.	GULFSTREAM	G200	26,90	34.85	PW306A	81,40	92,70	93,01	
312.	GULFSTREAM	G-IV	61,60	73.20	TAY 611-8	76,80	91,00	91,16	
313.	GULFSTREAM	G-IV GULFSTREAM w/ASC 190	61,60	74.60	TAY 611-8	77,50	92,00	92,15	
314.	ISRAEL AIRCRAFT	Galaxy	26,90	34.85	PW306A	81,40	92,70	93,01	
315.	LEARJET		55	16,50	21.00	TFE731-3A-2B	85,50	90,60	91,77
316.	LEARJET		55	16,50	19.50	TFE731-3A-2B	84,20	90,60	91,50
317.	LEARJET	55B		16,50	21.50	TFE731-3A-2B	86,30	91,00	92,27
318.	LEARJET		60	20,50	23.50	PW305A	70,80	87,70	87,79
319.	LEARJET		60	20,50	23.10	PW305A	70,80	87,70	87,79
320.	LOCKHEED	L-1011-1	187,00	430.00	RB211-22B	96,00	102,80	103,62	
321.	LOCKHEED	L-1011-200	222,40	466.00	RB211-524B	98,10	101,40	103,07	
322.	LOCKHEED	L-1011-500	222,40	496.00	RB211-524B	98,40	101,50	103,23	
323.	LOCKHEED	L-1011-500	222,40	510.00	RB211-524B4	99,30	102,00	103,87	
324.	MCDONNELL DOUGLAS	DC-08-61 (BAC II STC: SA4892NM)	80,10	325.00	JT3D-3B	99,80	101,60	103,80	
325.	MCDONNELL DOUGLAS	DC-08-62 (BAC II STC: SA4892NM or SA5455NM)	84,50	335.00	JT3D-7	97,80	102,20	103,55	
326.	MCDONNELL DOUGLAS	DC-08-63 (BAC II STC: SA4892NM or SA5455NM)	84,50	353.00	JT3D-7	98,90	102,40	104,00	
327.	MCDONNELL DOUGLAS	DC-08-63 (BAC II STC: SA4892NM or SA5455NM)	84,50	353.00	JT3D-7	98,90	102,70	104,21	
328.	MCDONNELL DOUGLAS	DC-08-71	97,90	325.00	CFM-56-2C5	94,30	98,30	99,76	
329.	MCDONNELL DOUGLAS	DC-09-30 (ABS/SA16136L)	64,50	103.00	JT8D-9/9A	89,70	96,00	96,91	

Fabricante	Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL
330. MCDONNELL DOUGLAS	DC-09-30 (ABS;STC SA1613GL)	69,50	107.00	JT8D-9/9A	90,10	96,00	96,99
331. MCDONNELL DOUGLAS	DC-09-30(ABS/SA1613GL)	69,50	105.00	JT8D-9/9A	90,30	96,10	97,11
332. MCDONNELL DOUGLAS	DC-09-30(ABS/SA1785GL)	69,50	103.00	JT8D-9/9A	89,70	96,00	96,91
333. MCDONNELL DOUGLAS	DC-09-30(ABS/SA1785GL)	69,50	107.00	JT8D-9/9A	90,10	96,00	96,99
334. MCDONNELL DOUGLAS	DC-10-10	178,00	410.00	CF6-6D	97,40	104,90	105,61
335. MCDONNELL DOUGLAS	DC-10-10	178,00	455.00	CF6-6D	101,80	105,50	107,04
336. MCDONNELL DOUGLAS	DC-10-10	182,40	455.00	CF6-6D1	100,20	105,50	106,62
337. MCDONNELL DOUGLAS	DC-10-10	182,40	430.00	CF6-6D1	98,10	105,50	106,23
338. MCDONNELL DOUGLAS	DC-10-30	218,00	555.00	CF6-50A	101,80	106,30	107,62
339. MCDONNELL DOUGLAS	DC-10-30	240,20	555.00	CF6-50C2-B	96,10	105,00	105,53
340. MCDONNELL DOUGLAS	DC-10-30	218,00	565.00	CF6-50A	102,70	106,60	108,08
341. MCDONNELL DOUGLAS	DC-10-30	233,50	590.00	CF6-50C1	103,00	106,60	108,17
342. MCDONNELL DOUGLAS	DC-10-30	233,50	590.00	CF650C2	99,00	105,30	106,21
343. MCDONNELL DOUGLAS	DC-10-30	240,20	590.00	CF6-50C2-B	98,70	105,30	106,16
344. MCDONNELL DOUGLAS	DC-10-30	233,50	555.00	CF6-50C2	96,80	106,00	106,49
345. MCDONNELL DOUGLAS	DC-10-30	240,20	572.00	CF6-50C2-B	97,40	106,00	106,56

Fabricante	Modelo	Empuxo (kN)	MTOW (1.000 libras)	Modelo do Motor	Decolagem	Pouso	SEL
346. MCDONNELL DOUGLAS							
347. MCDONNELL DOUGLAS	DC-10-30	240,20	555.00	CF6-50C2-B	96,10	106,00	106,42
	DC-10-30	233,50	590.00	CF6-50C2	99,00	106,40	107,13
348. MCDONNELL DOUGLAS	DC-10-40	235,80	555.00	JT9D-59A	101,40	106,40	107,59
349. MCDONNELL DOUGLAS	MD-10-30	233,50	565.00	CF6-50C2	96,90	106,00	106,50
350. MCDONNELL DOUGLAS	MD-10-30	233,50	580.00	CF6-50C2	97,90	106,30	106,89
351. MCDONNELL DOUGLAS	MD-11	273,60	602.50	CF6-80C2D1F	92,80	103,60	103,95
352. MCDONNELL DOUGLAS	MD-11	266,90	602.50	PW4460	93,70	103,80	104,20
353. MCDONNELL DOUGLAS	MD-11	276,00	602.50	PW4462	93,10	103,80	104,15
354. MCDONNELL DOUGLAS	MD-11	266,90	630.50	PW4460	95,80	104,40	104,96
355. MCDONNELL DOUGLAS	MD-11	276,00	630.50	PW4462	95,00	104,40	104,87
356. MCDONNELL DOUGLAS	MD-87	68,90	125.00	JT8D-217C	84,10	92,90	93,44
357. MCDONNELL DOUGLAS	MD-87	68,90	149.50	JT8D-217C	89,20	93,30	94,73
358. MCDONNELL DOUGLAS	MD-90-30	111,20	135.00	V2525-D5	78,30	91,70	91,89
359. MCDONNELL DOUGLAS	MD-90-30	111,20	166.00	V2525-D5	84,20	91,90	92,58
360. MCDONNELL DOUGLAS	MD-90-30	111,20	166.00	V2528-D5	82,60	91,90	92,38
361. RAYTHEON	390 PREMIER	10,20	12.50	FJ44-2A	76,60	92,00	92,12
362. RAYTHEON	HAWKER 125-1000	23,10	31.00	PW305	81,80	91,60	92,03
363. RAYTHEON	HAWKER 125-1000	23,10	35.50	PW305	85,70	92,00	92,91

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO			
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TD	2. DATA 05 de março de 2009	3. REGISTRO Nº CTA/ITA/TD-002/2009	4. Nº DE PÁGINAS 159
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Modelo de Geração de Tarifa de Ruído Aeronáutico utilizando Lógica Fuzzy			
6. AUTOR(ES): Rogéria de Arantes Gomes Eller			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica - ITA			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: Regulação, Ruído Aeronáutico, Lógica Fuzzy			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Ruído de aeronaves; Tarifas; Lógica nebulosa; Modelos matemáticos; Administração de aeroportos; Transportes; Economia			
10. APRESENTAÇÃO: X Nacional Internacional ITA, São José dos Campos. Curso de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aeronáutica e Mecânica. Área Especial de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica. Orientador: Prof. Dr. Protógenes Pires Porto. Defesa em 09/02/2009. Publicada em 2009.			
11. RESUMO: O ruído aeronáutico é apontado como um dos principais impactos ambientais provocados pelo transporte aéreo. Em todo o mundo, o aumento do tráfego de aeronaves, associado ao aumento da consciência ambiental e da expectativa de qualidade de vida, tem provocado uma demanda social por medidas de mitigação do incômodo causado pelo ruído. De modo geral, as medidas de mitigação podem ser de comando e controle, representadas por alterações nos gabaritos de aproximação das aeronaves, proibição da operação das aeronaves mais ruidosas e de vôos noturnos, entre outras, e, também, por medidas chamadas de instrumentos econômicos, como as tarifas de ruído aplicadas às companhias aéreas. Essas tarifas, associadas aos instrumentos de comando e controle, têm se mostrado eficazes no tratamento do ruído aeronáutico. No Brasil são aplicadas apenas medidas de comando e controle. Este trabalho propõe um modelo de tarifa de ruído aeronáutico a ser aplicado às companhias aéreas que operam no Aeroporto Internacional de São Paulo Governador André Franco Montoro, situado em Guarulhos. O município de Guarulhos tem mais de 1.200.000 habitantes e 17 bairros em área crítica de ruído aeronáutico. Nesta pesquisa, para modelagem do custo causado pelo incômodo, utilizou-se duas variáveis: o ruído emitido pelas aeronaves, de acordo com dados da <i>Federal Aviation Administration</i> (FAA), órgão regulador americano, e uma variável de percepção subjetiva em relação ao incômodo, cujas medidas foram tomadas por meio de questionários aplicados à população que reside na área de ruído com o objetivo de definir os horários do dia em que o incômodo por causa do ruído é maior. Para a primeira variável, que considera o ruído medido, foram analisadas 363 aeronaves diferentes, e para a variável de ruído percebido, foram obtidos 248 questionários válidos. A modelagem das variáveis foi realizada utilizando Lógica Fuzzy. Por meio da aplicação do Modelo de Larsen, foram considerados, simultaneamente, o ruído medido na homologação das aeronaves e o ruído percebido pelas pessoas. Esses dados apresentam assimetria em razão da forte componente subjetiva da percepção de desconforto e incômodo. O resultado foi a criação de um multiplicador a ser aplicado às tarifas de pouso vigentes no Aeroporto Internacional de São Paulo. O valor do multiplicador varia entre 0.8 e 1.2, o que significa que uma aeronave que apresente ruído considerado fraco, voando em horário de incômodo não significativo, pode receber uma redução na tarifa de pouso, como incentivo. Por outro lado, aeronaves mais ruidosas e/ou que operem em horários de incômodo crítico, como no período noturno por exemplo, podem pagar até 20% de sobretarifa na tarifa de pouso, representando a parcela destinada a cobrir os custos provocados pelo ruído sobre a população, bem como encorajar as companhias aéreas na utilização de aeronaves mais silenciosas. Os resultados obtidos se mostraram consistentes com o objetivo do trabalho. A aplicação desse tipo de tarifa faz parte das medidas de políticas públicas e este modelo é uma ferramenta de auxílio ao tomador de decisões no sentido de se atingir um modelo de gestão aeroportuária mais moderno e condizente com os anseios da população.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO			

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)