



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**QUANTIFICAÇÃO DO INCÔMODO GERADO PELO  
RUÍDO AERONÁUTICO POR MEIO DE MODELOS  
DOSE-RESPOSTA**

**EDSON BENÍCIO DE CARVALHO JÚNIOR**

**ORIENTADOR: JOSÉ MATSUO SHIMOISHI  
CO-ORIENTADOR: SÉRGIO LUIZ GARAVELLI**

**TESE DE DOUTORADO EM TRANSPORTES  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**PUBLICAÇÃO: T.D - 001/2015  
BRASÍLIA/DF: JUNHO – 2015**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**QUANTIFICAÇÃO DO INCÔMODO GERADO PELO RUÍDO  
AERONÁUTICO POR MEIO DE MODELOS DOSE-RESPOSTA**

**EDSON BENÍCIO DE CARVALHO JÚNIOR**

**TESE SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM  
TRANSPORTES.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Dr. José Matsuo Shimoishi (PPGT- UnB)  
(Orientador)**

---

**Prof. Dr. Sérgio Luiz Garavelli (UNIP- DF)  
(Co - orientador)**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiana Serra de Arruda (PPGT - UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof Dr. Pastor Willy Gonzales Taco (PPGT- UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Stelamaris Rolla Bertoli (UNICAMP – SP)  
(Examinador Externo)**

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Léa Cristina Lucas de Souza (UFSCAR – SP)  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 22 DE JUNHO DE 2015**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

CARVALHO JR, EDSON BENÍCIO DE

Quantificação do incômodo gerado pelo ruído aeronáutico por meio de modelos dose-resposta [Distrito Federal], 2015.

xvii, 182 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Programa de Pós-graduação em Transportes, 2015).

Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Ruído aeronáutico

2. Relações dose-resposta

3. Incômodo sonoro

4. Mapas acústicos

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

CARVALHO JR., E. B. (2015). Quantificação do incômodo gerado pelo ruído aeronáutico por meio de modelos dose-resposta. Tese de Doutorado em Transportes, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 180 p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Edson Benício de Carvalho Júnior.

TÍTULO: Quantificação do incômodo gerado pelo ruído aeronáutico por meio de modelos dose-resposta

GRAU: Doutor

ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Edson Benício de Carvalho Júnior

Programa de Pós-graduação em Transportes. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Faculdade de Tecnologia, Anexo SG-12, 1º Andar, Campus Universitário Darcy Ribeiro. Universidade de Brasília, Brasília – DF

CEP: 70910-900

[edsonbenicio@gmail.com](mailto:edsonbenicio@gmail.com)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço

À minha querida esposa Juliana Castro, pelo apoio e companhia ao longo da caminhada e à minha querida filha Giovana de Castro Benício, pela energia e alegria de sempre.

Aos meus pais, Edson Benício e Maria do Socorro, que apesar de todas as dificuldades me criaram com amor e me ensinaram a ter perseverança e fé para vencer as adversidades, e aos meus irmãos Tallys Henry, Thaís Emanuelle e Raphael Franklin, pelo constante incentivo.

Ao meu sogro, Antônio Barros, e à minha sogra, Maria Clara, pelo apoio incondicional e paciência. Também agradeço aos meus familiares Gabriel Castro, Adriana Castro, Samuel Oliveira, Hellen Guimarães, Manoel Cunha e Bruna Pinheiro pelo incentivo, compreensão e carinho durante essa jornada.

Ao prof. José Matsuo pela confiança e orientação. Meu agradecimento e admiração.

Ao prof. Sérgio Garavelli pela paciência, sabedoria e dedicação com que me orientou, possibilitando mais uma conquista em minha vida. Me sinto um privilegiado e por isso dedico-lhe minha sincera admiração e agradecimento pelos ensinamentos.

Ao prof. Alexandre de Barros, da *University of Calgary* (UofC) no Canadá. Agradeço a alegria com que me recebeu, sua compreensão, dedicação e ensinamentos.

Aos professores Armando Maroja e Wanderley Shiguti por estarem presente nesta etapa de crescimento pessoal e profissional.

Aos amigos Cleber Alves, Wesley Cândido, Edwin Silva e Lucinete pela amizade sincera e pelo incentivo e apoio nos momentos difíceis de realização deste trabalho.

À Universidade Católica de Brasília (UCB), à Universidade de Brasília (UnB) e à Capes, nas autoridades que as representam, por tornarem possível a realização dessa conquista.

Às demais pessoas que de uma forma ou de outra contribuíram na elaboração deste trabalho.

## RESUMO

Os conflitos entre os operadores aeroportuários, governos locais e comunidades próximas aos aeroportos, são devidos, principalmente, ao incômodo induzido pelo ruído aeronáutico. A determinação do incômodo é amplamente aceita como a base para se avaliar o impacto em populações expostas ao ruído aeroviário. No caso, relações dose-resposta possibilitam relacionar o incômodo percebido com um indicador de ruído aeronáutico. Esse estudo teve por objetivo avaliar o incômodo sonoro percebido por comunidades expostas ao ruído aeronáutico, por meio de relações dose-respostas, e determinar um modelo para a realidade brasileira. O método utilizado foi baseado em simulações de curvas de ruído, mapas acústicos, determinação da população exposta ao ruído aeroviário, avaliação do incômodo sonoro por meio de questionários, elaboração de curvas dose-resposta e avaliação do impacto sonoro causado pelo ruído aeronáutico no período noturno. Optou-se por uma aplicação de questionários *on-line*. Para tanto, foram obtidos banco de dados de e-mails de residentes no DF e no Goiás. 3.600 e-mails foram selecionados dentro da área do estudo e desse total, 931 foram respondidos, sendo 402 validados para análise. A partir da análise dos questionários foi verificado que a amostra é composta predominantemente de jovens, com escolaridade elevada e que as residências, em quase sua totalidade, não possuem nenhum tipo de isolamento acústico. Os respondentes, em todas as faixas etárias, apresentaram consideráveis níveis de incômodo com o ruído aeronáutico sendo que quanto maior a faixa etária maior o nível de incômodo. Além disso, quando o respondente é despertado durante à noite o nível de incômodo é elevado sendo os pesquisados do sexo feminino mais incomodados que os do sexo masculino. O ruído aeronáutico e rodoviário interfere significativamente na realização de atividades cotidianas dos pesquisados e essa interferência ocorre tanto no período diurno quanto no noturno. Utilizando informações provenientes dos mapas acústicos e com o percentual de respondentes altamente incomodados e incomodados, foram gerados modelos dose-resposta por meio de Regressões Logísticas. Como principal resultado, destaca-se que foram verificadas diferenças relevantes entre as relações dose-resposta, obtidas nesse estudo, e os modelos observados em países com climas e culturas diferentes do Brasil. Desse modo, a hipótese proposta, de que os modelos dose-respostas adotados pela Comunidade Europeia e Organização Mundial da Saúde não se aplicam para expressar o nível de incômodo sonoro sentido por populações expostas ao ruído aeronáutico no Brasil, foi confirmada. Para um mesmo nível de ruído aeronáutico, o percentual de incomodados e altamente incomodados mostrou-se superior aos percentuais preditos pelas curvas dose-resposta atualmente utilizadas em países da América do Norte e da Europa. Outra importante conclusão é que a atual legislação brasileira não é adequada para tratar do incômodo gerado pelo ruído aeronáutico. Além do mais, essa legislação não estabelece a elaboração de mapas acústicos, nem o cálculo da população exposta e não exige a validação das curvas de ruído por meio de medições acústicas. Também não indica a necessidade de uma avaliação específica para o período noturno. Como uma contribuição desse trabalho, sugere-se que a métrica *DNL* deve ser complementada com as métricas: nível de exposição sonora (SEL) e nível de pressão sonora equivalente noturno ( $L_n$ ). Essas métricas são mundialmente adotadas na predição dos efeitos crônicos da exposição ao ruído noturno, tal como o distúrbio do sono. Por último, ressalta-se que a abordagem apresentada nesta tese é complexa e nenhuma legislação que faz referência à análise do incômodo sonoro, presente em normas brasileiras, prevê a estrutura metodológica aqui apresentada.

## ABSTRACT

Annoyance induced by aircraft noise is the main reason of conflicts between airport operators, local governments and communities close to airports. The determination of annoyance is widely accepted as the basis for assessing the impact on populations exposed to air transportation noise. Dose-response relationships enable relate the perceived annoyance and an aircraft noise acoustic indicator. This study aimed to evaluate the noise annoyance perceived by communities exposed to aircraft noise, through dose-response relationships, and determine a model for the Brazilian reality. The method was based on noise curves simulations, acoustic maps, evaluation of population exposed to aircraft noise, assessment of noise annoyance through social survey, dose-response curves and evaluation of the impact caused by nightly aircraft noise. It was decided to conduct an online survey within the study area and 3,600 e-mails were selected, from a database. 931 were completed with 402 validated for analysis. The sample is predominantly made up of young people with high education. Almost all households do not have any kind of sound insulation. Respondents, in all age groups, showed considerable annoyance with the levels aircraft noise. The higher the age the higher is the level of annoyance. Also, the annoyance level is high when the respondent is awakened during the night and females are more bothered than men. The aircraft and road noise significantly affects the performance of daily activities of the respondents. Such interference occurs both during the day as in the nocturnal period. With information from acoustic maps and the percentage of highly annoyed and bothered respondents were generated dose-response models by means of Regressions Logistics. As a main result, it is emphasized that there are significant differences between the dose-response relationships obtained in this study, and the models developed in countries with different climates and cultures of Brazil. This way, the hypothesis proposed, that the dose-response models adopted by the European Community and the World Health Organization does not apply to express the level of noise annoyance experienced by people exposed to aircraft noise in Brazil, was confirmed. For the same level of aircraft noise, the percentage of highly annoyed and annoyed proved superior to the percentages predicted by the dose-response curves currently used in countries in North America and Europe. Another important conclusion is that the current Brazilian legislation is not adequate to deal with the annoyance due to aircraft noise. This legislation does not establish the development of acoustic maps, the calculation of the exposed population and does not require the validation of noise curves through acoustic measurements. It also does not indicate the need for a specific assessment for the night noise. As a contribution of this study, it is suggested that the *DNL* (day night level) should be supplemented with the following metrics: sound exposure level (SEL) and “average” night-time noise level ( $L_n$ ). These metrics are globally adopted to predict chronic effects of exposure to nighttime noise, such as sleep disorder. Finally, it is noteworthy that the approach presented in this thesis is complex and no legislation that makes reference to analysis of the noise annoyance, present in Brazilian standards, provides a methodological framework presented here.

# SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	V
<b>ABSTRACT</b> .....	VI
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	X
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	XII
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	XIV
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 JUSTIFICATIVA .....	5
1.2 HIPÓTESE .....	7
1.3 OBJETIVOS .....	7
1.4 ESTRUTURA DA TESE .....	8
<b>CAPÍTULO 2. RUÍDO AERONÁUTICO</b> .....	10
2.1 RUÍDO AMBIENTE.....	10
2.2 RUÍDO AERONÁUTICO.....	10
2.3 CURVAS DE RUÍDO (CURVAS ISOFÔNICAS).....	11
2.4 MAPAS ACÚSTICOS .....	11
2.5 MÉTRICAS ACÚSTICAS .....	13
2.5.1 Métricas que expressam o nível sonoro máximo para um evento único .....	13
2.5.2 Métricas que expressam a dose de energia para um evento único .....	14
2.5.3 Métricas que expressam a energia sonora média acumulada .....	18
2.5.4 Tabela resumo das principais métricas acústicas .....	21
2.6 RUÍDO AERONÁUTICO: NORMAS, PORTARIAS E LEGISLAÇÕES.....	22
2.6.1 Legislações nacionais .....	22
2.7 EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS .....	31
2.7.1 Comunidade Europeia .....	31
2.7.2 Canadá .....	32
2.7.3 Estados Unidos .....	33
2.7.4 Índia.....	33
2.7.5 África do Sul.....	33
2.8 REGULAMENTO BRASILEIRO RBAC 161 (2013) <i>versus</i> DIRETIVA EUROPEIA 2002/49CE .....	34
<b>CAPÍTULO 3. EXPOSIÇÃO COMUNITÁRIA AO RUÍDO AERONÁUTICO</b> .....	36
3.1 INCOMODO E RUÍDO .....	36
3.2 INCÔMODO E RUÍDO: QUADRO TEÓRICO.....	38
3.3 RUÍDO: EFEITOS ADVERSOS NA SAÚDE .....	42
3.3.1 Ruído e distúrbio no sono.....	44
3.4 A RELAÇÃO DOSE-RESPOSTA.....	45
3.4.1 Relação dose-resposta e distúrbios no sono .....	52
3.5 REAÇÃO DE COMUNIDADES EXPOSTAS AO RUÍDO: AVALIAÇÃO POR QUESTIONÁRIO .....	55
3.6 EXPOSIÇÃO COMUNITÁRIA AO RUÍDO AERONÁUTICO: ESTUDOS INTERNACIONAIS E NACIONAIS .....	57
3.6.1 Estudos internacionais .....	57
3.6.2 Estudos recentes brasileiros.....	69

<b>CAPÍTULO 4. MÉTODO</b> .....	78
4.1 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DAS CURVAS DE RUÍDO .....	80
4.1.1 Modelo Integrado de Ruído ( <i>Integrated Noise Model</i> – INM) .....	80
4.1.2 Dados de entrada ( <i>inputs</i> ) necessários para a simulação .....	82
4.2 METODOLOGIA PARA CÁLCULO DA POPULAÇÃO EXPOSTA A PARTIR DOS MAPAS ACÚSTICOS .....	85
4.3 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DOS MAPAS ACÚSTICOS.....	87
4.4 METODOLOGIA DO QUESTIONÁRIO .....	89
4.4.1 Método de aplicação .....	92
4.4.2 Pré-teste .....	93
4.4.3 Tamanho da amostra.....	93
4.4.4 Análise estatística .....	94
<b>CAPÍTULO 5 RESULTADOS E ANÁLISES</b> .....	98
5.1 FASE1 – CARACTERIZAÇÃO DO AEROPORTO .....	98
5.2 FASE 02 – SIMULAÇÃO DAS CURVAS DE RUÍDO, ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MAPAS ACÚSTICOS .....	99
5.2.1 Validação das curvas de ruído .....	104
5.3 FASE 03 – CÁLCULO DA POPULAÇÃO EXPOSTA.....	104
5.4 FASE 04 – QUESTIONÁRIO.....	106
5.4.1 Análise da Seção 01 e dos dados sóciodemográficos (Seção 03) .....	108
5.4.2 Análises da Seção 02 .....	117
5.5 FASE 05 – MODELO DOSE RESPOSTA.....	119
5.5.1 Regressão Logística: AI (altamente incomodados) x <i>DNL</i> .....	119
5.5.2 Regressão logística: I (incomodados) x <i>DNL</i> .....	119
5.5.3 Regressão Logística: AI (altamente incomodados) x <i>L<sub>den</sub></i> .....	120
5.5.4 Regressão Logística: I (incomodados) x <i>L<sub>den</sub></i> .....	121
5.5.5 Curvas dose-resposta dos modelos gerados.....	121
5.5.6 Comparações com resultados internacionais .....	122
5.6 PERCENTUAL DE ALTAMENTE INCOMODADOS E INCOMODADOS .....	127
5.7 AVALIAÇÃO DO IMPACTO SONORO NOTURNO.....	130
<b>6. CONCLUSÕES</b> .....	133
6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	133
6.2 CONCLUSÕES .....	133
6.3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO .....	135
6.4 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	136
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	138
<b>APÊNDICES</b> .....	149
APÊNDICE A NOÇÕES BÁSICAS DE ACÚSTICA .....	150
A.1 SOM E RUÍDO .....	150
A.2 ALTURA E INTENSIDADE SONORA .....	150
A.3 DECIBEL (DB), NÍVEL DE INTENSIDADE SONORA ( <i>L<sub>i</sub></i> ) E NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA ( <i>L<sub>w</sub></i> ).....	151
A.4 PRESSÃO SONORA .....	152
A.5 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA .....	153
A.6 MEDIDORES DE NÍVEIS SONOROS E FILTROS DE COMPENSAÇÃO.....	154
A.7 ESPECTRO SONORO E BANDAS DE FREQUÊNCIA .....	155

A.7.1 Bandas de oitavas e de 1/3 de oitavas.....	156
A.7.2 Tipos de ruído.....	157
APÊNDICE B DADOS DE ENTRADA DAS CURVAS DE RUÍDO .....	159
APÊNDICE C QUESTIONÁRIO. ....	160
APÊNDICE D POPULAÇÃO EXPOSTA ESTIMADA .....	164
APÊNDICE E VARIÁVEIS DO QUESTIONÁRIO .....	167
APÊNDICE F RL: AI (ALTAMENTE INCOMODADOS) E DNL .....	169
APÊNDICE G RL: I (INCOMODADOS) E DNL .....	175
APÊNDICE H RL: AI (ALTAMENTE INCOMODADOS) E $L_{DEN}$ .....	177
APÊNDICE I RL: I (INCOMODADOS) E $L_{DEN}$ .....	179

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura da tese.....	9
Figura 2. Nível de pressão sonora de algumas atividades cotidianas.....	154
Figura 3. Curvas A e C.....	155
Figura 4. Áreas de Impacto PBZR – Portaria 1.141/GM5/87 .....	23
Figura 5. Percentual de incomodados devido à exposição ao ruído – $DNL$ dB(A).....	36
Figura 6. Curva síntese de Schultz (1978) .....	47
Figura 7. Comparação das curvas de Schultz (1978) e Fidell <i>et al.</i> , (1991).....	48
Figura 8. Comparação entre curvas de predição de dose-efeito.....	49
Figura 9. Relação entre %AI e $DNL$ para diferentes fontes de tráfego .....	50
Figura 10. Curva dose-resposta para distúrbios no sono.....	53
Figura 11. Curva dose-resposta para distúrbio no sono. ....	54
Figura 12. Comparação das relações dose-resposta para ruídos de aviões e rodoviários de Hanoi (HN), Ho Chi Minh (HCM), e Da Nang (DN) .....	63
Figura 13. Curvas isofônicas calculadas em $DNL$ .....	73
Figura 14 Esquema do procedimento de cálculo do INM.....	82
Figura 15 Localização dos pontos de medidas.....	85
Figura 16 (A). Setores censitários no interior das curvas de ruído aeronáutico (B) Setores censitários no interior de curvas de ruído de tráfego rodoviário.....	87
Figura 17 Processo esquemático para a elaboração de mapas acústicos.....	88
Figura 18. Mapa de localização do SBBR .....	99
Figura 19. Curvas de ruído $DNL$ e rotas de pousos e decolagens no SBBR.....	101
Figura 20. Curvas de ruído para a métrica $DNL$ .....	102
Figura 21. Curvas de ruído para a métrica $L_{den}$ .....	103
Figura 22. Comparação entre uma curva de ruído $DNL$ e $L_{den} - 60$ dB(A).....	103
Figura 23 Intersecção das curvas de ruído como a base censitária do IBGE 2010 .....	105
Figura 24 Localização das RA's entre as curvas de ruído .....	107
Figura 25 Nível de incômodo causado pelo ruído aeronáutico e rodoviário nas atividades cotidianas em cidades próximas do SBBR.....	114
Figura 26 Nível de incômodo com o ruído aeronáutico por faixa etária e por período do dia..	115
Figura 27 Nível de incômodo com o ruído rodoviário por faixa etária e por período do dia....	116
Figura 28 Curvas dose-resposta geradas .....	122
Figura 29. Comparação das curvas dose-respostas Schultz (1978), Fidell <i>et al.</i> (1991), FICON/EUA (1992) e resultado da Tese .....	124
Figura 30. Comparação das curvas dose-respostas europeias e a curva obtida neste estudo ....	125

Figura 31. Comparação das curvas dose-respostas do Japão e China com a curva “Resultado da Tese” .....	125
Figura 32. Comparação das curvas dose-respostas %I.....	126
Figura 33. Comparação das curvas dose-respostas na métrica $L_{den}$ .....	127
Figura 34. Curvas de ruído $L_n$ com base na operação de 2012 do SBBR .....	131

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Indicadores acústicos.....	22
Tabela 2. Relação entre IPR e a reação das comunidades - NBR 12.859 (ABNT, 1993).....	23
Tabela 3. Impacto sonoro gerado pelo $L_{ra}$ em relação ao $L_{rf}$ – NBR 13.368 (1995).....	24
Tabela 4. Incômodo gerado pelas operações aeroportuárias – NBR 13.368 (1995).....	24
Tabela 5. Nível de critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A).....	26
Tabela 6. Normas e legislações brasileiras referentes ao ruído aeronáutico e ambiente.....	30
Tabela 7. Valores limites de exposição.....	31
Tabela 8. Comparação entre a metodologia adotada no Brasil e na CE.....	35
Tabela 9. Efeitos do ruído na saúde e bem estar.....	44
Tabela 10 Estimativa do incômodo sonoro para o $DNL$ .....	49
Tabela 11. Estimativa do incômodo sonoro para o $DNL$ e o $L_{den}^{**}$ .....	51
Tabela 12. Funções para o ruído de fontes de transportes e o ruído aeronáutico.....	52
Tabela 13. $L_n$ e polinômios para distúrbios no sono - tráfego rodoviário e ferroviário.....	55
Tabela 14. $L_n$ e polinômios para distúrbios no sono para o ruído aeronáutico.....	55
Tabela 15. Resumo dos estudos internacionais.....	65
Tabela 16. Pesquisas internacionais que determinaram o %AI.....	68
Tabela 17. Resumo dos estudos desenvolvidos no Brasil.....	76
Tabela 18 Estrutura das fases do método para a determinação do %I e %AI.....	79
Tabela 19 Procedimentos para avaliação do impacto sonoro noturno.....	79
Tabela 20. Dados gerais do SBBR.....	83
Tabela 21. Dados operacionais.....	83
Tabela 22. Dados das pistas.....	83
Tabela 23. Locais das EMR's do SBBR.....	84
Tabela 24 Principais pontos metodológicos APA (2011).....	89
Tabela 25 Situações a serem respondidas com a Escala de Epworth.....	91
Tabela 26 Indicadores acústicos das curvas de ruído.....	100
Tabela 27 Área das curvas de ruído $DNL$ .....	100
Tabela 28 Indicadores acústicos calculados para a validação dos mapas acústicos.....	104
Tabela 29 População exposta estimada por curva de ruído $DNL$ .....	106
Tabela 30. Alpha de Cronbach por categoria de variáveis.....	107
Tabela 31. Percentuais de incomodados e altamente incomodados por faixa etária.....	108
Tabela 32. Percentuais de incomodados e altamente incomodados por RA/Cidade.....	109
Tabela 33. Nível de incômodo com o ruído aeronáutico para cada $DNL$ .....	112
Tabela 34 Nível de incômodo com o ruído aeronáutico em atividades cotidianas.....	113
Tabela 35 Nível de incômodo por período.....	115

Tabela 36. Nível de incômodo quando acordado com o ruído aeronáutico .....	117
Tabela 37. ESE <i>versus</i> faixa etária.....	118
Tabela 38. Funções logísticas geradas para o ruído aeronáutico.....	122
Tabela 39. Funções adotadas para comparação entre %I, %AI e <i>DNL</i> .....	123
Tabela 40. Funções adotadas para comparações entre %I, %AI e $L_{den}$ .....	126
Tabela 41. Funções geradas na tese e funções da CE (2002).....	128
Tabela 42. %AI e %I determinados para cada curva de ruído .....	128
Tabela 43. População exposta e número estimado de I e AI.....	129
Tabela 44. Áreas e limites das curvas de ruído $L_n$ .....	130
Tabela 45. Número de pessoas com distúrbios no sono.....	131
Tabela 46 Bandas de oitavas e de 1/3 oitavas .....	157
Tabela 47. Critério de tonalidade .....	158
Tabela 48. Percentuais de operações nas cabeceiras .....	159
Tabela 49. Composição da frota de aeronaves - 2012.....	159
Tabela 50. Principais rotas de pouso e decolagem.....	159
Tabela 51. População exposta ao ruído aeronáutico .....	165
Tabela 52. Tabela de classificação <sup>a,b</sup> .....	169
Tabela 53. Variáveis na equação.....	170
Tabela 54. Variáveis que não estão na equação .....	170
Tabela 55. Testes em etapas dos coeficientes do modelo .....	170
Tabela 56. Variáveis na equação.....	172
Tabela 57. Resumo dos dados para RL entre pessoas incomodadas e <i>DNL</i> .....	173
Tabela 58. Resumo dos dados para RL entre pessoas incomodadas e <i>DNL</i> .....	175
Tabela 59. Resumo dos dados para RL entre pessoas incomodadas e $L_{den}$ .....	177
Tabela 60. Resumo dos dados para RL entre pessoas altamente incomodadas e $L_{den}$ .....	179

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Fatores não – acústicos relacionados ao ruído aeronáutico.....	39
Quadro 2 Modelo conceitual de Stallen (1999) utilizado para explicar o incômodo .....	40
Quadro 3. Método para determinação do %I e %AI .....	80
Quadro 4. Processo decisório para associado do local do respondente com um valor <i>DNL</i> .....	92

## CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

O transporte aéreo nacional tem seguido uma tendência crescente há várias décadas devendo triplicar nos próximos 20 anos (Neto e Souza, 2011). Em virtude dessa demanda, os aeroportos brasileiros apresentaram uma expansão recorde nas operações, em especial, devido às obras realizadas para a Copa do Mundo de 2014. Nos últimos três anos, os aeroportos que atendem as capitais tornaram-se capazes de acomodar, por ano, mais de 70 milhões de passageiros – o equivalente a seis vezes a população de São Paulo, maior cidade do país (SAC, 2014).

Os aeroportos tornaram-se um componente vital da infraestrutura de transporte das cidades modernas, exercendo cada vez mais influência no zoneamento urbano (Stevens *et al.*, 2010). Entretanto, aeroportos também são responsáveis por importantes externalidades ambientais destacando-se a perturbação por ruído e as emissões de poluentes que contribuem para o aquecimento global (Carballo-Cruz, 2008). No Brasil, o Plano Nacional de Aviação Civil (PNAC) orienta a permanente busca pela redução dos impactos adversos provocados pelo ruído aeronáutico. Também destaca a importância de se aprimorar medidas que desestimulem a ocupação de áreas sujeitas a níveis significativos de emissão de ruídos aeroviários (BRASIL, 2009).

Desse modo, essa tese enfoca o ruído aeronáutico, ou seja, o ruído proveniente das operações de pouso, decolagem e taxiamento de aeronaves em um aeródromo. O ruído aeroviário provoca efeitos nocivos à saúde humana, tais como: incômodo, hipertensão, problemas cardíacos, psicológicos, emocionais, estresse e males associados a distúrbios no sono (Babisch, 2002, Jarup *et al.*, 2005; Haralabidis *et al.*, 2008, Babisch *et al.*, 2009). Ressalta-se que os efeitos adversos sobre o sono tornaram-se uma das queixas mais comuns apontadas por populações expostas ao ruído na Europa (WHO, 2009).

Também se associa ao ruído aeroviário impactos de ordem econômica e social. Propriedades próximas a um aeroporto vêm sofrendo crescente depreciação relacionada ao aumento do ruído aeroportuário (Feitelson *et al.*, 1996; Morrell and Lu, 2000; Navrud, 2002; Nelson, 2004; Brooker, 2006; Dekkers e Straaten, 2009; Puchell e Evangelinos, 2012; Matos *et al.*, 2013). Recentemente, Carvalho Jr *et al.* (2014a) realizaram um estudo para examinar os efeitos do ruído aeronáutico no valor de imóveis em uma área no entorno

do Aeroporto Internacional de Brasília. O resultado obtido indica uma redução de 1,3% por dB, ou seja, queda do valor imobiliário em 1,3% quando o ambiente apresenta um aumento de 1 (um) decibel advindo do ruído aeronáutico. Esse resultado é expressivo e alerta para os impactos negativos causados pelo ruído aeronáutico no entorno do Aeroporto de Brasília.

O ruído aeronáutico também exerce uma influência negativa na percepção de bem-estar e satisfação das pessoas em residirem em uma determinada região da cidade (Kroesen, M. *et al.*, 2010). Isso contribui para desenvolvimento de conflitos entre os principais atores envolvidos em áreas de aeroportos, ou seja, operadores, governos locais e comunidade (Faburel, 2005; De Barros, 2013).

Cabe ressaltar, que nas últimas décadas ocorreu uma evolução tecnológica dos motores utilizados pelos aviões o que implicou na redução dos níveis de ruído gerado individualmente por cada aeronave. Além disso, os limites de ruído externos para certificação de aeronaves tornaram-se mais restritivos (Bonatto, 2013). Todavia, embora a evolução das aeronaves tenha reduzido o nível de ruído produzido por cada uma delas, o ruído aeroportuário teve forte elevação devido ao grande aumento no número de operações aeronáuticas desde a década de 50 até os dias atuais (Rocha e Slama, 2008).

Dessa forma, o ruído das aeronaves tornou-se um dos principais problemas relacionados à atividade aeroportuária, pois comunidades expostas podem desencadear reações capazes de ocasionar importantes restrições à capacidade operacional, à expansão e até à construção de novos aeroportos (Girvin, 2009; Suau-Sanchez *et al.*, 2011; De Barros, 2013; Sadr MK *et al.*, 2014). Por exemplo, é o caso das comunidades vizinhas ao Aeroporto Internacional de Congonhas em São Paulo, que incomodadas com o ruído dos aviões, manifestaram-se contra o aumento do tráfego aéreo levando ao fechamento noturno do aeroporto.

Do exposto, fica destacada a importância de se realizar estudos capazes de satisfazer não só a demanda pelo transporte aéreo, mas também viabilizar o desenvolvimento de medidas que minimizem o impacto do ruído na saúde e na qualidade de vida das comunidades expostas. Para tanto, torna-se imprescindível diagnosticar quais os efeitos adversos causados pelo ruído sobre as comunidades afetadas. No caso, o incômodo é

amplamente aceito como a base para se avaliar a reação de comunidades expostas, não só ao ruído aeronáutico, mas a qualquer ruído ambiente<sup>1</sup> (WHO, 2011).

No entanto, a dificuldade reside justamente em como avaliar ou estimar o incômodo percebido<sup>2</sup> pelas comunidades expostas ao ruído aeronáutico. Nesse caso, a Organização Mundial da Saúde (OMS) e a Comunidade Europeia (CE) recomendam que se adote uma metodologia baseada em modelos dose-resposta para se relacionar um determinado nível de ruído (dose) com um certo grau de incômodo sonoro (resposta/efeito). Os resultados dessa relação permitem quantificar o percentual de pessoas incomodadas (%I<sup>3</sup>) e o percentual de pessoas altamente incomodadas (AI<sup>4</sup>%) com o ruído aeronáutico (EC, 2002; WHO, 2011).

Atualmente, o percentual de pessoas altamente incomodadas (AI%) é utilizado para avaliar os efeitos do ruído na saúde, como um indicador de incômodo sonoro, em muitos países da América do Norte, Austrália e na Comunidade Europeia (Schultz, 1978; Miedema e Vos, 1998; Finegold L.S *et al.*, 1994; EC, 2002; EEA, 2010; WHO, 2011). A OMS também recomenda a determinação do %AI como um dos indicadores de saúde ambiental necessários para avaliação dos efeitos adversos do ruído ambiental sobre a saúde, inclusive sendo recomendado para a gestão de longo prazo do ruído proveniente de fontes de tráfego rodoviário, ferroviário e aeroviário (WHO, 2000; WHO, 2011; EC, 2002). Contudo, os efeitos do ruído do tráfego rodoviário e ferroviário distingue-se do ruído aeroviário, no mesmo nível de exposição. O ruído aeronáutico causa mais incômodo que o ruído das outras fontes de tráfego (Kryter, 1982; Miedema e Oudshoorn, 2001).

Muitas pesquisas sociais têm sido desenvolvidas para a elaboração de modelos dose-resposta entre os níveis de ruído e o incômodo sonoro, principalmente na Europa e na América do Norte (Schultz, 1978; Kryter, 1982; Fields, 1993; Miedema e Vos, 1998; Fidell *et al.*, 1991; Miedema e Oudshoorn, 2001). Entretanto, na CE (Comunidade

---

<sup>1</sup> Ruído ambiente: som externo indesejado ou prejudicial, criado por atividades humanas, incluindo o ruído emitido por meios de transporte, tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo e instalações utilizadas na atividade industrial (Diretiva 2002/49/CE, 2002).

<sup>2</sup> Nesta tese, entende-se como “percepção” o processo básico de apreensão da realidade externa a um indivíduo, ou seja, à percepção do entorno espacial (Pinheiro e Gunther, organizadores, 2008, p. 150).

<sup>3</sup> %I: Expressa o percentual de pessoas incomodadas (do inglês - *persons Annoyed* - %A).

<sup>4</sup> %AI: Expressa o percentual de pessoas altamente incomodadas (do inglês - *persons Highly Annoyed* - %HA).

Europeia) e América do Norte as condições climáticas e as técnicas de construção civil são diferentes dos padrões estabelecidos em países localizados na América do Sul, África e Ásia. Em especial, nos países da América do Norte e Europa as residências são construídas com materiais que permitem um bom isolamento térmico e que também viabilizam um bom isolamento acústico.

Além disso, comunidades e indivíduos respondem de forma diferente e apresentam diversos níveis de tolerância ao ruído, e isso depende de vários fatores sociais, econômicos e culturais que afetam o estilo de vida das pessoas (Miedema e Vos, 1999; WHO, 2003; Thomas *et al.*, 2004; Yano *et al.*, 2012). Guski (1997) destaca que mesmo os níveis de ruído e as fontes sejam as mesmas, os resultados das respostas relacionadas ao incômodo diferem de país para país, porque essas respostas são afetadas por vários fatores: culturas diferentes, línguas diferentes, diferentes percepções de incômodo e diferentes condições climáticas.

Desse modo, o desafio que se assume nessa tese é o de investigar, por meio de modelos dose-respostas, a relação entre os níveis de ruído aeronáutico e o incômodo sonoro percebido por comunidades expostas no entorno de um aeroporto brasileiro. Para tanto, o %I e o %AI foi utilizado para avaliar a relação dose-resposta devido à exposição ao ruído aeronáutico. O conhecimento proveniente dessa relação deve permitir responder a uma questão fundamental: os modelos de dose-respostas recomendados pela OMS e CE são adequados para expressar o incômodo sonoro percebido por comunidades expostas ao ruído aeronáutico no entorno de um aeroporto no Brasil? Esse é o problema de pesquisa a ser resolvido nessa tese.

Também surgem outras questões importantes para o avanço dos estudos relacionados à reação de comunidades expostas ao ruído aeronáutico no Brasil, tais como: A atual legislação brasileira, para o zoneamento sonoro de aeroportos, é adequada para tratar do incômodo gerado pelo ruído aeronáutico, principalmente no período noturno? O incômodo sonoro percebido por residentes, em comunidades no entorno de um aeroporto brasileiro, se aproxima da percepção determinada em comunidades expostas em outros países? Essas são as questões que foram tratadas ao longo desse estudo.

Por fim, cabe destacar que no Brasil poucos são os estudos que buscam verificar os impactos sonoros em populações expostas, provenientes de fontes de transportes, em especial do transporte aéreo, no período da noite. No intuito de melhor compreender os efeitos adversos causados pelo ruído aeroviário, em um contexto brasileiro, também foi realizada uma avaliação do impacto sonoro causado pelo ruído aeronáutico, no período noturno, em áreas no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Atualmente, o ruído proveniente de fontes de transportes constitui-se em problema de saúde, ambiental, social e econômico. Segundo a OMS, o ruído proveniente de fontes de tráfego (rodoviário, ferroviário e aeroviário) já é classificado em segunda posição, atrás somente da poluição do ar, entre os estressores ambientais com maior potencial de impacto à saúde pública em seis países europeus (WHO, 2011). No Brasil, o Plano Nacional de Aviação Civil destaca como objetivo referente à proteção do meio ambiente:

*Minimizar os efeitos prejudiciais da aviação civil sobre o meio ambiente é dever de todos, principalmente dos órgãos, entidades e pessoas vinculados à aviação, particularmente no que diz respeito a ruídos e emissão de gases dos motores das aeronaves e impactos da infraestrutura. Estimular a adoção de mecanismos visando atenuar tais efeitos é ação que se faz necessária para a proteção do meio ambiente” (BRASIL, 2009).*

Como o ruído aeronáutico é um dos principais efeitos prejudiciais da aviação torna-se necessário prover sua redução visando a efetiva proteção do meio ambiente e da saúde humana. Para tanto, a determinação do incômodo é amplamente aceita como a base para se avaliar o impacto em populações expostas ao ruído ambiente, uma vez que o incômodo pode desencadear déficits crônicos na qualidade de vida, no sono, no desempenho cognitivo e no equilíbrio emocional das pessoas tais como irritação, raiva, frustração e medo (Guski, 1997; Guski, 1999; Prasher D., 1999; Miedema, 2001; WHO, 2001; Babisch, 2002; Miedema, 2007; Miedema e Vos, 1999; EEA, 2010; WHO, 2011). Em virtude do potencial de prejuízos causados à saúde, a OMS indica a utilização de modelos dose-resposta que possibilitem relacionar o incômodo sentido com um indicador de ruído (WHO, 2011).

A CE, por exemplo, define uma abordagem comum a ser adotada pelos países membros com relação à avaliação e gestão do ruído ambiente, com o objetivo de evitar, prevenir ou reduzir prioritariamente os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído. Essa abordagem, atende as recomendações da OMS e parte da determinação das relações dose-resposta, onde se procura associar a certo grau de incômodo sonoro a um determinado nível de exposição ao ruído (Diretiva 2002/49/CE, 2002).

No Brasil, os conflitos associados ao ruído ambiente, em especial o ruído aeronáutico, fazem parte da realidade cotidiana de grandes cidades brasileiras. As legislações em vigor no país, referentes ao monitoramento e controle do ruído aeroviário e o zoneamento sonoro de aeroportos, não indicam a avaliação da reação de comunidades expostas ao ruído aeronáutico. As legislações brasileiras ainda carecem de métodos que dão a devida importância para os efeitos do ruído aeronáutico na qualidade de vida das comunidades afetadas.

Em virtude do incômodo sonoro gerado, as reações comunitárias estão cada vez mais fortes e constantes e em várias cidades do mundo, o resultado dessas reações tem causado restrições à capacidade operacional, à expansão e até à construção de novos aeroportos (Girvin, 2009; Suau-Sanchez *et al.*, 2011; Sadr M.K *et al.*, 2014). Apesar das pesquisas, relacionadas aos impactos do ruído aeronáutico no ambiente, na qualidade de vida e na saúde de pessoas residentes no entorno de aeroportos brasileiros, estarem aumentando durante a última década (Nunes, 2005; Nabinger L. B, 2005; Carvalho Jr, 2008; Rocha R. B, 2009; Neto A. G, 2010; Heleno T. A, 2010; Barbosa A.R., 2011; Dinato A. C, 2011), ainda existe uma lacuna de conhecimento sobre este tipo de investigação no Brasil. Até o presente momento não foi realizado nenhum estudo científico que tenha adotado a metodologia dose-resposta para a avaliação da reação de comunidades expostas ao ruído aeroviário no entorno de um aeroporto brasileiro.

É nesse ponto que reside a contribuição científica da presente tese, ou seja, sustenta-se na necessidade de se investigar o nível de incômodo percebido por comunidades brasileiras, devido à exposição ao ruído aeronáutico, com uso da metodologia dose-resposta. Os conhecimentos provenientes dessa relação deverão permitir validar ou adaptar as relações dose-respostas, indicadas pela OMS e CE, para comunidades expostas ao ruído aeronáutico no entorno de um aeroporto brasileiro.

## **1.2 HIPÓTESE**

O ruído aeronáutico provoca elevado nível de incômodo em comunidades expostas a diferentes tipos de ruído ambiente (Miedema e Oudshoorn, 2001). Por isso, a OMS e a CE recomendam que avaliações de reações comunitárias ao ruído aeronáutico, por meio de modelos dose-resposta, sejam realizadas em países com realidades sociais, culturais e econômicas diferentes. O objetivo é o de viabilizar o desenvolvimento de medidas que minimizem os efeitos adversos do ruído aeronáutico na saúde e na qualidade de vida das pessoas. Como no Brasil as condições sociais e culturais, que acabam por determinar o estilo de vida dos brasileiros, são diferentes em relação a de outros países a hipótese que se assume nesse trabalho é de que os modelos dose-resposta adotados pela CE e OMS não se aplicam, após a verificação de sua adequação, para o expressar o nível de incômodo sonoro sentido por populações expostas ao ruído aeronáutico no Brasil.

## **1.3 OBJETIVOS**

O objetivo dessa tese é avaliar o incômodo sonoro percebido por comunidades expostas ao ruído aeronáutico, por meio de relações dose-respostas, e determinar um modelo para a realidade brasileira.

Os objetivos específicos são:

- determinar a relação dose-resposta, entre o incômodo sonoro percebido e os níveis de ruído aeronáutico, no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília.
- verificar se há diferenças relevantes entre os resultados obtidos com o modelo dose-resposta, elaborado neste estudo, e os modelos recomendados pela Comunidade Europeia e a OMS;
- verificar se há diferenças relevantes entre os resultados, obtidos nesse estudo, com os resultados observados em países com climas e culturas diferentes do Brasil;
- avaliar o impacto sonoro causado pelo ruído aeronáutico, no período noturno, em áreas no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília;

## 1.4 ESTRUTURA DA TESE

A estrutura da tese é constituída por capítulos e procura atender aos objetivos propostos nesse estudo, bem como testar a hipótese levantada. Após esse primeiro capítulo introdutório, os demais capítulos ficam assim descritos:

- Capítulo 2. Ruído aeronáutico: Neste capítulo define-se ruído ambiente, ruído aeronáutico e apresenta uma revisão teórica dos fundamentos de acústica necessários para o entendimento desse estudo. Também apresenta as principais normas e legislações nacionais, e algumas normas internacionais, referentes ao monitoramento e controle do ruído aeronáutico.
- Capítulo 3. Exposição comunitária ao ruído aeronáutico: Este capítulo discute o incômodo proveniente do ruído ambiente a partir da teoria do estresse psicológico. Também contém uma revisão teórica a respeito dos modelos dose-resposta que relacionam ruído e incômodo sonoro, bem como apresenta estudos internacionais e nacionais, referentes à avaliação do impacto do ruído aeronáutico em populações expostas no entorno de aeroportos.
- Capítulo 4. Método: Esse capítulo detalha os procedimentos necessários para a avaliação do incômodo percebido por comunidades expostas ao ruído aeronáutico tendo como estudo de caso o Aeroporto Internacional de Brasília.
- Capítulo 5. Análise dos resultados e discussões: Apresenta os resultados e análise provenientes da aplicação do método proposto.
- Capítulo 6. Conclusões e recomendações: Expõe as principais conclusões, sugestões e recomendações decorrentes da aplicação do método proposto.

A Figura 1 apresenta a estrutura da tese adotada neste trabalho.



Figura 1. Estrutura da tese

## **CAPÍTULO 2. RUÍDO AERONÁUTICO**

Este capítulo apresenta definições necessárias ao entendimento desse estudo. Também destaca as principais normas e legislações nacionais, e normas internacionais, referentes ao monitoramento e controle do ruído aeronáutico. Além disso, no Apêndice “A” encontra-se uma revisão teórica a respeito de noções básicas de acústica que contribuem para um melhor entendimento da tese.

### **2.1 RUÍDO AMBIENTE**

Segundo a Diretiva 2002/49/CE, da Comunidade Europeia (CE), ruído ambiente pode ser definido como um “som” externo indesejado ou prejudicial, proveniente de atividades humanas, incluindo o ruído emitido por meios de transporte, tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo e instalações utilizadas na atividade industrial. Para a Organização Mundial da Saúde (OMS) o ruído ambiente<sup>5</sup> é definido como sendo o ruído emitido a partir de todas as fontes, exceto o ruído no local de trabalho, que para a OMS não é considerado como ruído ambiental. No entanto, o ruído oriundo de construções é classificado como ruído ambiente pela OMS (WHO, 2011). As principais fontes de ruído ambiente incluem transporte rodoviário, ferroviário e aéreo, indústrias, empreendimentos da construção civil e obras públicas, e da vizinhança (WHO, 1999, 2001, 2011).

### **2.2 RUÍDO AERONÁUTICO**

O ruído aeronáutico destaca-se como uma das principais modalidades de ruído ambiente, sendo definido como todo ruído produzido por aeronaves em operação de pouso, decolagem, taxiamento, circulação e testes de motores. Considera-se, ainda, o ruído produzido pelos equipamentos auxiliares a aeronaves. Uma das particularidades do ruído aeronáutico é que este, além de afetar seu entorno imediato, pode vir a influenciar áreas relativamente distantes de seu espaço físico, isto porque a principal fonte de ruído, a aeronave, ultrapassa os limites dos aeroportos sobrevoando muitas vezes áreas densamente povoadas (Rocha e Slama, 2008).

---

<sup>5</sup> Neste caso também podendo ser chamado de ruído ambiental. Os termos “ambiental” e “ambiente” se equivalem já que “ambiental” é relativo a ambiente (Dicionário de Português on-line Michaelis)

Também é caracterizado por ter vários picos de energia sonora, não sendo, portanto, percebido o tempo todo. As diversas fontes sonoras provenientes das atividades aeroportuárias, às quais as comunidades próximas ao aeroporto estão expostas, não são estacionárias com relação ao tempo. Além disso, o ruído aeroviário atinge, sobretudo, as pessoas que residem em locais próximos aos aeroportos, influenciando diretamente na qualidade de vida dessa parcela da população. Vale ressaltar que os momentos em que ocorre maior intensidade do ruído correspondem aos pousos, decolagens e sobrevoos (Heleno, 2010).

Outra característica importante a ressaltar é o fato da fonte de ruído ser móvel e estar acima do nível do solo durante a maior parte do tempo, o que facilita a propagação do som pela falta de obstáculos (IAC 4102, 1981). No período noturno, os modais de transportes destacam-se como fontes de ruído sendo o ruído das aeronaves considerado o que produz maior incômodo e distúrbios no sono devido à sua natureza intermitente (Jones, 2009).

### **2.3 CURVAS DE RUÍDO (CURVAS ISOFÔNICAS)**

As curvas isofônicas representam a união de pontos com a mesma avaliação numérica, ou nível de ruído, no entorno de um aeroporto. Leva-se em consideração a possibilidade de se obter os níveis de incômodo, para um determinado período, um dia, por exemplo, obtendo-se um conjunto de contornos, ou curvas, de igual nível de incômodo.

Através dessas curvas, pode-se avaliar a extensão do impacto sonoro produzido pelo aeroporto, além de analisar quantitativamente os efeitos de soluções imaginadas. Dessa forma, pode-se elaborar uma política de ocupação do solo, que harmonize a convivência entre o aeroporto e a comunidade servida (IAC 4102, 1981). A NBR 12.859 (ABNT, 1993) estabelece condições exigíveis para gerar curvas isofônicas e analisar os níveis de incômodo sonoro em função das áreas sujeitas ao ruído gerado por operações aeroportuárias.

### **2.4 MAPAS ACÚSTICOS**

Mapa acústico (mapa de ruído ou carta acústica) são mapas para fins de avaliação global da exposição ao ruído em determinada zona, devido a uma fonte ou várias fontes de ruído. Para a elaboração dos mapas acústicos deve-se considerar, minimamente, os seguintes aspectos: situação sonora existente, anterior ou prevista em função de um indicador de ruído; ultrapassagem de um valor-limite; número estimado de habitações, escolas e hospitais numa determinada zona que estão expostas a valores específicos de um dado indicador de ruído; número estimado de pessoas localizadas numa zona exposta ao ruído (Diretiva 2002/49/CE, 2002).

Além disso, os mapas de ruído também permitem a identificação de áreas sensíveis ao ruído e os principais receptores críticos, servem de instrumentos para a orientação do zoneamento sonoro, permitem demonstrar o número de pessoas afetadas em determinada área e o número de habitações expostas a determinados valores de um indicador de ruído em uma região (Diretiva 2002/49/CE, 2002).

Para a APA (Agência Portuguesa do Ambiente), mapas acústicos constituem-se, essencialmente, em uma ferramenta de apoio à tomada de decisão no planejamento e ordenamento territorial que permite visualizar condicionantes relacionados à qualidade do ambiente acústico devendo, portanto, serem adotados na preparação dos instrumentos de ordenamento do território e na sua aplicação. Um mapa acústico é composto por curvas de ruído correspondentes à determinada classe de valores expressos em decibel (dB), reportando-se a uma situação existente ou prevista e deverá fornecer informação para atingir os seguintes objetivos (APA, 2011): preservar zonas sensíveis e mistas com níveis sonoros regulamentares, corrigir zonas sensíveis e mistas com níveis sonoros não regulamentares e criar novas zonas sensíveis e mistas com níveis sonoros compatíveis.

A elaboração de mapas de ruído através de modelagem computacional é dividida em quatro fases distintas (APA, 2004): (a) definição da "área do mapa" e da "área de estudo"; (b) aquisição de dados; (c) cálculo do mapa de ruído e (d) validação do mapa de ruído. Na primeira fase é necessário considerar uma área de estudo maior do que a área onde se pretende conhecer os níveis sonoros (adiante designada como "área do mapa de ruído"), dado que poderão existir fontes de ruído que apesar de se localizarem fora da área do mapa, poderão ter influência nos níveis sonoros aí existentes. A distância a considerar para além da área do mapa depende do tipo e intensidade da fonte em questão, bem como

das características de ocupação do solo no limite da área do mapa que determinam a capacidade de influência dessas fontes exteriores naquela área.

## 2.5 MÉTRICAS ACÚSTICAS<sup>6</sup>

Uma métrica acústica, ou indicador de ruído, é utilizada para reduzir uma grande quantidade de dados em um único número capaz de prover uma acurada informação sobre um determinado ruído ambiente. As principais métricas acústicas, utilizadas para a avaliação do ruído ambiente, podem ser agrupadas nas seguintes classes:

- métricas que expressam o nível sonoro máximo para um evento único (*Single Event Maximum Sound Levels*)
- métricas que expressam a dose de energia para um evento único (*Single Event Energy Dose*)
- métricas que expressam a energia sonora média acumulada (*Cumulative Energy Average Metrics*).

### 2.5.1 Métricas que expressam o nível sonoro máximo para um evento único

#### 2.5.1.1 Nível de ruído percebido (*PNL – Perceived noise level*)

Segundo a NBR 11.415 (ABNT, 1990), o *PNL* é o resultado do cálculo dos contornos de igual índice de ruidosidade percebida, de frequências de banda larga e tipos de ruído produzidos por aeronaves, a pistão ou a jato, no pouso e decolagem convencionais. No cálculo, consideram-se um campo sonoro difuso e a inexistência de irregularidades pronunciadas no espectro. É expresso pela equação 1.

$$PNL = (10 \times \log_{10} N / \log_{10} 2) + 40 \text{ dB} \quad (1)$$

Onde, *N* expressa a ruidosidade percebida total em *noys*. Cabe destacar, que a ruidosidade percebida é uma grandeza psicoacústica desenvolvida para mensurar objetivamente o

---

<sup>6</sup> Parte desta seção foi publicada no *Journal of Transport Literature (JTL)*. Referência: Carvalho Jr, E. B., Garavelli, S. L., Smozinski, F. V., Maroja, A. M. and Melo, W. C. (2013) Análise das principais métricas utilizadas no zoneamento acústico de áreas próximas a aeródromos. *Journal of Transport Literature*, vol. 7, n. 4, pp. 175-198.

incômodo do ruído e possui como unidade o *noy*. A ruidosidade percebida de um tom puro (som em uma única frequência) em 1 kHz, com nível de pressão sonora de 40 dB, equivale a 1 *noy*. Ruídos de 2, 4, 10 ou 20 *noys* são considerados com tendo ruidosidade percebida 2, 4, 10 ou 20 vezes maior que 1 *noy*. Portanto, o *noy* expressa a sensação subjetiva de incômodo do ruído em uma escala linear (Bistafa, 2006, p. 68).

Sendo assim, o *noy* é a unidade percebida de um ruído cujo *PNL* é de 40 *PNdB*. Ressalta-se que o campo sonoro difuso é o campo acústico no qual a energia por unidade de volume tem o mesmo valor em todos os pontos e onde a intensidade acústica é a mesma em todas as direções (ABNT, 1990).

#### 2.5.1.2 Nível de ruído percebido com correção de tom (*PNLT*).

Caso o espectro apresente tons puros expressivos, um refinamento adicional do método consiste na correção para cada valor do *PNL* obtido. Isso requer que se identifiquem picos relativamente elevados nos espectros medidos, aplicando-se correções conforme regras estabelecidas na norma ISO 3891 (1978). Nos piores casos, essa correção poderá ser de até + 7dB. O resultado é conhecido como nível de ruído percebido com correção de tom (*PNLT*) (Bistafa, 2006, p. 224).

Dessa forma, o *PNLT* é a correção do nível de ruído percebido, acrescido de um fator de correção de tom, quando existe ocorrência de irregularidades espectrais. É definido da seguinte forma (ABNT, 1990):

$$PNLT = (PNL + C) \quad (2)$$

Onde, C indica a correção do tom, que nos piores casos poderá ser de até + 7 dB (Bistafa, 2006, p.224). O *PNL* e o *PNLT* são métricas acústicas que representam um nível sonoro máximo quase que exclusivamente para a avaliação de ruído das aeronaves.

#### 2.5.2 Métricas que expressam a dose de energia para um evento único

Algumas métricas expressam tanto o nível sonoro máximo quanto a duração do evento. Estas métricas são derivadas a partir de métricas que expressam o nível sonoro máximo para um evento único, ou seja, do *PNL* e do *PNLT*.

#### 2.5.2.1 *Nível Efetivo de Ruído Percebido (EPNL - Effective Perceived Noise Level)*

O *EPNL* é calculado integrando-se o registro de *PNLT* no intervalo de tempo durante o qual este esteve até 10 dB abaixo do valor máximo, sendo resultado normalizado pelo intervalo de tempo de referência (T) de 10s. A ideia por trás da normalização com o valor de 10s é penalizar aqueles aviões que fazem muito ruído durante muito tempo, considerando-se também que 10s é um tempo razoável para um sobrevoo típico (Bistafa, 2006, p. 225).

Basicamente o *EPNL* avalia três propriedades: nível de pressão sonora, distribuição de frequência e variação do tempo. O *EPNL* é representado pela equação 3 (ABNT 1990; Bistafa, 2006, p. 225).

$$EPNL = 10 \times \log_{10} \left[ \frac{1}{T} \int_0^t 10^{[(PNLT(t)/10]} dt \right] \quad (3)$$

Onde, *PNLT* (t) é o nível de ruído percebido com correção de tom em um instante t e T é o tempo de referência equivalente a 10s.

#### 2.5.2.2 *Nível Ponderado Equivalente Contínuo do Ruído Percebido (WECPNL - Weighted Equivalent Continuous Perceived Noise Level)*

O método *WECPNL* possui duas versões que diferem no número de períodos em que o dia é dividido (ABNT, 1990). Elas correspondem à divisão do dia em dois períodos, *WECPNL* (2), e em três, *WECPNL* (3). Observa-se que os índices da ICAO (Organização da Aviação Civil Internacional) foram desenvolvidos para a avaliação do nível de incômodo devido a longas exposições ao ruído (da ordem de semanas ou meses), motivo pelo qual foi introduzido um fator de sazonalidade.

Deve-se, primeiramente, definir um valor equivalente contínuo do ruído percebido (ECPNL - *Equivalent Continuous Perceived Noise Level*), que é dado da seguinte forma:

$$ECPNL = 10 \times \log_{10} \sum_{k=1}^n 10^{EPNL(k)/10} + 10 \times \log_{10} \left( \frac{10}{T_{ref}} \right) \quad (4)$$

Onde o ECPNL é o nível equivalente de ruído percebido contínuo para o período de tempo T ( $T_{ref}$ ), o EPNL (k) é o nível de ruído efetivamente percebido medido para o k – ésimo sobrevoo e  $T_{ref}$  é o tempo de referência.

Já o WECPNL (2) é expresso por:

$$WECPNL (2) = 10 \times \log_{10} \left[ \frac{5}{8} \left( 10^{\frac{ECPNLD(2)}{10}} \right) + \frac{3}{8} \left( 10^{\frac{ECPNLN(2)+10}{10}} \right) \right] + S \quad (5)$$

Onde ECPNLD (2) corresponde ao ECPNL durante o período diurno (07:00 às 22:00 h), ECPNLN (2) é o ECPNL para o período noturno (22:00 às 07:00 h) e S é o ajuste sazonal, podendo ser:

- S = - 5 dB: para meses em que normalmente menos de 100h com temperaturas iguais ou superiores a 20°C;
- S = 0 dB: para meses em que normalmente mais de 100h com temperaturas iguais ou superiores a 20°C e menos de 100h com temperaturas iguais ou superiores a 25,6 °C;
- S = + 5 dB: para meses em que há mais do que 100h com temperaturas iguais ou superiores a 25,6 °C;

O cálculo do WECPNL (3) é complexo e expresso por (ABNT, 1990):

$$WECPNL (3) = 10 \times \log_{10} \left[ \frac{4}{8} \left( 10^{\frac{ECPNLD(3)}{10}} \right) + \frac{1}{8} \left( 10^{\frac{ECPNLE(3)+5}{10}} \right) + \frac{3}{8} \left( 10^{\frac{ECPNLN(3)+10}{10}} \right) \right] + S \quad (6)$$

Onde ECPNLD (3) corresponde ao ECPNL durante o período diurno (07:00 às 22:00 h), ECPNLE (3) ao período do anoitecer (19:00 às 22:00h) e ECPNLN (3) é o ECPNL para o período noturno (22:00 às 07:00 h) e S é o ajuste sazonal, como descrito anteriormente.

### 2.5.2.3 SEL – Nível de exposição sonora (Sound Exposure Level)

O SEL representa a soma de todos os níveis de pressão sonora dentro de um intervalo de interesse, ou seja, o SEL não representa o nível sonoro percebido em determinado momento diretamente, mas provê a medida líquida de energia do evento acústico inteiro. É o nível de um som constante, com uma duração de 1 segundo, o que proporcionaria uma quantidade de energia de som igual à energia do evento em estudo. Pode ser calculado usando a equação para o nível de pressão sonora equivalente com a duração (T) passando a ser um tempo referenciado ( $T_{ref}$ ) de 1 segundo. A equação para a determinação do SEL é, então, expressa da seguinte forma (FICON, 1992; ABNT, 1990):

$$SEL = 10 \times \log \left[ \frac{1}{T_{ref}} \int_0^t 10^{\frac{L_A(t)}{10}} dt \right] = 10 \times \log \left[ \int_0^t 10^{\frac{L_A(t)}{10}} dt \right] \quad (7)$$

Onde,  $T_{ref}$  é igual a 1 segundo e  $L_A(t)$  é o nível de ruído na escala A, no instante  $t$ . Também é importante indicar a relação entre o SEL e o  $L_{max}$  (nível sonoro de pico) em dB(A), que descreve o maior nível de pressão sonora num determinado intervalo de tempo. Na prática o  $L_{max}$  é mais fácil de se medir que o SEL, e é frequentemente utilizado em estudos de efeitos da exposição de pessoas ao ruído proveniente de fontes de transporte. A seguinte expressão pode ser utilizada para o cálculo aproximado do SEL com  $L_{max}$  (Bistafa, 2006, p.110):

$$SEL \cong L_{max} + 10 \times \log t_{1/2} \quad (8)$$

Sendo  $L_{max}$  o nível de pico (em dB(A)) e  $t_{1/2} = \frac{(t_2 - t_1)}{2}$ , com  $t_1$  e  $t_2$  tomados a  $-10$  dB antes e depois do pico sonoro, respectivamente. Para a relação específica entre o SEL e o  $L_{max}$  para o ruído aeronáutico pode-se adotar a seguinte aproximação (EC, 2004):

$$SEL \cong 23,9 + 0,81 \times L_{\max} \quad (9)$$

Desse modo, o *SEL* é adotado para medir o ruído associado a eventos individuais e também é muito utilizado para dimensionar a interferência no sono ocasionada pelo ruído aeronáutico.

### 2.5.3 Métricas que expressam a energia sonora média acumulada

Essas métricas acústicas são geralmente derivadas das métricas que expressam a dose de energia para um evento único. Podem ser calculadas a partir de dados de medição de ruído contínuo e se correlacionam bem com os níveis de incômodo sonoro sentido por comunidades expostas ao ruído ambiente. Essas métricas não foram concebidas para avaliar os níveis sonoros de uma única fonte, ou seja, elas não expressam de forma adequada componentes tonais. Também não são adequadas para avaliar os níveis de interferência do ruído na fala, na comunicação entre pessoas, distúrbios no sono ou outros fenômenos que exigem análise com uso de métricas que representem a dose de energia sonora (*EPNL* e *SEL*)

#### 2.5.3.1 *L<sub>eq</sub>* (Nível de pressão sonora equivalente)

O nível de pressão sonora equivalente (*L<sub>eq</sub>*), ou nível contínuo equivalente, é o som produzido durante um dado período de tempo, é expresso em dB e calculado de acordo com a NBR 10.151 (ABNT, 2000) pela equação 10:

$$L_{eq} = 10 \times \log_{10} \left( \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt \right) \quad (10)$$

Onde T é a duração do período de referência (tempo total de medida); *p(t)* é a pressão sonora instantânea; *p<sub>0</sub>* é pressão sonora de referência ( $2,0 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>). A Equação 15 mostra que o nível equivalente é representado por um valor constante que durante o mesmo tempo T, resultaria na mesma energia acústica produzida pelos valores instantâneos variáveis de pressão sonora.

### 2.5.3.2 Nível de ruído previsto (*NEF – Noise Exposure Forecast*)

O *NEF* tem por base o *EPNL* e é, segundo Bradley (1996), definido pela equação:

$$NEF = \langle EPNL \rangle + 10 \times \log(N_d + 16,7.N_n) - 88 \quad (11)$$

Onde  $\langle EPNL \rangle$  é a média do *EPNL* de sobrevoo das aeronaves,  $N_d$  e  $N_n$  representam a quantidade de horas correspondente ao período diurno (7h às 22h) e ao noturno (22h às 7h), respectivamente.

### 2.5.3.3 Índice Ponderado de Ruído (*IPR*)

As NBR's 11.415 (ABNT, 1990) e NBR 12.859 (ABNT, 1993) definem o *IPR* da seguinte forma:

$$IPR_{(i,j,k)} = EPNL_{(i,j,k)} + 10 \log \cdot p(k) \cdot n_{(i,j,k)} - 68 \quad (12)$$

Onde,  $n_{(i,j,k)}$  é o número dessas aeronaves,  $p(k)$  é o fator de ponderação em função do período do dia:  $p(1) = 1$  para o período diurno e  $p(2) = 10$  para o período noturno (ABNT, 1990 e ABNT, 1993). Aqui se chama a atenção para os pesos diferenciados entre voos diurnos e noturnos.

Após 1994 a fórmula mostrada na equação 16 foi aprimorada com o objetivo de permitir medições diretas em campo, e encontra-se descrito no *Airport Planning Manual* (ICAO, 2002). A fórmula aprimorada é determinada pela expressão 13:

$$IPR = 10 \times \log \left[ \frac{1}{24} \left( 15 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 9 \times 10^{\frac{(L_n+10)}{10}} \right) \right] \quad (13)$$

Onde, o número 24 corresponde às horas medidas, 15 ao período diurno e 9 ao noturno, sendo que o período noturno deve começar depois das 22h e não deve terminar antes das 7h do dia seguinte. Como se verifica a seguir, o *IPR* tornou-se equivalente ao *DNL* (*Day Night Level*).

#### 2.5.3.4 DNL ou $L_{dn}$ (Day Night Level)

O *DNL* é uma medida cumulativa da energia total do som e representa uma média logarítmica dos níveis sonoros durante um período de 24 horas, com uma penalização de 10 dB adicionado a todos os sons que ocorram durante o horário noturno (das 22h às 7h). A pena de 10 dB representa a intromissão do ruído adicionado à noite, pois os níveis de som ambiente durante as horas noturnas são, tipicamente cerca de 10 dB inferiores aos níveis medidos durante o dia, e por causa da irritação associada a distúrbios do sono (FAA, 2011).

De acordo com a NBR 11.415 (ABNT, 1990), o nível de incômodo sonoro medido pelo método *DNL* é determinado pelo  $L_{eq}$  para 24h, sendo que no período das 22h às 7h, somam-se 10 dB a todos os níveis medidos. É definido da seguinte forma:

$$DNL = 10 \times \log \left[ \frac{1}{24} \left( 15 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 9 \times 10^{\frac{(L_n+10)}{10}} \right) \right] \quad (14)$$

Onde o número 24 corresponde às horas medidas, 15 ao período diurno e 9 ao noturno, sendo que o período noturno deve começar depois das 22h e não deve terminar antes das 7h do dia seguinte. Já  $L_d$  corresponde ao  $L_{eq}$  para o período diurno e  $L_n$  ao  $L_{eq}$  para o noturno. Vale destacar que o *DNL* se correlacionada muito bem com a métrica *NEF*, sendo a equivalência entre essas métricas expressa, aproximadamente, por:  $DNL \cong NEF + 35$  (HUD, 2011). Assim, a curva *NEF* 30 é equivalente à curva *DNL* 65.

#### 2.5.3.5 $L_{den}$ (indicador do nível de pressão sonora dia-fim-de-tarde-noite)

Segundo a Diretiva Europeia 2002/49/EC o  $L_{den}$  (ou DENL) é definido pela equação:

$$L_{den} = 10 \times \log_{10} \left[ \frac{1}{24} \left( 12 \times 10^{\frac{L_d}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \right] \quad (15)$$

O  $L_d$  é o nível de pressão sonora equivalente e contínua referente a um período corresponde às 12h avaliado entre 7h e 19h;  $L_e$  é o nível de pressão sonora equivalente e

contínua referente a um período corresponde às 4h avaliado entre 19h e 23h (entardecer);  $L_n$  é o nível de pressão sonora equivalente e contínua referente a um período corresponde às 8h avaliado entre 23h e 7h. No caso, o  $L_d$ , o  $L_e$  e o  $L_n$  devem ser medidos com o filtro de frequências na ponderação “A”. A equação 19 mostra que o indicador  $L_{den}$  representa o nível de pressão sonora nas 24h do dia, com a aplicação de uma ponderação diferenciada para os ruídos emitidos durante o período do anoitecer/entardecer (correção + 5 dB) e da noite (correção + 10 dB).

#### 2.5.3.6 $L_n$ como indicador de ruído noturno causado por eventos separados

Atualmente, o indicador de ruído mais utilizado para predizer os efeitos crônicos da exposição ao ruído noturno, tal como o distúrbio do sono, é o  $L_n$  (“average” night-time noise level). O  $L_n$  integra as contribuições de ruído de eventos individuais para a exposição noturna geral e também está relacionado com a incidência dos efeitos instantâneos ( $SEL$ ) do ruído sobre o sono (Diretiva 2002/49/CE, 2002).

Quando o ruído no período da noite é causado por  $N$  eventos separados (e.g. passagem de avião, de um trem ou de um veículo motorizado), e se esses  $N$  eventos possuem igual  $SEL$ , então tem-se a seguinte relação para o  $SEL$  e o  $L_n$  (Miedema *et al.*, 2002):

$$L_n = SEL + 10 \times \log N - 70,2 \quad (16)$$

Seria importante a realização de estudos com a métrica  $L_n$  no contexto brasileiro, pois os resultados podem apontar para a necessidade de se utilizar essa métrica no auxílio ao planejamento do uso e ocupação do solo em áreas circunvizinhas a aeroportos bem como no monitoramento do ruído aeronáutico no Brasil.

#### 2.5.4 Tabela resumo das principais métricas acústicas

A Tabela 1 resume os principais indicadores acústicos adotados na CE e pela OMS.

Tabela 1. Indicadores acústicos

Indicador acústico*	Descrição	Constante de tempo
$L_{max}$	Nível máximo de pressão sonora que ocorre em determinado intervalo, normalmente indicando a passagem de um veículo	125 ms**
SEL	Nível de exposição sonora = nível de pressão sonora durante um intervalo normalizado para 1 segundo.	1 s
$L_{dia}$ ( $L_d$ )	Nível de pressão sonora médio durante o dia. O dia pode ser escolhido de modo que represente um período maior - por exemplo, $L_d$ também ocorre no $L_{den}$ e nesse caso é utilizado o nível médio anual para o dia.	12 ou 16 hrs
$L_{noite}$ ( $L_n$ )	Nível de pressão sonora médio durante a noite. A noite pode ser escolhido de modo que represente um período maior - por exemplo, $L_n$ também ocorre no $L_{den}$ e nesse caso é utilizado o nível médio anual para noite. Este é o indicador acústico para o período noturno utilizado pela CE (Diretiva 2002/49/CE) e pela OMS.	8 hrs
$L_{24h}$	Nível de pressão sonora médio ao longo de um dia inteiro. Este dia inteiro pode ser escolhido de modo que seja representativo de um período mais longo.	24 hrs
$DNL$ ( $L_{dn}$ )	Nível de pressão sonora médio ao longo de um dia inteiro. Este dia inteiro pode ser escolhido de modo que seja representativo de um período mais longo. Neste indicador acústico o período da noite recebe uma penalização de 10 dB.	24 hrs
DENL ( $L_{den}$ )	Nível de pressão sonora médio de todos os dias, entardeceres e noites em um ano. Neste indicador acústico o período do entardecer é penalizado em 5 dB e o período noturno recebe uma penalização de 10 dB. Esse é o indicador acústico, para uso geral de avaliação do ruído ambiente, adotado pela CE (Diretiva 2002/49/CE).	Anual

Notas: \* Os níveis de ruído referem-se a fachada exterior dos edifícios salvo disposição em contrário / \*\* Se a configuração do medidor de nível sonoro estiver no modo 'fast', o que é comum. Fonte: Adaptado de: EEA, 2010.

## 2.6 RUÍDO AERONÁUTICO: NORMAS, PORTARIAS E LEGISLAÇÕES<sup>7</sup>

### 2.6.1 Legislações nacionais

#### 2.6.1.1 Portaria N° 1.141/GM5/87

A portaria 1.141/GM5 de 1987 estabelece o Plano de Zoneamento de Ruído (PZR) com o intuito de controlar o uso e ocupação do solo nos arredores dos aeroportos, visto que os níveis sonoros nestas áreas são bastante altos. Os ruídos gerados pela operação aeroportuária são estabelecidos pelo Plano de Zoneamento de Ruído (PZR), que é um documento normativo do Comando da Aeronáutica, estabelecendo restrições de uso do solo, constituídas pelo PBZR que definem as áreas de impacto do ruído aeronáutico. Essas áreas podem ser visualizadas na Figura 2 onde: Área 1 – Interior à curva de nível de ruído

<sup>7</sup> Esta seção é parte integrante do artigo publicado no *Journal of Transport Literature* em 2013. Referência: Carvalho Jr, E. B., Garavelli, S. L., Smozinski, F. V., Maroja, A. M. and Melo, W. C. (2013) Análise das principais métricas utilizadas no zoneamento acústico de áreas próximas a aeródromos. *Journal of Transport Literature*, vol. 7, n. 4, pp. 175-198. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S2238-10312013000400009>

1, onde o nível de incômodo sonoro é potencialmente nocivo aos circundantes, podendo ocasionar problemas fisiológicos, devido às exposições prolongadas, sendo o IPR de 75 dB(A); Área 2 – Área do Plano de Zoneamento de Ruído, compreendida entre as curvas de nível de ruído 1 e 2 com valores médios do IPR entre 65 dB(A) e 75 dB(A), onde são registrados níveis de incômodo sonoro moderado; Área 3 – Área do Plano de Zoneamento de Ruído, exterior à curva de ruído de nível 2, onde normalmente não são registrados níveis de incômodo sonoro significativos com o valor do IPR sendo inferior a 65 dB(A).

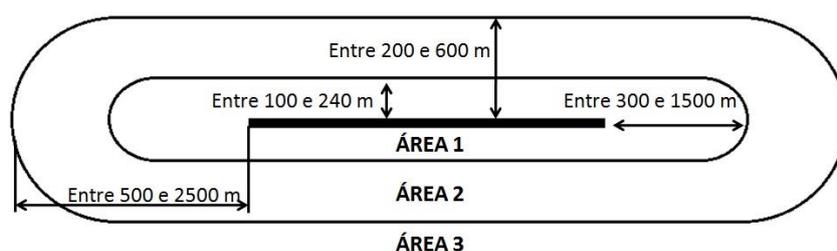


Figura 2. Áreas de Impacto PBZR – Portaria 1.141/GM5/87

#### 2.6.1.2 NBR 10.856/1989

A NBR 10.856 (ABNT, 1989) determina o nível efetivo de ruído percebido “*Effective Perceived Noise Level*” (*EPNL*), nas medições de ruído de sobrevoo de aeronaves. O *EPNL* analisa as três propriedades básicas do ruído: nível de pressão sonora, distribuição de frequência e variação no tempo.

#### 2.6.1.3 NBR 12.859/1993

Analisa os níveis de incômodo sonoro e fixa condições para gerar curvas isofônicas em áreas sujeitas ao ruído gerado por operações aeronáuticas. O método de avaliação do incômodo sonoro é calculado pelo Índice Ponderado de Ruído (IPR). A Tabela 2 relaciona os valores de IPR conforme a reação da comunidade.

Tabela 2. Relação entre IPR e a reação das comunidades - NBR 12.859 (ABNT, 1993)

Valor do IPR	Reação da Comunidade exposta a este nível de incômodo
IPR < 53	Nenhuma reclamação é esperada. Ambiente pouco ruidoso
53 < IPR < 60	É esperado grande volume de reclamações por parte dos residentes. Ambiente medianamente ruidoso
IPR > 60	São esperadas reclamações generalizadas por parte dos residentes. É possível ação comunitária em prol da redução do nível de ruído

#### 2.6.1.4 NBR 13.368/1995

A NBR 13.368/95 (ABNT, 1995) prescreve o método para monitoramento de ruídos gerados por aeronaves que verifica a existência do impacto sonoro gerado pelo ruído aeronáutico ( $L_{ra}$ ) em relação ao ruído de fundo ( $L_{rf}$ ), conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Impacto sonoro gerado pelo  $L_{ra}$  em relação ao  $L_{rf}$  – NBR 13.368 (1995)

Impacto sonoro	$L_{ra} - L_{rf}$ (dB)
Desprezível	< 3
Significativo	> 3

O valor encontrado para o nível de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ), durante as medições, deve ser comparado com os valores da Tabela 4, visando à avaliação do incômodo gerado pelas operações aeroportuárias.

Tabela 4. Incômodo gerado pelas operações aeroportuárias – NBR 13.368 (1995)

Reclamações esperadas	Diurno	Noturno
Sem reação ou queixa esporádicas	$L_{eq} < 65$	$L_{eq} < 55$
Queixas generalizadas - Possíveis ações da comunidade	$75 > L_{eq} > 65$	$65 > L_{eq} > 55$
Ações comunitárias vigorosas	$L_{eq} > 75$	$L_{eq} > 65$

#### 2.6.1.5 NBR 11.415/1990

A NBR 11.415/1990, estabelece termos e grandezas empregados no ruído aeronáutico e descreve a quantidade máxima de exposição diária permissível dos níveis de ruído que uma pessoa está sujeita, onde o tempo máximo de exposição para um ruído de 85 dB(A) é de 8 horas diárias e para um ruído de 115 dB(A) é de 7 minutos diários.

#### 2.6.1.6 Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) n.º 161 de 2013

A mais recente legislação brasileira para zoneamento de ruídos de aeroportos, o RBAC 161 de 2013, adota o indicador de ruído *DNL* e estabelece um Plano de Zoneamento de Ruídos de Aeródromos (PZR) composto por até cinco curvas de ruído. Também apresenta as compatibilizações e incompatibilizações ao uso do solo estabelecidas para as áreas delimitadas por essas curvas. Anteriormente a essa resolução, o PZR era definido pela Portaria 1.141/GM5 de 1987 e exigia somente a elaboração de duas curvas isofônicas para estabelecer restrições ao uso do solo.

Também estabelece que as curvas de ruído deverão ser calculadas por meio de programa computacional que utilize metodologia matemática apropriada para a geração de curvas na métrica *DNL*, considerando como período noturno o período compreendido entre 22h e 7h do horário local. Essa resolução ainda define que o operador de aeródromo deve utilizar o critério apresentado a seguir para definir a obrigatoriedade de aplicação de um PEZR (Plano Específico de Zoneamento de Ruído):

- para aeródromos com média anual de movimento de aeronaves dos últimos 3 (três) anos superior a 7.000 (sete mil), deve ser aplicado um PEZR;
- para os demais aeródromos, é facultado ao operador de aeródromo escolher o tipo de plano a ser elaborado, Plano Básico de Zoneamento de Ruído – PBZR ou PEZR.

A ANAC poderá solicitar a elaboração de um PEZR a qualquer aeródromo. Ressalta-se que o PBZR possui curvas de ruído de 75 e 65. As cinco curvas de ruído que compõem o PEZR, na métrica *DNL*, são (RBAC 161, 2011):

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

O RBAC 161 (2013) também inova acrescentando, na subparte F, orientações para o relacionamento entre operadores de aeródromos, órgãos locais e comunidades. Essas orientações preveem, para aeroportos mais movimentados, a instituição de uma Comissão de Gerenciamento de Ruído Aeronáutico (CGRA). Entre outras atribuições, cabe à CGRA estudar, propor e implementar, no seu âmbito de atuação, medidas para mitigar o

impacto do ruído aeronáutico no entorno do aeródromo sempre que identificar atividades incompatíveis com o nível de ruído previsto no Plano de Zoneamento de Ruído (PZR). Entende-se que essa atribuição da CGRA possibilita a promoção de estudos suplementares ao PZR, desde que concorram para a minimização do efeito global da exposição ao ruído.

Além disso, indica a classificação do uso do solo nas áreas próximas aos aeródromos e estabelece os níveis de redução de ruído (NRR's) para a construção de empreendimentos nessas regiões. O NRR corresponde à diferença entre as medidas simultâneas de nível de ruído externo e interno à edificação, considerando uma fonte sonora constante.

#### 2.6.1.7 Legislação Ambiental - Resolução CONAMA n° 01/1990 e NBR 10.151/2000

A Resolução Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) n° 01, dispõe sobre a emissão de ruídos, em decorrência de qualquer atividade industrial, comercial, social ou recreativa, inclusive as de propaganda política (BRASIL, 1990). Para a resolução ter efeito de aplicabilidade, as medições deverão ser efetuadas conforme a NBR 10.151 (ABNT) que fixa os níveis de ruído superiores que são prejudiciais à saúde e estabelece condições exigíveis para a avaliação da aceitabilidade do ruído em áreas habitadas, visando o conforto das comunidades e especifica um método para a medição de ruído.

O método de avaliação envolve as medições do nível de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ), ponderados em dB(A). Estabelece níveis de ruídos em seis áreas distintas, sendo cinco áreas urbanas e uma área rural (Tabela 5).

Tabela 5. Nível de critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A)

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

Fonte: NBR. 10.151 (ABNT, 2000)

Atualmente, a NBR 10.151 (ABNT, 2000) encontra-se em processo de reformulação.

### 2.6.1.8 Política Nacional da Aviação Civil (PNAC)

O Decreto nº 6.780/2009<sup>8</sup> aprova a Política Nacional de Aviação Civil (PNAC) corresponde ao conjunto de diretrizes e estratégias que nortearão o planejamento das instituições responsáveis pelo desenvolvimento da aviação civil brasileira, estabelecendo objetivos e ações estratégicas para esse setor, e integra-se ao contexto das políticas nacionais brasileiras. O principal propósito da PNAC é assegurar à sociedade brasileira o desenvolvimento de sistema de aviação civil amplo, seguro, eficiente, econômico, moderno, concorrencial, compatível com a sustentabilidade ambiental, integrado às demais modalidades de transporte e alicerçado na capacidade produtiva e de prestação de serviços nos âmbitos nacional, sul-americano e mundial (BRASIL, 2009).

Os objetivos do PNAC são: segurança, prestação do serviço adequado, proteção ao meio ambiente, proteção do consumidor, o desenvolvimento da aviação civil e a eficiência das operações da aviação civil. Também apresenta como ações gerais para o meio ambiente:

- estimular a redução dos níveis de ruídos de motores das aeronaves;
- minimizar o impacto das emissões de gases de motores das aeronaves na qualidade do ar;
- promover o envolvimento das entidades relacionadas à aviação civil na proteção do meio ambiente;
- estimular o desenvolvimento e o uso de tecnologias que reduzam os impactos da atividade aeronáutica no meio ambiente;

Como ações específicas para o meio ambiente o PNAC indica:

- assegurar a inclusão dos aspectos ambientais no planejamento, implantação e operação dos aeródromos;
- buscar permanentemente a redução dos impactos adversos provocados pelo ruído aeronáutico e emissões de gases de motores das aeronaves no meio ambiente;
- adotar, nas questões relativas a ruído, uma abordagem equilibrada, que consista nos seguintes elementos: redução do ruído na fonte, planejamento do uso do solo

---

<sup>8</sup> Disponível no sítio: < [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6780.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6780.htm)> Acesso: 05 de fev 2015.

no entorno dos aeródromos, adoção de medidas mitigadoras, e restrições operacionais, de acordo com os interesses nacionais;

- incentivar o desenvolvimento de tecnologias no âmbito da aviação civil, com destaque para indústria aeronáutica, respeitando o meio ambiente;
- promover e aprimorar medidas que desestimulem o adensamento populacional em áreas sujeitas a níveis significativos de emissão de ruídos e gases por parte de motores de aeronaves, em conformidade com a legislação referente às zonas de proteção de aeródromos, de ruídos, de auxílios à navegação e à área de segurança aeroportuária;
- estimular e apoiar a adoção de políticas relacionadas ao meio ambiente nas áreas de entorno dos aeródromos nas esferas federal, estadual e municipal, visando ao estabelecimento de condições mais adequadas para a prática das atividades aeronáuticas;
- aprimorar os procedimentos de navegação aérea em rota e em área terminal e de técnicas de voo que resultem em redução do impacto de ruído e emissões de gases de motores de aeronaves;
- fomentar a educação ambiental junto à comunidade aeroportuária, às comunidades residentes em áreas de entorno de aeródromos.

#### 2.6.1.9 Resumo das normas e legislações brasileiras

A Tabela 6 apresenta, resumidamente, as normas e os indicadores de ruído adotados para o monitoramento e controle do ruído aeroviário no Brasil. Da Tabela 6 observa-se que existem divergências entre as normas brasileiras, principalmente com relação à metodologia e à métrica acústica empregada. A portaria 1.141/GM5 (1987) e as normas NBR's 11.415 (ABNT, 1990), 10.856 (ABNT, 1989) e 12.859 (ABNT, 1993) se complementam e indicam a métrica IPR para a elaboração de curvas isofônicas. Em 1994 o IPR foi atualizado tornando-se uma métrica equivalente ao *DNL*. Entretanto, a métrica IPR é indicada para um período de medição de 24h e o  $L_{eq}$ , na NBR 13.368 (ABNT, 1995), somente para 1 hora de medição.

A Resolução CONAMA nº. 1 de 1990 é uma norma ambiental e reporta-se à NBR 10.151 (ABNT, 2000), que utiliza como principal métrica o  $L_{eq}$  e fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades. Os níveis critérios estabelecidos

nessa norma são obtidos por meio do cálculo do  $L_{eq}$  assim como o estabelecido na NBR 13.368 (ABNT, 1995). No entanto, a NBR 10.151 (ABNT, 2000) não estabelece um tempo de medição de uma hora e apresenta limites de níveis de pressão sonora para áreas residenciais, em ambientes urbanos, mais restritivos aos propostos pela NBR 13.368 (ABNT, 1995).

Somente em 2013 o RBAC 161 (2013) estabelece para os operadores de aeródromos, os requisitos de elaboração e aplicação do PZR definindo critérios mais rígidos para o adequado ordenamento das atividades situadas em áreas próximas a aeroportos. Essa resolução torna o PZR um instrumento que possibilite o desenvolvimento dos aeródromos em harmonia com as comunidades localizadas em seu entorno.

Tabela 6. Normas e legislações brasileiras referentes ao ruído aeronáutico e ambiente

Normas e Legislações	Mês / Ano	Aplicação	Métrica Acústica	Observações
Portaria 1.141/GM5	Dezembro de 1987	Dispõe sobre Zonas de Proteção e Aprova o Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos, o Plano Básico de Zoneamento de Ruído, o Plano Básico de Zona de Proteção de Helipontos e o Plano de Zona de Proteção de Auxílios à Navegação Aérea e dá outras providências.	IPR	Define o IPR como sendo uma unidade de avaliação do incômodo sonoro. A definição do IPR é a mesma indica na NBR 11.415.
NBR 10.856	Agosto de 1989	Fixa as condições exigíveis para a determinação do nível efetivo de ruído percebido “ <i>Effective Perceived Noise Level</i> ” (EPNL), nas medições de ruído de sobrevoos de aeronaves.	EPNL	
NBR 11.415	Novembro de 1990	Esta norma define os termos e grandezas na área de ruído aeronáutico.	IPR, DNL, $L_{eq}$ , NEF, EPNL, etc.	Define vários conceitos utilizados na pesquisa em acústica.
NBR 12.859	Mai de 1993	Fixa as condições exigíveis para gerar curvas isofônicas e analisar os níveis de incômodo sonoro em função das áreas sujeitas ao ruído gerado por operações aeronáuticas.	IPR	Consultar a NBR 10.856 e NBR 11.415.
NBR 13.368	Mai de 1995	Prescreve o método para a monitoração de ruído gerado por aeronaves.	$L_{eq}$	Consultar a NBR 10.268 (Ruído nas dependências de terminais de passageiros aeroportuários) e NBR 11.415.
Resolução Conama 001	Março de 1990	Dispõe sobre a emissão de ruídos, em decorrência de qualquer atividade industrial, comercial, social ou recreativa, inclusive as de propaganda política.		Reporta-se à NBR 10.151.
NBR 10.151	Junho de 2000	Fixa os níveis de ruído superiores que são prejudiciais à saúde e estabelece condições exigíveis para a avaliação da aceitabilidade do ruído em áreas habitadas, visando o conforto das comunidades e especifica um método para a medição de ruído.	$L_{eq}$ dB(A)	Estabelece níveis de ruídos em seis áreas distintas, sendo cinco em regiões urbanas e uma em zona rural.
RBAC n. 161	Setembro de 2013	Estabelece os requisitos de elaboração do PZR e define critérios técnicos aplicáveis na análise de questões relacionadas ao ruído aeronáutico na aviação civil.	DNL	

Fonte: Carvalho Jr *et al.* (2013)

## 2.7 EXPERIÊNCIAS INTERNACIONAIS

### 2.7.1 Comunidade Europeia

Na Comunidade Europeia (CE) foi definido o uso dos indicadores acústicos  $L_{den}$  e  $L_n$  como indicadores padrões para a avaliação do ruído ambiente, a serem adotados pelos seus Estados-Membros, bem como estabeleceu valores limites para esses indicadores. O termo “valor-limite” deve ser determinado pelo Estado-Membro, que, caso seja excedido, dá ou pode dar origem a medidas de redução do ruído por parte das autoridades competentes. Os valores-limite podem ser diferentes em função dos diversos tipos de ruído (tráfego rodoviário, ferroviário ou aéreo, ruído industrial, etc.), das imediações e do grau de sensibilidade da população ao ruído; podem também ser diferentes para situações existentes e para situações novas quando se verifica uma mudança da situação no que se refere à fonte de ruído ou à utilização das imediações (Diretiva Europeia, 2002/49/CE).

Tomando como exemplo o estado-membro Portugal, o Regulamento Geral do Ruído (RGR, 2007) estabelece os limites máximos de ruído de acordo com dois tipos possíveis de ocupação do solo, zonas sensíveis e zonas mistas. A Tabela 7 mostra os valores limites de exposição ao ruído em função da classificação de uma área em zona sensível ou mista.

Tabela 7. Valores limites de exposição

Tipo de zona	$L_{den} - \text{dB(A)}$	$L_n - \text{dB(A)}$
Zona mista	$\leq 65^1$	$\leq 55^1$
Zona sensível	$\leq 55^1$	$\leq 45^1$
Zona sensível com uma grande infraestrutura de transporte em exploração na proximidade	$\leq 65$	$\leq 55$
Zona sensível com uma grande infraestrutura de transporte aéreo projetada para a proximidade	$\leq 65$	$\leq 55$
Zona sensível com uma grande infraestrutura de transporte que não o aéreo projetada para a proximidade	$\leq 60$	$\leq 50$
Zona não classifica	$\leq 63^2$	$\leq 53^2$

Nota: 1. Os municípios podem estabelecer em espaços delimitados, designadamente em centro históricos, valores inferiores em 5 dB(A). / 2. Valores limites a aplicar aos receptores sensíveis. Fonte: RGR (2007)

A zona sensível é uma área definida em um plano municipal de ordenamento do território como destinada para uso habitacional, ou para escolas, hospitais ou similares, ou espaços de lazer, existentes ou previstos. Pode conter pequenas unidades de comércio e de serviços destinadas a servir a população local, tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração, papelarias e outros estabelecimentos de comércio tradicional, sem

funcionamento no período noturno. Os limites máximos estabelecidos por lei são de 55 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e 45 dB(A) para o indicador  $L_n$ .

A zona mista e a área definida em plano municipal de ordenamento do território, cuja ocupação seja destinada a outros usos, existentes ou previstos, para além dos referidos na definição de zona sensível. Os limites máximos estabelecidos por lei são de 65 dB(A) para o indicador  $L_{den}$  e 55 dB(A) para o indicador  $L_n$ . Um aeroporto de grande porte é considerado uma Grande Infraestrutura de Transporte (GIT) aéreo pela Diretiva 2002/49/CE, e nesse caso, o Regulamento Geral do Ruído (RGR, 2007) de Portugal estabelece que as zonas sensíveis, em cuja proximidade exista uma exploração de uma Grande Infraestrutura de Transporte, não devem ficar expostas a ruído ambiente exterior superior a 65 dB(A), no indicador  $L_{den}$ , e superior a 55 dB(A), expresso pelo indicador  $L_n$ .

### **2.7.2 Canadá**

O Departamento de Transportes do Canadá (*Transport Canada*) utiliza o *NEF* (*Noise Exposure Forecast*) para fornecer uma medida do ruído das aeronaves nas proximidades dos aeroportos. O principal objetivo da utilização do *NEF* é colaborar com os planejadores de aviação e os responsáveis pelo desenvolvimento das áreas adjacentes aos aeroportos, para implementar práticas de zoneamento inteligente e gerenciar adequadamente o uso do solo nas imediações dos aeroportos. Além disso, essa métrica permite prever a resposta de uma comunidade ao ruído das aeronaves. Se o nível de *NEF* é maior que 35, as queixas tendem a ser elevadas. Qualquer valor acima de 25 é susceptível de produzir algum nível de aborrecimento (TC, 2011a)

A *Transport Canada* recomenda que edificações residenciais somente são permitidas em áreas próximas a aeroportos se os níveis de ruído forem iguais a um NEF de 30 ou menos. Isto é aproximadamente equivalente a um *DNL* 61 e é um pouco menor que o *DNL* 65 limite nos EUA. Tanto nos EUA quanto no Brasil, a partir da *DNL* 65 iniciam-se as restrições quanto ao uso e ocupação do solo.

O grande número de cálculos matemáticos necessários para a construção de curvas isofônicas com o *NEF*, requer o uso de técnicas computacionais para a elaboração de

mapas. Assim, a determinação das curvas de ruído, com o uso do *NEF*, é estritamente um procedimento de cálculo numérico. Desta forma, técnicas de modelagem computacionais fornecem o único meio prático de construção dessas curvas (TC, 2011b).

### **2.7.3 Estados Unidos**

O Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano dos Estados Unidos (HUD) utiliza o *NEF* e o *DNL* para monitoramento do ruído. O documento intitulado *Noise Guidebook* foi preparado para servir de referência básica para o pessoal de campo do HUD, que são responsáveis pela implementação das políticas relacionadas a ruídos do Departamento (HUD, 2011).

Para análise de ruído aeroviário o *Federal Aviation Regulation* (FAR) determina o *Day Night Level* (*DNL*), como a métrica primária do FAA (*Federal Aviation Administration*) para medir a exposição cumulativa do indivíduo à energia sonora resultante de atividades aéreas. Dessa forma, os principais órgãos do governo americano relacionados ao monitoramento de ruído trabalham com o *NEF* e o *DNL*.

### **2.7.4 Índia**

Na Índia também se utiliza o *DNL* e o *NEF* para se estabelecer o zoneamento sonoro e efetuar o monitoramento de regiões próximas a aeroportos. O governo indiano prevê que o ruído das aeronaves pode afetar seriamente as pessoas e por esta razão, recomenda que as residências sejam construídos a partir da curva *NEF* 35 (Bhawan e Nagar, 2008; EIAGM, 2010).

### **2.7.5 África do Sul**

Na África do Sul a métrica utilizada é o *DNL* que representa o impacto do ruído de aeronaves atualmente prescritos pelas normas nacionais sul-africanas. Essa métrica é idêntica ao *DNL*, ou seja, com uma ponderação de 10 dB para voos noturnos. O que muda é o período noturno que é definido como sendo de 22h as 06h. Também se utiliza nesse país a métrica *Noisiness Index* (NI) para a avaliação do nível de incômodo sonoro. Essa

métrica representa o ruído aeroviário como uma ponderação de 5 dB adicionado aos voos que operam entre 22h e 24h, e 10 dB para voos entre as 24h e as 06h (Goldschagg, 2007).

## **2.8 REGULAMENTO BRASILEIRO RBAC 161 (2013) versus DIRETIVA EUROPEIA 2002/49CE**

A Tabela 8 mostra uma comparação entre as metodologias descritas na Diretiva 2002/49CE e na legislação brasileira específica para o zoneamento sonoro de aeroportos (RBAC 161, 2013). Da Tabela 8 observa-se que a metodologia presente no RBAC 161 (2013), possui por objetivo associar diferentes níveis de ruído aeroviário com o uso e ocupação do solo nas áreas no entorno de um aeroporto não sendo possível dimensionar diretamente o incômodo sonoro a que pessoas estariam sujeitas. Já a metodologia descrita na Diretiva 2002/49/CE possui por objetivo principal relacionar o ruído ambiente, e por consequência o ruído aeronáutico, com os efeitos prejudiciais à população devido à exposição ao ruído incluindo o incômodo sonoro e distúrbio no sono. A partir da determinação desses efeitos elaboram-se os planos necessários ao zoneamento sonoro sempre com a finalidade de preservar a saúde humana e a qualidade do ambiente acústico.

Como abordagem comum entre as legislações tem-se a necessidade da elaboração de curvas de ruído. A partir dessas curvas pode-se desenvolver o zoneamento sonoro de áreas próximas aos aeroportos e melhor orientar o planejamento do uso e ocupação do solo no entorno de um aeroporto. De forma geral, a metodologia adotada na CE permite a obtenção de informações que melhor orientam a elaboração de um zoneamento sonoro. Para tanto, utiliza a integração de mapas acústicos e avaliações dose-respostas para a determinação do nível de incômodo e do nível de distúrbio no sono para um entendimento mais amplo do impacto gerado pelo ruído nas áreas próximas ao aeroporto

Apesar das métricas  $DNL$  e  $L_{den}$  representarem um nível de pressão sonora médio nas 24h do dia, na CE o uso do  $L_n$  destaca a importância de uma avaliação específica para o período noturno permitindo, assim, estimar o impacto do ruído no sono, pois os indicadores acústicos apenas para o “dia completo” não caracterizam a proteção efetiva da população ao ruído noturno (Carvalho Jr, E.B *et al.*, 2014b).

Tabela 8. Comparação entre a metodologia adotada no Brasil e na CE

Legislação	Indicador de Ruído	Principais pontos metodológicos
RBAC 161 (2013) Brasil	<i>DNL</i> (Day-Night Average Sound Level)	<ul style="list-style-type: none"> <li>estabelece a elaboração de Planos de Zoneamento de Ruídos de aeródromos (PZR) compostos por até cinco curvas de ruído</li> <li>apresenta as compatibilizações e incompatibilizações ao uso do solo estabelecidas para as áreas delimitadas por essas curvas</li> <li>estabelece orientações para o relacionamento entre operadores de aeródromos, órgãos locais e comunidades</li> <li>possibilidade de se criarem as Comissões de Gerenciamento de Ruído Aeronáutico (CGRA)</li> <li>propõe, para usos do solo e edificações, medida para se atingir níveis de redução de ruído de 25dB, 30dB e 35 dB que devem ser incorporadas no projeto/construção das edificações onde houver permanência prolongada de pessoas.</li> </ul>
Diretiva 2002/49/CE	$L_{den}$ (indicador de ruído dia-fim-de-tarde-noite) para avaliar o incômodo $L_n$ (indicador de ruído noturno) para avaliar as perturbações no sono.	<ul style="list-style-type: none"> <li>proporciona uma base para desenvolver e completar o conjunto de medidas comunitárias em vigor em matéria de ruído emitido pelas principais fontes, em especial veículos e infraestruturas rodoviárias e ferroviárias, aeronaves, equipamento industrial e de exterior e maquinaria móvel, e para desenvolver medidas adicionais, a curto, médio e longo prazo.</li> <li>zoneamento de ruído orientado pelas relações dose-resposta: relação entre o valor de um indicador de ruído e um efeito nocivo à saúde humana;</li> <li>elaboração obrigatória de mapas acústicos;</li> <li>determinação do número de pessoas afetadas;</li> <li>estabelece a determinação do percentual de pessoas incomodadas (%I), ou a porcentagem de pessoas altamente incomodadas (%AI);</li> <li>estabelece a determinação do percentual de pessoas com distúrbios no sono.</li> </ul>

Fonte: Carvalho Jr *et al.* (2014b)

## CAPÍTULO 3. EXPOSIÇÃO COMUNITÁRIA AO RUÍDO AERONÁUTICO

Este capítulo apresenta a definição de incômodo e contém uma revisão teórica a respeito dos modelos dose-resposta que relacionam ruído e incômodo sonoro. Também contribui com uma revisão de estudos internacionais e nacionais referentes à avaliação do impacto do ruído aeronáutico em regiões no entorno de aeroportos. Por fim, o incômodo e o ruído são analisados à luz da teoria do estresse psicológico. Essa teoria associa o incômodo e o ruído a fenômenos psicológicos capazes de impactar a saúde.

### 3.1 INCOMODO E RUÍDO

Para a OMS o incômodo sonoro é considerado um dos principais fatores de risco à saúde sendo um dos indicadores ambientais necessários à avaliação dos efeitos adversos na saúde provocados pelo ruído ambiente (WHO, 2000, 2011). As fontes de tráfego são as mais importantes fontes de incômodo sonoro sendo o ruído das aeronaves (Figura 3) o que mais incomoda, se comparado com o ruído do tráfego rodoviário e ferroviário, considerando o mesmo nível de exposição sonora. Na Figura 3, as curvas do meio representam as funções logísticas e as curvas laterais expressam os intervalos, superior e inferior, de confiança.

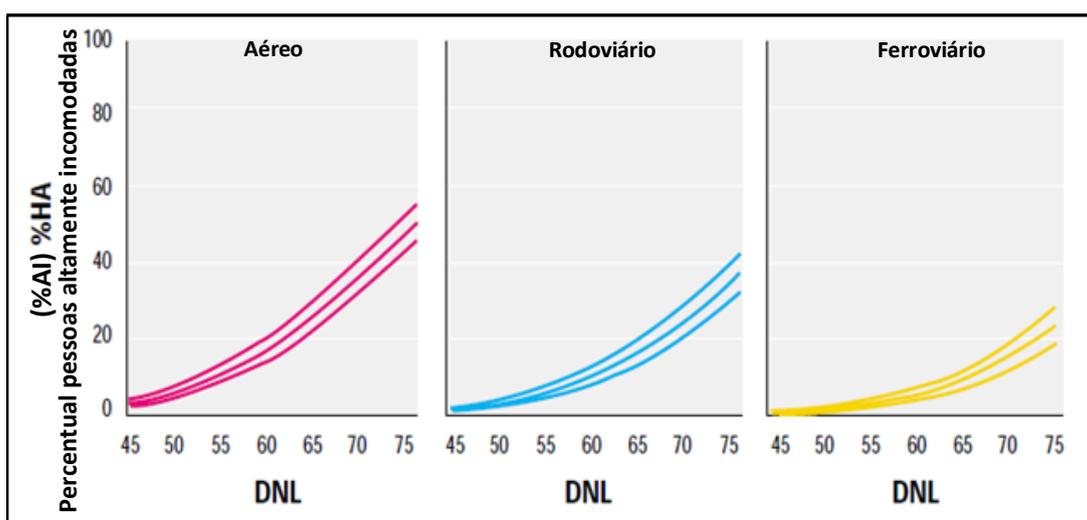


Figura 3. Percentual de incomodados devido à exposição ao ruído – DNL dB(A).

Fonte: Adaptado de Miedema e Oudshoorn (2001).

O ruído é considerado um agente estressor, pois provoca várias formas de reações reflexas, particularmente se o barulho é inesperado ou de fonte desconhecida, manifestando reações primárias de defesa do organismo, em especial para o homem em vigília ou dormindo (WHO, 2001). Pessoas expostas ao ruído podem experimentar uma variedade de respostas negativas, como incômodo, distúrbios na comunicação, distúrbios no sono, raiva (ira), decepção, insatisfação, reclusão, impotência, depressão, ansiedade, distração, agitação ou exaustão (Fields *et al.*, 1997, 2001; Guski, 1997; Guski *et al.*, 1999; Prasher D, 1999; Miedema, 2001; Babisch, 2002; Miedema, 2007; WHO, 2001; EEA, 2010; WHO, 2011; Klæboe R, 2011; Lekaviciute e Argalasova-Sobotova, 2013).

Guski *et al.*, (1999) realizaram um estudo empírico com 68 pesquisadores e especialistas em acústica, psicoacústica e psicologia. Foi solicitado, a esses pesquisadores, que indicassem o principal efeito adverso decorrente da exposição ao ruído ambiente. O primeiro efeito mais apontado foi o incômodo sonoro (50,8%), seguido de distúrbio<sup>9</sup> (32,3%), raiva (7,7%), restrições no bem-estar (4,6%), estresse (3,1%) e outros (1,5%). Desse modo, 83% dos pesquisadores consideram o “incômodo” e o “distúrbio” como os principais efeitos do ruído.

Para a OMS o incômodo sonoro é uma sensação de insatisfação associada a qualquer agente ou condição, conhecido ou acreditado por um indivíduo ou grupo ser responsável por afetá-los adversamente (WHO, 1999). A *U.S. Environmental Protection Agency* (U.S. EPA) ressalta que o principal efeito potencial do ruído das aeronaves sobre as comunidades expostas é o incômodo. A U.S. EPA define incômodo sonoro como qualquer reação subjetiva e negativa ao ruído por parte de um indivíduo ou grupo (U.S. EPA, 1974). Já a Comunidade Europeia, define incômodo como sendo o nível de incômodo gerado pelo ruído ambiente sobre a população, determinado por meio de pesquisas (Diretiva 2002/49/CE, 2002).

Das definições apresentadas, cabe destacar que o incômodo provocado pelo ruído é um atributo subjetivo. Pesquisadores têm encontrado dificuldade em avaliar quantitativamente o incômodo do ruído, pois este parece depender do grau de aceitação

---

<sup>9</sup> Neste caso “distúrbio” representa interferência na realização de alguma atividade causado por eventos sonoros. Por exemplo, distúrbio na comunicação (Guski *et al.*, 1999).

do ruído, do seu potencial intrusivo, assim como da perturbação que ele causa (Bistafa, 2006, p.68). Dessa forma, um determinado som audível se torna ruído por causa de uma avaliação pessoal sendo o incômodo percebido um processo psicológico que varia com fatores acústicos (fonte, nível de pressão sonora, espectro sonoro, variação do volume do ruído, frequência) e com fatores não-acústicos de origem social, econômica ou psicológica. Também uma menor sensação de incômodo está relacionada a fatores demográficos como idade, sexo e situação socioeconômica (Fields, 1993; Guski, 1999; Paunović *et al.*, 2009; Kroesen *et al.*, 2008; Thomas *et al.*, 2004; Yano *et al.*, 2012; WHO, 2003). Somente um terço, aproximadamente, da percepção de incômodo sonoro pode ser explicado por fatores acústicos (Guski, 1999) e diversos estudos e pesquisas revelam que os aspectos não-acústicos são tão significativas quanto as variáveis essencialmente acústicas para a determinação do nível de incômodo percebido por pessoas expostas ao ruído (Fields, 1993; Guski, 1999; Kroesen *et al.*, 2008; Suau-Sanchez *et al.*, 2011; Laszlo *et al.*, 2012).

### **3.2 INCÔMODO E RUÍDO: QUADRO TEÓRICO**

O incômodo e o ruído constituem-se em um fenômeno psicológico. Stallen (1999) desenvolveu um quadro teórico para o incômodo proveniente do ruído ambiente com o objetivo de estabelecer um modelo teórico que apresentasse o nexos de causalidade entre o incômodo e o ruído. O modelo de Stallen (1999) considera o incômodo uma forma de estresse psicológico e está baseado na teoria do estresse psicológico de Lazarus (1966 *apud* Stallen, 1999). A pesquisa empírica desenvolvida por Lazarus (1966 *apud* Stallen, 1999) revelou dois principais determinantes do estresse: ameaça percebida (*perceived threat*) e controle percebido (*perceived control*).

“Controle percebido (CP)” é um termo genérico aplicável aos mecanismos cognitivos e/ou afetivos que entram em jogo quando uma pessoa é exposta a uma ameaça específica ou confrontada com uma possibilidade de mudança. Wallston *et al.* (1987) destacam que o CP é a crença de que o indivíduo pode influenciar e fazer a diferença nos eventos que cercam sua vida, ou o ambiente no seu entorno, e trazer os resultados desejados. Essa crença é útil para ajudar uma pessoa a assumir o controle dos fatores de estresse em sua vida. Suau-Sanchez *et al.* (2011) ressaltam que os fatores não – acústicos são cruciais

para a determinação do incômodo sendo o CP identificado como um fator muito importante.

O Quadro 1 mostra alguns fatores não – acústicos relacionados ao ruído aeronáutico (Flindell e Stallen, 1999) e observa-se que o CP é identificado com a previsibilidade da exposição ao ruído, a acessibilidade à informação e transparência, confiança e reconhecimento de preocupação e oportunidade de exercer influência no comportamento da fonte sonora. Vale destacar, que a sensibilidade ao ruído configura-se em um fator não – acústico fortemente relacionado com o incômodo ao ruído. A sensibilidade ao ruído está associada a impactos na saúde, tais como: distúrbios no sono, estresse psicológico e desordens psiquiátricas (ansiedade). Pessoas ansiosas geralmente são mais cientes dos aspectos que ameaçam o meio ambiente (incluindo o ruído) e são mais propensas a desordens psiquiátricas (Stansfeld *et al.*, 1992; Kamp *et al.*, 2004; Shepherd *et al.*, 2010).

Quadro 1. Fatores não – acústicos relacionados ao ruído aeronáutico

<b>Benefícios de um aeroporto</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Benefícios pessoais esperados</li><li>- Benefícios sociais esperados vs. custos sociais</li></ul>
<b>Controle percebido (CP)</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Previsibilidade da exposição ao ruído</li><li>- Transparência: acessibilidade e compreensibilidade da informação</li><li>- Confiança entre as partes</li><li>- Voz: oportunidade de exercer influência sobre o comportamento da fonte</li></ul>
<b>Liberdade de decisão em relação à exposição</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Oportunidade para escolher um programa de isolamento acústico</li><li>- Outras opções de compensação</li></ul>
<b>Riscos contra terceiros</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Medo de uma catástrofe em potencial</li></ul>
<b>Sensibilidade ao ruído</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Geral</li><li>- Pessoal</li></ul>

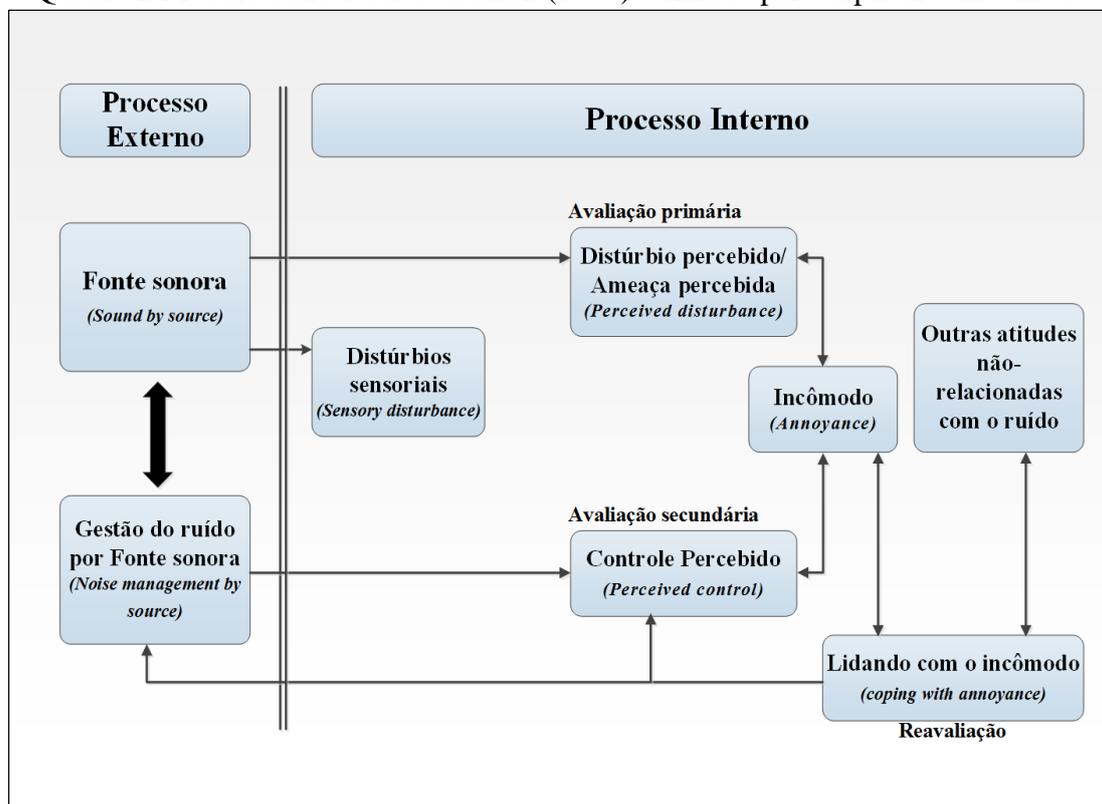
Fonte: Traduzido e adaptado de Flindell e Stallen (1999)

Sendo assim, ser capaz de adotar estratégias de controle que permitam gerir o estresse, é fundamental para o bem-estar e saúde pessoal (Miedema, 2007). As pessoas diferem na sua avaliação e na maneira de lidar com o estresse advindo da exposição ao ruído uma vez que as características pessoais, principalmente a sensibilidade ao ruído, ou a interação

com outros agentes estressores, influenciam a resposta individual ao ruído (Bell *et al.*, 2001; Bento, 2011).

Stallen (1999) aponta que a noção de “distúrbio percebido” (isto é, o incômodo percebido por uma pessoa a curto prazo ou de imediato) não é muito diferente de “ameaça percebida” sendo basicamente conceitos equivalentes. Dessa forma, o incômodo sonoro é uma forma de estresse psicológico sendo determinado pela medida na qual uma pessoa percebe uma ameaça (ou seja, o distúrbio percebido) e as possibilidades ou recursos que uma pessoa possui para enfrentar esta ameaça (controle percebido). O modelo conceitual proposto por Stallen (1999) é apresentado no Quadro 02.

Quadro 2 Modelo conceitual de Stallen (1999) utilizado para explicar o incômodo



Fonte: Traduzido e adaptado de Stallen (1999)

Do Quadro 2, tem-se que o distúrbio percebido, também chamado de avaliação primária, é a avaliação pessoal do indivíduo referente ao impacto da ameaça ou dano em relação ao seu bem-estar. A situação acústica a que se está exposto é considerado o principal determinante na primeira avaliação. Depois da ameaça, ou dano, ser reconhecido, um processo de avaliação secundário é acionado. Dentro desse processo, os recursos pessoais para fazer frente à ameaça são avaliados. Se o resultado dessa avaliação for boa, a pessoa

será capaz de lidar com o estresse gerado pela fonte de ruído (Stallen, 1999; Kroesen *et al.*, 2008). Todavia, se a pessoa exposta possui pouco controle sobre a fonte de ruído os recursos pessoais de enfrentamento (*coping*) à essa fonte serão reduzidos e surgirá o estresse psicológico (Maris *et al.*, 2007 *apud* Kroesen *et al.*, 2008).

Ainda com base no modelo mostrado no Quadro 2, Stallen (1999) argumentou que, se a ameaça percebida (isto é, o ruído) é maior do que os recursos percebidos para enfrentar a ameaça (CP e a capacidade de enfrentamento - *coping*), o estresse psicológico (isto é, o incômodo sonoro) surgirá. Além disso, mesmo que a ameaça percebida seja muito elevada, o incômodo sonoro não aumentará se existirem recursos pessoais suficientes para lidar com a exposição (Stallen, 1999; Kroesen *et al.*, 2008).

Lidar com o incômodo é essencialmente uma reavaliação da situação pessoa – ambiente. Esta reavaliação envolve alterações mentais, incluindo a formação de novas intenções comportamentais. Posteriormente, a geração do incômodo sonoro é essencialmente um processo dinâmico em que os fatores acústicos e não acústicos (Figura 10) são avaliados e reavaliados pelos indivíduos com base em suas necessidades e os recursos disponíveis para atendê-las. O incômodo causado pelo ruído gera dificuldades para se atingir um objetivo ou ação particular, incluindo os processos sensoriais e mentais (Stallen, 1999; Suau-Sanchez *et al.*, 2011).

Com relação ao ruído aeronáutico, Guski (1999) ressalta que existem fatores que originam um maior incômodo. A maior ocorrência da exposição em todos os lados das residências e o medo, associado com o ruído da aeronave na decolagem, devido à possibilidade de um acidente catastrófico, são fatores que determinam grande parte do incômodo sonoro relacionado ao ruído aeronáutico.

Guski *et al.* (1999) deduziram que o incômodo ao ruído pode ser entendido como: uma emoção (por exemplo, sentimentos de medo/preocupação com a fonte de ruído), resultado de um distúrbio (por exemplo, a interferências em atividades), uma atitude (uma decisão avaliativa que diz respeito à exposição ao ruído), conhecimento (sobre os efeitos do ruído na saúde), ou como o resultado de uma decisão racional (ou seja, uma escolha deliberada com base em circunstâncias específicas). Por exemplo, modelos estatísticos (multivariados) indicaram uma forte relação entre, os sentimentos de medo e controle,

ameaça percebida, atitudes em relação às fontes de ruído, e conhecimento sobre os efeitos na saúde, com o incômodo sonoro (Guski 1999; Kroesen *et al.*, 2008). Dessa forma, o incômodo sonoro induzido pelo ruído pode, (em parte) ser visto como um reflexo dos sentimentos, distúrbios/perturbações, atitudes e conhecimentos (Kroesen e Schreckenberg, 2011; Kroesen *et al.*, 2013).

Para Job *et al.* (2001), realizar estudos que busquem verificar a reação de comunidades em resposta ao ruído ambiente torna-se importante por duas razões: em primeiro lugar, o ruído é considerado um importante fator negativo de impacto na saúde sendo definido, de forma ampla, como ausência de bem-estar social. Em segundo lugar, o ruído pode contribuir para problemas de saúde (por exemplo, incômodo, hipertensão, problemas relacionados à saúde mental). Esta última razão torna-se ainda mais importante já que há evidências de que mediar a reação devido à exposição ao ruído é um melhor preditor dos efeitos do ruído na saúde do que medir somente a exposição ao ruído em si (Job, 1996; Job *et al.*, 2001; Kroesen e Schreckenberg, 2011).

Por fim, incômodo sonoro, associado à exposição ao ruído aeronáutico, é o indicador mais utilizado para avaliar a reação negativa ao ruído em pesquisas sócio-acústicas (Job *et al.*, 2001). Este indicador permite (no longo prazo) avaliar, de forma geral, a reação comunitária ao ruído das aeronaves, uma vez que existem amplas evidências da associação entre o incômodo e a exposição ao ruído aeronáutico (Schultz, 1978; Fidell *et al.*, 1991; Fields *et al.*, 1997; Fields *et al.*, 2001; Miedema e Vos, 1998; Miedema e Oudshoorn, 2001; EC 2002; WHO, 2011).

### **3.3 RUÍDO: EFEITOS ADVERSOS NA SAÚDE**

A OMS define “efeito adverso” como sendo uma alteração, mudança, na morfologia, fisiologia, crescimento, desenvolvimento ou período de vida de um organismo que resulta em prejuízo da capacidade funcional para compensar o estresse ou o efeito prejudicial de outras influências ambientais (WHO, 1994). Neste sentido, o corpo humano tende a sofrer mudanças quando é impactado por uma crescente exposição ao ruído e tem-se, assim, um efeito adverso.

Os resultados de vários estudos epidemiológicos concluíram que existe uma associação entre o ruído e mudanças no organismo humano a curto e longo prazo, induzindo alterações nos batimentos cardíacos, vasoconstrição, na pressão sanguínea, nos níveis de glicose no sangue, na coagulação e viscosidade do sangue e na liberação de hormônios relacionadas com o estresse, tais como a adrenalina e o cortisol. Todos esses são fatores de riscos relacionados com doenças cardíacas tais como hipertensão, arteriosclerose e infarto do miocárdio (Miedema, 2001; Miedema, 2007; Babisch, 2002; Babisch, 2003; Jarup *et al.*, 2005; Haralabidis *et al.*, 2008; Babisch *et al.*, 2009; Davies e Kamp, 2012; Paunovic e Belojevic, 2014).

Como exemplo de um desses estudos epidemiológicos, pode-se citar o HYENA (*HYpertension and Exposure to Noise near Airports*). Esse estudo foi realizado simultaneamente em seis países europeus, investigou a associação entre ruído aeroportuário, tráfego urbano e pressão sanguínea, incluindo hipertensão. Os dados foram coletados a cada quinze minutos, inclusive enquanto os voluntários dormiam. Os resultados indicaram um grande risco de desequilíbrio cardiovascular em sujeitos expostos a altos níveis de ruído, sendo que pessoas expostas a um nível de pressão sonora maior ou igual a 70 dB(A) por longos períodos estão sujeitos a efeitos crônicos de estresse causados pelo ruído. A principal conclusão é que quanto maior é o barulho, mais a pressão sanguínea sobe independente dos voluntários estarem dormindo ou acordados, motivo pelo qual viver próximo aos aeroportos pode representar um problema para a saúde. No que diz respeito especificamente ao ruído de aeronaves, um dos resultados mais expressivos do HYENA indica que o incômodo dos europeus com o ruído aeroviário aumentou ao longo dos últimos anos (Haralabidis *et al.*, 2008; Babisch *et al.*, 2009).

A Tabela 9 mostra os principais efeitos do ruído na saúde e no bem estar sendo possível observar que, relativamente à dimensão da saúde clínica, o ruído está relacionado com doenças cardíacas e hipertensão. Tem também impacto na qualidade do sono e desempenho devido ao seu papel nocivo na aprendizagem e memória, principalmente nas crianças. Ao nível da qualidade de vida e saúde somática, o ruído está relacionado com respostas de estresse e incômodo (Bento, 2011).

Para a OMS, os principais efeitos adversos na saúde, associados à exposição ao ruído ambiente são: doenças cardiovasculares, comprometimento cognitivo, distúrbios no sono,

zumbido (*tinnitus*) e incômodo (WHO, 2011). Todavia, dentre esses efeitos, o incômodo sonoro destaca-se como o efeito adverso mais importante associado ao ruído ambiente. Já o principal efeito da exposição ao ruído ambiente, durante a noite, é a perturbação do sono.

Tabela 9. Efeitos do ruído na saúde e bem estar

Efeito	Dimensão	Indicador acústico	Limiar	Persistência temporal
Incômodo/Distúrbio	Psicossocial, Qualidade de vida	$L_{den}$	42	Crônico
Distúrbios no sono relatados	Qualidade de vida, saúde somática	$L_n$	42	Crônico
Aprendizagem, memória	Desempenho	$L_{eq}$	50	Agudo, crônico
Hormônios relacionados ao estresse	Indicador de estresse	$L_{max} / L_{eq}$	Não disponível	Agudo, crônico
Sono	Estimulação / despertar / Qualidade do sono	$L_{max}$ no interior	32	Agudo, crônico
Interrupções no sono relatadas	Sono	SEL no interior	53	Agudo
Saúde relatada	Bem-estar, saúde	$L_{den}$	50	Crônico
Hipertensão	Saúde fisiológica somática	$L_{den}$	50	Crônico
Doenças cardíacas	Saúde clínica	$L_{den}$	60	Crônico

Notas:  $L_{den}$  e  $L_n$  são definidos como nível de exposição no exterior /  $L_{max}$  pode ser tanto no interior como no exterior, como o indicado / Limiar: nível dB(A) acima do qual os efeitos surgem ou aumentam. Fonte: EEA, 2010 e Bento E.F, 2011

### 3.3.1 Ruído e distúrbio no sono

Os efeitos adversos sobre o sono tornaram-se uma das queixas mais comuns apontadas por populações expostas ao ruído ambiente na Europa (WHO, 2011). Estima-se que 903.000 dias de vida são afetados e/ou perdidos devido a questões relacionadas com perturbações do sono, em cidades da Comunidade Europeia com menos de 50.000 habitantes. Este cálculo foi realizado por meio da determinação da população exposta a elevados níveis de ruído noturno, e expressa por meio de mapas de acústicos (WHO, 2011).

O sono é considerado um período propício para a consolidação de funções endócrinas, psicológicas, intelectuais, de memória, de aprendizagens entre outras. Ter um sono suficientemente tranquilo é condição necessária para a manutenção de um bom desempenho durante o dia, bem como contribui para uma boa saúde (Banks e Dinges, 2007).

O organismo humano reconhece, avalia e reage a sons ambientais, mesmo durante o sono, e estas reações concorrem para a ocorrência da chamada fragmentação do sono. Restrição de sono aguda, ou fragmentação do sono, pode prejudicar, entre outras coisas: o desempenho do estado de vigília, a memória e a criatividade. Também pode levar um indivíduo a adotar comportamentos arriscados e afetar o desempenho relacionado à detecção de sinais, o que pode contribuir para o aumento de riscos de acidentes (WHO, 2011).

Clark e Stansfeld (2011), em uma recente revisão da literatura, a respeito do ruído aeronáutico no período noturno e os efeitos na saúde, concluíram que a exposição ao ruído aeroviário noturno está potencialmente associada a impactos na saúde pública e na qualidade de vida dos moradores que vivem perto de grandes aeroportos. Também verificaram que existem robustas evidências de que os efeitos à exposição noturna ao ruído aeronáutico estão relacionados com hipertensão, distúrbios do sono e incômodo sonoro. Ainda destacam que essas evidências são suficientes para apoiar medidas de prevenção, tais como diretrizes políticas e o estabelecimento de valores limites à exposição noturna ao ruído aeroviário em comunidades próximas aeroportos.

### **3.4 A RELAÇÃO DOSE-RESPOSTA**

Desde a década de 1970 são realizadas pesquisas epidemiológicas no intuito de identificar quais os efeitos adversos e os níveis aceitáveis de exposição ao ruído ambiente para a saúde. Desde então busca-se estabelecer uma relação de dose (causa) e resposta (efeito) para as várias fontes de ruído (Yano *et al.*, 2012). A relação dose-resposta, entre exposição e o incômodo, procura associar certo nível de incômodo sonoro a um determinado nível de exposição ao ruído, ou seja, é a relação entre o valor de um indicador de ruído e um efeito prejudicial.

Cabe ressaltar, que comunidades e indivíduos respondem de forma muito diferente e apresentam diversos níveis de tolerância ao ruído, e isso depende de vários fatores sociais, econômicos e culturais e por isso, diferenças entre a percepção de incômodo podem ser observadas em diferentes lugares. Desse modo, como as reações individuais ao ruído são muito variadas, para a determinação da relação dose-resposta necessita-se de amostras significativas para que correlações, entre a exposição ao ruído e as respostas das pessoas nas comunidades afetadas, sejam razoáveis (Diretiva 2002/49/CE, 2002). Qualquer relação dose-resposta, determinada a partir de estudos com amostras representativas de uma comunidade, não representa, necessariamente, a reação de indivíduos ou de pequenas comunidades.

No entanto, as relações dose-resposta são de grande valor para a avaliação estratégica, ou seja, onde as diferenças individuais não são importantes. Por isso, têm sido adotadas, por muitas décadas, nas avaliações de ruído de impacto ambiental em vários países (TSG, 2011). Os resultados dessas relações são expressos na forma de modelos (equações ou polinômios) dose-resposta que servem para estimar a relação de exposição-resposta. Com esses modelos pode-se gerar gráficos com curvas chamadas curvas dose-resposta. Esses modelos, e suas curvas, são recomendadas para a avaliação de longo prazo de fontes de ruído associadas ao tráfego, ou seja, tráfego aeroviário, rodoviário e ferroviário. Devem ser utilizadas para a avaliação e gestão do ruído ambiente, a fim de identificar os efeitos do ruído sobre as populações (EC, 2002).

Também podem ser adotadas no auxílio à fixação de metas, na interpretação de mapas acústicos, na determinação do número de pessoas incomodadas, e na avaliação do impacto do ruído ambiental na saúde. Nesse caso, obtêm-se uma visão da situação em longo prazo, não sendo aplicáveis para a avaliação dos efeitos do ruído, em comunidades, no curto prazo, e nem para fontes específicas, tais como helicópteros, aviões militares voando baixo, o ruído de trem manobrando em um terminal e o ruído aeronaves no solo. Também vale destacar, que essas curvas são derivadas para determinação do incômodo sonoro percebido por adultos (EC, 2002).

Um trabalho pioneiro foi realizado por Schultz, em 1978, que procurou estabelecer uma relação entre um determinado nível de ruído ambiente, proveniente de fontes de transportes (aéreo, rodoviário e ferroviário) e o percentual de pessoas adultas

incomodadas, em um intervalo de confiança de 95%. Para tanto, analisou dados publicados em pesquisas sociais (161 dados), desenvolvidas na América do Norte e Europa, e apresentou os resultados na forma de um modelo dose-resposta, ou seja, modelo que permitia estimar qual a relação entre diferentes curvas de ruído e o percentual de pessoas incomodadas. Esse modelo foi expresso na forma de uma função polinomial de terceiro grau para a relação entre o percentual de pessoas altamente incomodadas (%AI) e o indicador de ruído  $DNL$  (ou  $L_{dn}$ ). Essa função foi expressa da seguinte forma:

$$\%AI = 0,8553 \times DNL - 0,0401 \times DNL^2 + 0,00047 \times DNL^3 \quad (17)$$

A Figura 4 mostra a curva dose-resposta resultante de Schultz, elaborada a partir da equação 17. Essa curva foi considerada como a melhor relação disponível, na época, para prever o incômodo em comunidades devido ao ruído proveniente de fontes relacionadas ao transporte (Fidell *et al.*, 1989; Finegold L.S e Finegold M. So, 2003).

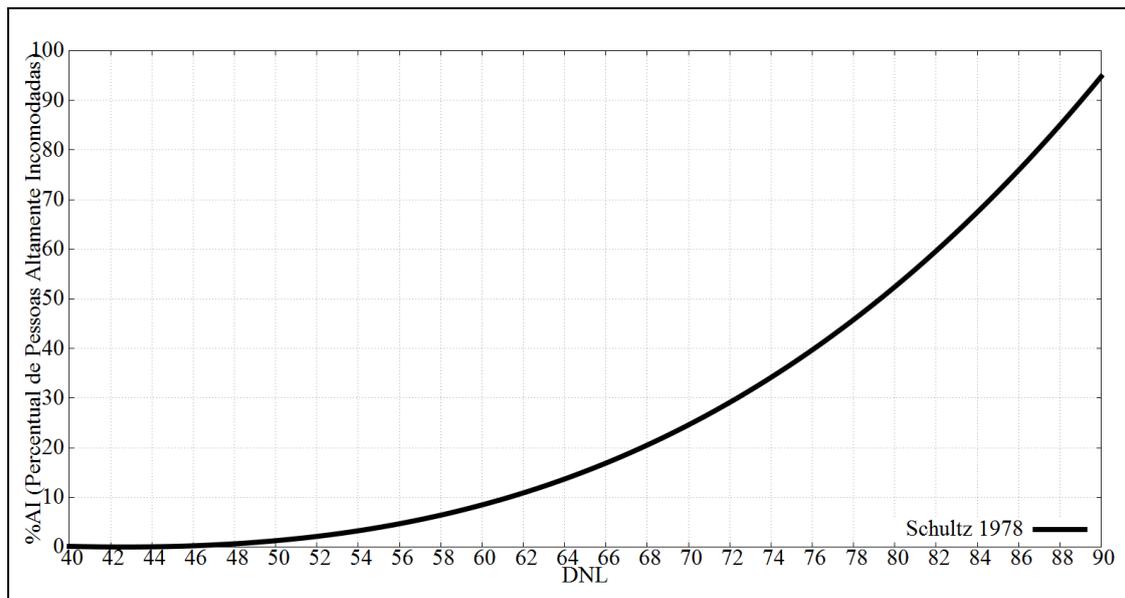


Figura 4. Curva síntese de Schultz (1978)

Fonte: Adaptado de Fidell *et al.* (1989).

Pouco mais de uma década após sua publicação, a curva de Schultz original foi atualizada por Fidell *et al.*, (1991). O principal resultado desta atualização foi a inclusão de 292 pontos, em relação aos 161 originais, perfazendo um total de 453 dados compilados provenientes de pesquisas desenvolvidas em países da América do Norte e Europa. Assim, o tamanho da base de dados disponível foi quase triplicado para predizer o

incômodo, devido à exposição ao ruído gerado por meios de transporte, em comparação com a curva de Schultz original. Fidell *et al.*, (1991) optaram por utilizar uma função com ajuste quadrático como uma equação mais parcimoniosa para descrever os dados e é mostrada a seguir:

$$\%AI = 78,9181 \times DNL - 3,2645 \times DNL + 0,0360 \times DNL^2 \quad (18)$$

A Figura 5 mostra a comparação da curva obtida por Fidell *et al.*, (1991), por meio da equação 18, com a curva original de Schultz, ou seja, equação 17. Nessa figura observa-se que a diferença do ajuste quadrático em relação à função polinomial de terceira ordem, é de pouco mais de 4 dB acima, no valor *DNL* de 58 dB, e em torno de 2 dB superior num valor *DNL* de 70 dB, o que indica maior incômodo que os relatados em 1978 por Shultz.

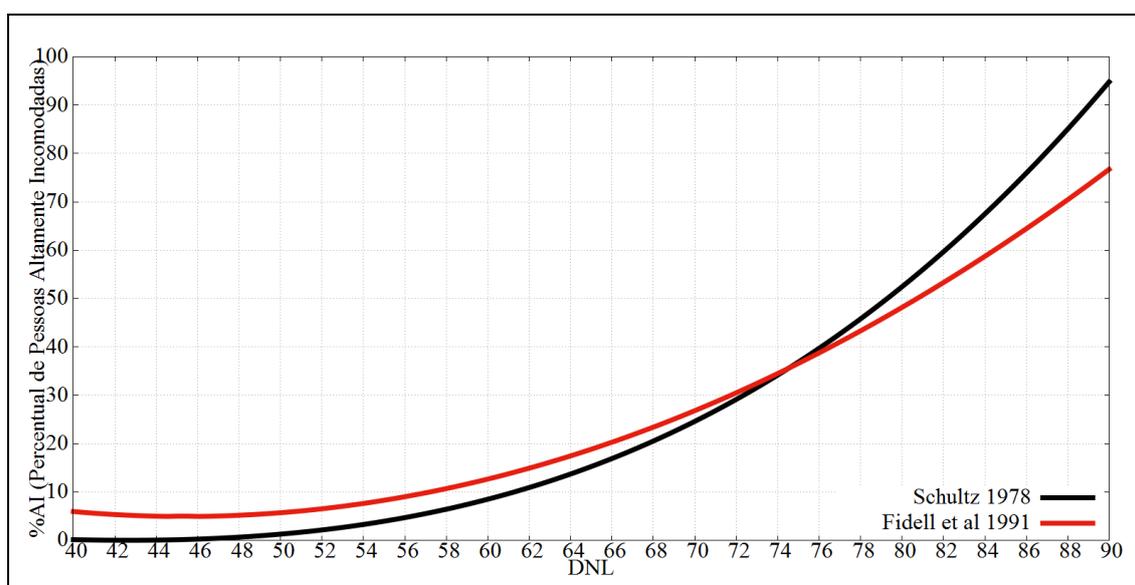


Figura 5. Comparação das curvas de Schultz (1978) e Fidell *et al.*, (1991)

Fonte: Figura adaptada de Fidell *et al.* (1991)

Finogold *et al.* (1992 *apud* FICON, 1992) revisaram os dados obtidos por Fidell *et al.*, (1991) e recomendaram um ajuste na escolha da curva de predição, com base em um conjunto final de 400 dados para o ruído de todas as fontes de transportes. Uma equação foi gerada e posteriormente adotada pelo *Federal Interagency Committee on Noise* (FICON), dos Estados Unidos, para análises relacionadas ao impacto ambiental causado pelo ruído. A relação dose-resposta é apresentada na Figura 6 e a equação obtida, por meio de uma regressão logística, por Finogold *et al.* (1992 *apud* FICON, 1992) é descrita a seguir:

$$\% AI = \frac{100}{1 + e^{(11,13 - 0,141 DNL)}} \quad (19)$$

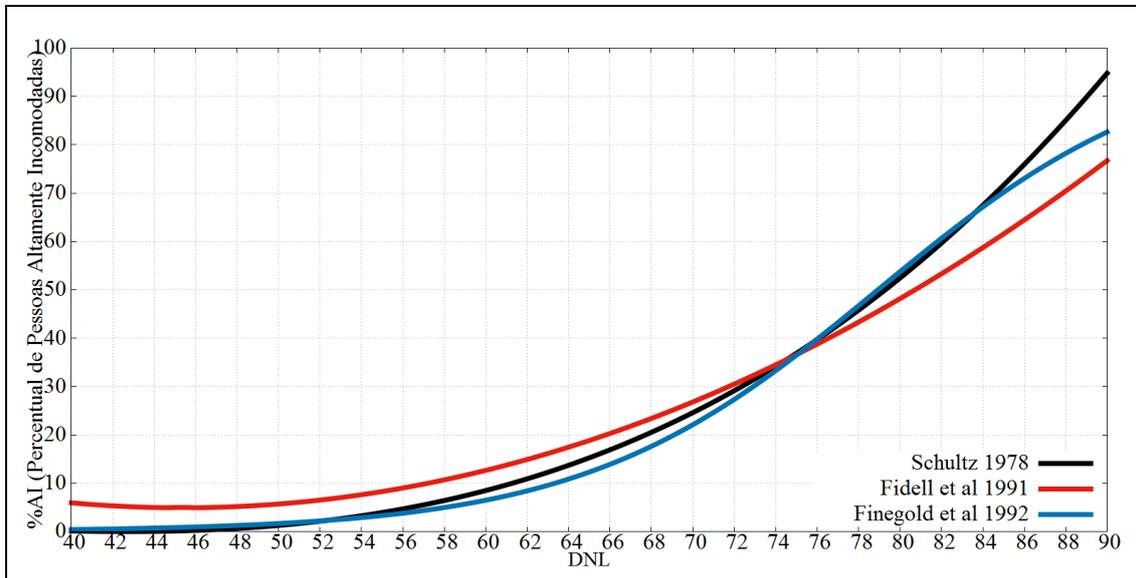


Figura 6. Comparação entre curvas de predição de dose-efeito

Fonte: Figura adaptada de Finegold *et al.* (1994)

Pesquisadores do *The Netherlands Organisation for Applied Scientific Research Prevention and Health in the Netherlands* (TNO), trabalharam fortemente na última década do século XX, para compilar informações provenientes de pesquisas disponíveis e relacionadas ao incômodo sonoro sentido por comunidades expostas ao ruído ambiente. Esses pesquisadores criaram uma grande base de dados com informações de 45 diferentes pesquisas. Os resultados da análise desses dados foram publicados por Miedema e Vos (1998) onde apresentaram as equações para a relação entre o indicador de ruído *DNL* e o percentual de pessoas altamente incomodadas (%AI) para as três fontes de ruído de transporte (aéreo, rodoviário, ferroviário). Para cada modo de transporte foi obtida uma função com ajuste quadrático mostradas na Tabela 10.

Tabela 10 Estimativa do incômodo sonoro para o *DNL*

Fonte sonora	Aproximação polinomial (%AI) e Indicador acústico <i>DNL</i>
Aéreo	$\% AI = -0,02 \times (DNL - 42) + 0,0561 \times (DNL - 42)^2$
Rodoviário	$\% AI = 0,24 \times (DNL - 42) + 0,0277 \times (DNL - 42)^2$
Ferrovário	$\% AI = 0,28 \times (DNL - 42) + 0,0085 \times (DNL - 42)^2$

Fonte: Miedema e Vos (1998).

As curvas sínteses, derivadas das equações mostradas na Tabela 10, estão expressas na Figura 7 onde se verifica o percentual de pessoas altamente incomodadas (%AI) como uma função da exposição ao ruído que chega às residenciais, representado aqui pelo indicador *DNL*. Nessa figura, verifica-se que a relação dose-resposta mais expressiva provém do tráfego aeroviário e as curvas dose-reposta são mais precisas do que as suas antecessoras, pois os erros e imprecisões encontrados nos estudos anteriores foram evitados. Isso se deve ao método utilizado para estabelecer os intervalos de confiança, que foi melhorado. Os dados obtidos por Schultz, em 1978, e Fidell *et al.* (1991) foram reanalisados com um modelo mais adequado para o tratamento dos dados o que proporcionou às relações e seus intervalos de confiança uma consistência maior (Miedema e Vos, 1998).

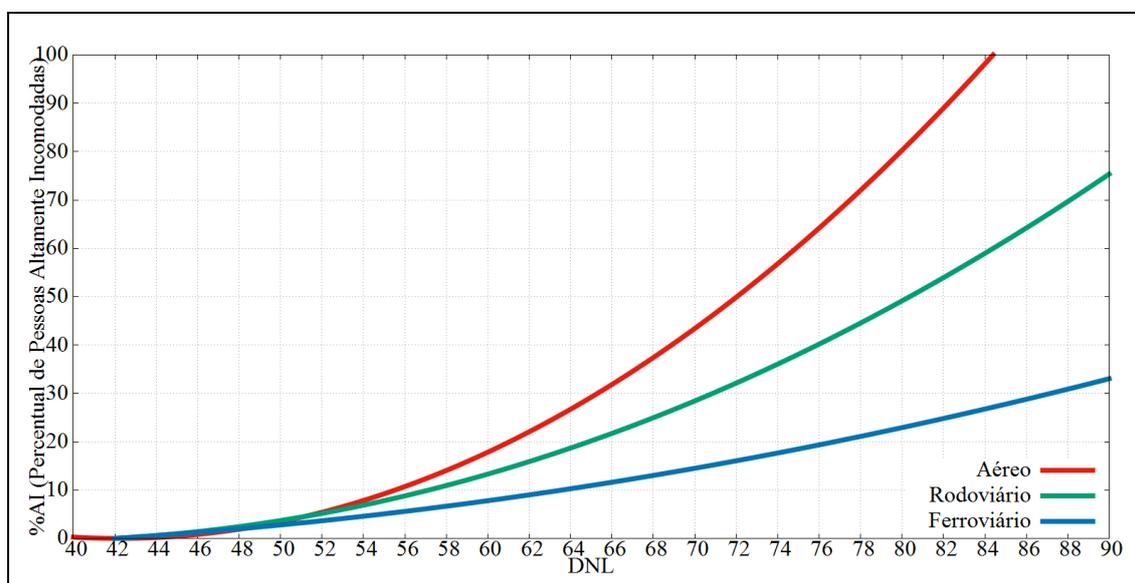


Figura 7. Relação entre %AI e *DNL* para diferentes fontes de tráfego

Fonte: Adaptado de Miedema e Vos (1998)

Cabe destacar, que o percentual de pessoas incomodadas (%I), ou a porcentagem de pessoas altamente incomodadas (AI%), é utilizado atualmente, na Comunidade Europeia, para descrever o nível de incômodo sonoro em uma população. Miedema e Oudshoorn (2001) apresentaram as relações dose-resposta para os indicadores acústicos *DNL* e  $L_{den}$ . Os resultados foram baseados no mesmo conjunto de dados utilizado por Miedema e Vos (1998) para estabelecer as relações entre o *DNL* e o %AI.

Desse modo, as estimativas dos intervalos de confiança foram melhoradas e a Tabela 11 mostra as aproximações polinomiais que são mais fáceis de usar e são suficientemente

precisas para estabelecer as relações de causa e efeito entre o ruído de uma fonte de transporte e o incômodo sonoro (Miedema e Oudshoorn, 2001). Com base nos resultados dos estudos de Miedema e Vos (1998) e Miedema de Oudshoorn (2001), a CE e a OMS passaram a recomendar a utilização das relações expostas na Tabela 11 para a estimativa do incômodo sonoro com base no nível de ruído, para os indicadores de ruído  $L_{den}$  e  $DNL$  (EC, 2002; WHO, 2011).

Portanto, o incômodo provocado pelo ruído é objeto de estudos desde a década de 1970, principalmente após a inserção de aviões a jato na aviação civil e militar. Nas décadas seguintes essa relação evoluiu para as chamadas curvas de dose-resposta que servem para estimar a relação dose-resposta. Essas curvas devem ser geradas juntamente com polinômios, e são recomendadas para a avaliação dos efeitos negativos em pessoas expostas ao ruído ambiente.

Tabela 11. Estimativa do incômodo sonoro para o  $DNL$  e o  $L_{den}$ \*\*

F*	Aproximação polinomial (%I e %AI) e Indicador acústico $L_{den}$
A*	$\% I = 8,588 \times 10^{-6} (L_{den} - 37)^3 + 1,777 \times 10^{-2} (L_{den} - 37)^2 + 1,221 (L_{den} - 37)$ $\% AI = -9,199 \times 10^{-5} (L_{den} - 42)^3 + 3,932 \times 10^{-2} (L_{den} - 42)^2 + 0,2939 (L_{den} - 42)$
R*	$\% I = 1,795 \times 10^{-4} (L_{den} - 37)^3 + 2,110 \times 10^{-2} (L_{den} - 37)^2 + 0,5353 (L_{den} - 37)$ $\% AI = 9,868 \times 10^{-4} (L_{den} - 42)^3 - 1,436 \times 10^{-2} (L_{den} - 42)^2 + 0,5118 (L_{den} - 42)$
T*	$\% I = 4,538 \times 10^{-4} (L_{den} - 37)^3 + 9,482 \times 10^{-3} (L_{den} - 37)^2 + 0,2129 (L_{den} - 37)$ $\% AI = 7,239 \times 10^{-4} (L_{den} - 42)^3 - 7,851 \times 10^{-3} (L_{den} - 42)^2 + 0,1695 (L_{den} - 42)$
F*	Aproximação polinomial (%I e %AI) e Indicador acústico $DNL$
A*	$\% I = 1,460 \times 10^{-5} (DNL - 37)^3 + 1,511 \times 10^{-2} (DNL - 37)^2 + 1,346 (DNL - 37)$ $\% AI = -1,395 \times 10^{-4} (DNL - 42)^3 + 4,081 \times 10^{-2} (DNL - 42)^2 + 0,342 (DNL - 42)$
R*	$\% I = 1,732 \times 10^{-4} (DNL - 37)^3 + 2,079 \times 10^{-2} (DNL - 37)^2 + 0,566 (DNL - 37)$ $\% AI = 9,994 \times 10^{-4} (DNL - 42)^3 - 1,523 \times 10^{-2} (DNL - 42)^2 + 0,538 (DNL - 42)$
T*	$\% I = 4,552 \times 10^{-4} (DNL - 37)^3 + 9,400 \times 10^{-3} (DNL - 37)^2 + 0,212 (DNL - 37)$ $\% AI = 7,158 \times 10^{-4} (DNL - 42)^3 - 7,774 \times 10^{-3} (DNL - 42)^2 + 0,163 (DNL - 42)$

Nota: F\* = Fonte sonora / A\* = Ruído aeronáutico / R\* = ruído do tráfego rodoviário / T\* = ruído de trens /  
\*\*Fonte: Miedema e Oudshoorn (2001), EC (2002) e WHO (2011)

A Tabela 12 sintetiza os polinômios para a avaliação dose-resposta que permitem estimar o percentual de pessoas altamente incomodadas (%AI) e incomodadas (%I) com o ruído aeroviário e de fontes de transportes.

Tabela 12. Funções para o ruído de fontes de transportes e o ruído aeronáutico

A*	Ruído proveniente de fontes de transportes
(1)	$\% AI = 0,8553 \times DNL - 0,0401 \times DNL^2 + 0,00047 \times DNL^3$
(2)	$\% AI = 78,9181 \times DNL - 3,2645 \times DNL^2 + 0,0360 \times DNL^3$
(3)	$\% AI = \frac{100}{1 + e^{(11,13 - 0,141DNL)}}$
A*	Ruído aeronáutico
(4)	$\% AI = -0,02 \times (DNL - 42) + 0,0561 \times (DNL - 42)^2$
(5)	$\% I = 1,460 \times 10^{-5} (DNL - 37)^3 + 1,511 \times 10^{-2} (DNL - 37)^2 + 1,346(DNL - 37)$ $\% I = 8,588 \times 10^{-6} (L_{den} - 37)^3 + 1,777 \times 10^{-2} (L_{den} - 37)^2 + 1,221(L_{den} - 37)$ $\% AI = -1,395 \times 10^{-4} (DNL - 42)^3 + 4,081 \times 10^{-2} (DNL - 42)^2 + 0,342(DNL - 42)$ $\% AI = -9,199 \times 10^{-5} (L_{den} - 42)^3 + 3,932 \times 10^{-2} (L_{den} - 42)^2 + 0,2939(L_{den} - 42)$

Nota: A\* = Autor(es) / (1) Schultz (1978) / (2) Fidel *et al.* (1991) / (3) Finegold *et al.* (1992) / (4) Miedema e Vos (1998) / (5) Miedema e Oudshoorn (2001)

### 3.4.1 Relação dose-resposta e distúrbios no sono

Em 1992, o FICON (*Federal Interagency Committee on Noise*) recomendou a utilização de modelos dose-resposta para prever o percentual estimado da população despertada em função da exposição a níveis de ruído durante um único evento, expresso em termos de nível sonoro de exposição SEL.

O relatório da FICON também recomendou a continuidade da investigação devido à reação da comunidade ao ruído das aeronaves, incluindo as perturbações do sono (FICON, 1992). A Figura 8 expressa a relação dose-resposta indicada pela FICON, e a equação 20 expressa a determinação do percentual de pessoas despertadas (% *Awakenings*<sup>10</sup>).

$$\% \text{despertados} = 7,079 \times 10^{-6} (SEL - 30)^{3,496} \quad (20)$$

Destaca-se que essa curva foi elaborada tendo por base estudos realizados em 1989. O SEL foi adotado pela FICON (1992), pois está associado aos efeitos instantâneos de ruído sobre o sono, como os despertares ou motilidade instantânea. O SEL é uma métrica muito utilizada para caracterizar um evento único de pouso ou decolagem de uma aeronave,

<sup>10</sup> %Awakenings = %despertados

sendo mais empregado para avaliar a exposição sonora da população durante o sobrevoo noturno de uma aeronave e a probabilidade de interrupção do sono (FICON, 1992).

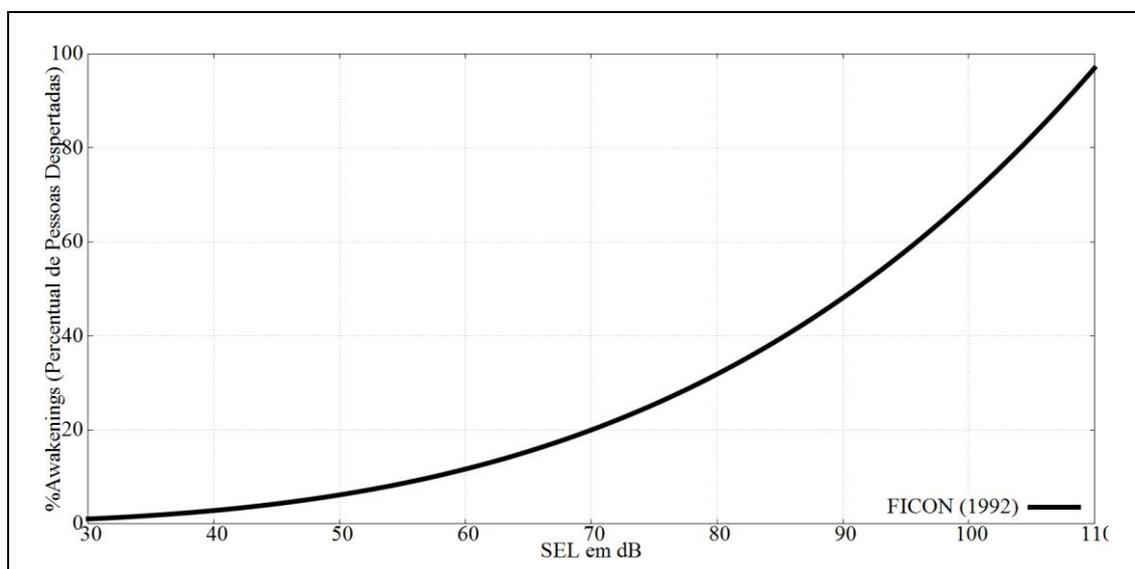


Figura 8. Curva dose-resposta para distúrbios no sono

Fonte: Adaptado de FICON (1992)

Já a FICAN (*Federal Interagency Committee on Aviation Noise*), em 1997, recomenda a adoção de novas curvas de dose-resposta para prever o percentual de população despertada durante o sono, a partir de três estudos de campo mais recentes. O primeiro foi realizado no Reino Unido em 1992, o segundo nos Estados Unidos (EUA), próximo ao *Castle Air Force Base* e no entorno do Aeroporto Internacional de Los Angeles, Califórnia, em 1992, e o terceiro estudo foi realizado em comunidades próximas ao Aeroporto de Denver (DIA), Colorado, antes e após a abertura do DIA em 1995 (FICAN, 1997). O indicador de ruído adotado também é o SEL e a relação dose-resposta proposta pela FICAN (1997) pode ser descrita por meio da equação a seguir.

$$% \text{despertados} = 0,0087 \times (SEL - 30)^{1,79} \quad (21)$$

A curva de 1997 da FICAN (Figura 9) representa o limite superior dos dados de campo observados, e deve ser interpretada no sentido de prever a porcentagem máxima da população despertada (percentual máximo de pessoas expostas despertadas) para uma dada população residencial.

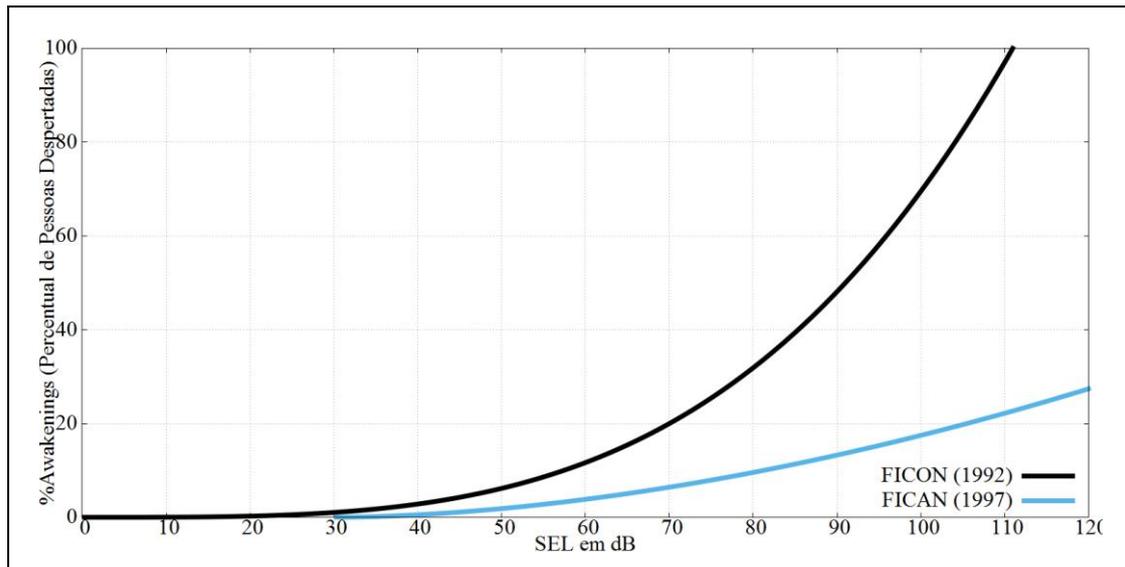


Figura 9. Curva dose-resposta para distúrbio no sono.

Fonte: Adaptado de: FICAN (1997)

Miedema *et al.* (2003) apresentaram curvas de dose-resposta para distúrbios do sono, relatados pelas próprias pessoas, provenientes do tráfego de aeronaves do tráfego rodoviário e ferroviário. Essas curvas foram elaboradas com base nos dados obtidos a partir de 15 conjuntos de dados originais (mais de 12.000 observações individuais) obtidos de 12 estudos de campo. O indicador de ruído  $L_n$  para se estabelecer a relação com o percentual de pessoas com o sono altamente perturbado (%PSAP)<sup>11</sup>, pois pode ser usado como um preditor de efeitos crônicos da exposição ao ruído noturno. Como resultado, obtiveram os polinômios e as curvas dose-respostas que descrevem a relação entre o %PSAP, %PDS<sup>12</sup> e %PSLP<sup>13</sup> com o  $L_n$  para fontes de tráfego rodoviário e ferroviário (Miedema *et al.*, 2003).

A Tabela 13 expressa esses polinômios, em função do  $L_n$ , na fachada exterior da habitação para a fonte em questão. Em uma análise mais extensa, Miedema e Vos (2007) tomaram por base dados anteriores, de 2003, e incluíram informações de 28 bancos de dados obtidos de 24 estudos de campo (23.000 participantes) realizados desde 1970. Esta análise resultou em curvas muito semelhantes às obtidas em 2003 por Miedema *et al.* (2003), com intervalos de confiança de 95%. e foram acrescentadas as curvas para o ruído aeroviário

<sup>11</sup> %PSAP = Tradução do inglês: %HSD – person with *Highly Sleep-Disturbance*

<sup>12</sup> %PDS = Percentual de pessoas com distúrbios no sono. Tradução do inglês: %SD – person with *Sleep Disturbed*)

<sup>13</sup> %PSLP = Percentual de pessoas com o sono levemente perturbado. Tradução do inglês: %LSD – person with *Little Sleep Disturbed*)

(Miedema e Vos, 2007). A Tabela 14 apresenta os polinômios, em função do  $L_n$ , na fachada exterior da habitação para o ruído aeronáutico.

Tabela 13.  $L_n$  e polinômios para distúrbios no sono - tráfego rodoviário e ferroviário

Ruído do tráfego rodoviário	Ruído ferroviário
$\% PSAP = 20,8 - 1,05L_n + 0,01486(L_n)^2$	$\% PSAP = 11,3 - 0,55L_n + 0,00759(L_n)^2$
$\% PDS = 13,8 - 0,85L_n + 0,01670(L_n)^2$	$\% PDS = 12,5 - 0,66L_n + 0,01121(L_n)^2$
$\% PSLP = -8,4 + 0,16L_n + 0,01081(L_n)^2$	$\% PSLP = 4,7 - 0,31L_n + 0,01125(L_n)^2$

Fonte: Miedema *et al.* (2003)

Tabela 14.  $L_n$  e polinômios para distúrbios no sono para o ruído aeronáutico

$$\% PSAP = 18,147 - 0,956L_n + 0,01482(L_n)^2$$

$$\% PDS = 13,714 - 0,807L_n + 0,01555(L_n)^2$$

$$\% PSLP = 4,465 - 0,411L_n + 0,01395(L_n)^2$$

Fonte: EC (2004)

Essas funções mostram que, em média, considerando o mesmo nível de exposição ao ruído noturno, o ruído dos aviões está associado a distúrbios no sono mais expressivos que o do tráfego rodoviário. Por sua vez, o ruído do tráfego rodoviário causa maior perturbação no sono do que o ruído proveniente do tráfego ferroviário. A mais forte reação ao ruído, induzido pelas fontes de tráfego, está associada a pessoas entre 50 e 56 anos de idade (Miedema e Vos, 2007).

### 3.5 REAÇÃO DE COMUNIDADES EXPOSTAS AO RUÍDO: AVALIAÇÃO POR QUESTIONÁRIO

Existem diferentes maneiras de medir a reação humana ao ruído. As formas utilizadas para avaliação de medidas objetivas (por exemplo, medidas da pressão arterial, dos sinais cerebrais – EEG – ou análise da variabilidade da frequência cardíaca) são caras e complexas para administrar, mas menos propensas a flutuações subjetivas e mais fáceis de padronizar, especialmente em ambientes de laboratório. Por exemplo, verificou-se que a avaliação subjetiva de despertares noturnos é subestimada em comparação com os despertares objetivamente avaliados (Pirrera *et al.*, 2010 *apud* Laszlo *et al.*, 2012).

Já os principais meios de avaliação dos aspectos subjetivos, relacionados à exposição sonora, são: pesquisas populacionais e coleta de informações por meio de auto avaliações (*self-reported*) que indiquem a estado de saúde, o incômodo, o sentimento de bem-estar ou insatisfação do pesquisado (Laszlo *et al.*, 2012). Os questionários têm a vantagem de serem, geralmente, rápidos de aplicar, baratos e de fácil aplicação. Questionários padronizados estão disponíveis para a avaliação de medidas subjetivas como o incômodo (ISO, 2003) e a sensibilidade ao ruído (Phun *et al.*, 2013).

No caso, para melhor avaliar o incômodo o ICBEN (*The International Commission on Biological Effects of Noise – ICBEN*), publicou, em 1997, orientações para a criação de uma metodologia internacional de avaliação da reação das comunidades expostas a uma determinada fonte de ruído ambiente, ou seja, da avaliação do nível de incômodo sentido pelas pessoas afetadas. Essa metodologia é fundamentada, basicamente, em entrevistas aos residentes do local, com um problema de ruído específico, por meio de um questionário (Fields *et al.*, 1997, 2001).

O questionário deve conter perguntas sobre a qualidade de vida dos entrevistados e suas residências; incômodo sonoro e interferências em atividades cotidianas; sensibilidade e atitudes em relação à fonte de ruído, e questões sócio demográficas. Esse instrumento pode ser utilizado com o uso de duas escalas, sendo uma escala verbal de 5 pontos (*extremamente incomodado = 5, muito incomodado = 4, moderadamente incomodado = 3, ligeiramente incomodado = 2 e nada incomodado = 1*) e outra numérica de 11 pontos (marcação em uma linha onde os limites são: *nada incomodado* e *extremamente incomodado*), para avaliar o incômodo dos respondentes ao ruído (Bristow *et al.*, 2003; Phan *et al.*, 2008).

Para a escala de 5 pontos, a pergunta para o respondente pode ser formulada da seguinte maneira: "*Pensando nos últimos 12 meses, ou mais, quando você está em casa, quanto é que o ruído proveniente da fonte X o incomoda (perturba ou irrita)?*". Já para a escala numérica de 11 pontos a questão pode ser assim formulada "*Pensando nos últimos 12 meses, mais ou menos, que número, de 0 – 10, melhor expressa o quanto você está incomodado, perturbado ou irritado pelo ruído da fonte X?*". Também se pode avaliar, com a escala de 5 pontos, questões relacionadas ao incômodo associado ao ruído na realização de atividades cotidianas tais como: se comunicar no interior da residência,

conversar ao telefone, ouvir rádio/TV), e distúrbios no sono (dificuldade em adormecer e ser despertado antes da hora). A pergunta adaptada pode ser assim formulada: "*Quanto o ruído, proveniente da fonte X, o incomoda ou perturba nas seguintes situações?*" (Phan *et al.*, 2008).

Gunther *et al.* (2007) desenvolveram uma versão brasileira da escala elaborada pelo ICBEN. Esses autores conduziram um estudo com 286 indivíduos recrutados em seis grandes cidades e em todas as regiões geográficas do Brasil. Foram cerca de 40 participantes em Belém do Pará (região Norte), 47 participantes de João Pessoa (Nordeste), 49 entrevistados no Rio de Janeiro (Sudeste), 48 participantes em Porto Alegre (Sul), 49 entrevistados em Goiânia (Centro-Oeste) com, e em Brasília 53 entrevistados.

Os participantes eram alunos do segundo e terceiro ano do curso de graduação em psicologia, que responderam ao instrumento como parte das atividades de classe das disciplinas de psicologia social, métodos de medição ou psicologia geral. Pesquisou-se um total de 15 advérbios e a conclusão do estudo recomenda usar os termos *nada, algo, medianamente, muito, e extremamente* para uma escala de cinco pontos e os termos *nada, razoavelmente, muito, e extremamente* para uma escala de quatro pontos (Gunther *et al.*, 2007).

## **3.6 EXPOSIÇÃO COMUNITÁRIA AO RUÍDO AERONÁUTICO: ESTUDOS INTERNACIONAIS E NACIONAIS**

### **3.6.1 Estudos internacionais**

Garcia *et al.* (1993) promoveram uma pesquisa social com 1.800 pessoas que vivem nas vizinhanças dos seis maiores aeroportos do país. Nesse estudo, 62% dos respondentes, indicaram se sentir incomodados pelo ruído aeronáutico. Pepper *et al.* (2003) identificaram que os sobrevoos de aeronaves militares e civis podem afetar a qualidade de vida de milhões de pessoas. Da análise que realizaram, sugerem que o ruído pode afetar negativamente a fauna e os seres humanos. Também indicam a necessidade da continuidade dos estudos dos efeitos do ruído das aeronaves, em seres humanos e animais

selvagens, pois esses estudos podem ser fundamentais para a criação de políticas de uso sustentável do solo perto de aeroportos.

Miedema e Vos (1998) realizaram um estudo para relacionar o nível incômodo percebido com o ruído ambiente. Para tanto, analisaram um banco de dados composto de um conjunto de dados originais de estudos sobre incômodo provocado pelo ruído proveniente de diferentes meios de transportes (aeroviário, rodoviário e ferroviário). Os estudos analisados foram realizados na Europa, América do Norte e Austrália. No total, foram analisados 55 conjuntos de dados que representam um total de 63.969 pesquisados. Somente os respondentes, para o qual o *DNL* e a resposta em relação ao incômodo estavam disponíveis, foram contados. Desse modo, puderam estabelecer as funções que resumem a relação entre o incômodo e o ruído incidente na fachada mais exposta das residências. Como resultados obtiveram curvas sínteses, que podem ser usados para estimar o incômodo do ruído (% HA) com base na exposição ao ruído (*DNL* para a fachada das residências mais exposta), para os diferentes modos de transportes. Sendo assim, pode-se avaliar o impacto do ruído na comunidade por meio da estimativa do número esperado de pessoas muito incomodadas.

Já o estudo desenvolvido pelo EUROCONTROL (*European Organisation for the Safety of Air Navigation*) possibilitou, por meio da aplicação de um questionário, a verificação do incômodo proveniente da operação de aeronaves. Esse trabalho foi desenvolvido na Comunidade Europeia em três grandes aeroportos (Manchester, Lyon e Bucareste) sendo aplicados, aproximadamente, duzentos questionários em comunidades circunvizinhas a cada aeroporto. Por sua vez, é parte de uma pesquisa mais ampla que visa alcançar uma maior compreensão de todas as formas de incômodos originadas por ruído ao redor de aeroportos 200 questionários foram aplicados em regiões próximas a cada um dos aeroportos. Como principais resultados destacam-se: Houve um grau bastante elevado de consenso nas respostas, entre os três países, onde o ruído aeronáutico foi identificado como uma fonte de insatisfação e impacto na qualidade de vida. Além disso, o ruído aeronáutico mostrou-se mais irritante no período do entardecer (18 às 22h), nos fins de semana e à noite (após às 22h), ou seja, nos momentos em que as pessoas encontram-se em suas casas e estão tentando relaxar ou dormir (Bristow *et al.*, 2003).

Schreckenber e Meis (2007) realizaram um estudo com 2.312 moradores em 66 áreas próximas ao Aeroporto de Frankfurt na Alemanha, com o objetivo de investigar os efeitos

do ruído das aeronaves na qualidade de vida dos moradores. Foi utilizada, como instrumento de pesquisa, a entrevista com os moradores próximos ao aeroporto. A entrevista teve o objetivo de avaliar o incômodo do ruído em longo prazo devido a várias fontes de ruído. Também se analisou a situação residencial, ambiental, de saúde e variáveis demográficas. As conclusões foram de que apesar do incômodo ocasionado pelo ruído ser correlacionado a fatores sócio demográficos como a idade (adultos de meia idade são mais propensos à irritação do que pessoas mais jovens e idosas), sexo (mulheres são um pouco mais irritáveis do que os homens) e nível social (a classe alta é mais irritada do que a média e baixa).

Na Coreia do Sul, realizou-se um estudo para avaliar o incômodo sonoro causado pela exposição ao ruído proveniente da operação de aeronaves civis. Nesse estudo, pesquisou-se 18 áreas ao redor dos aeroportos internacionais Gimpo e Gimhae, de modo a acumular dados referentes a uma pesquisa social e avaliar a relação entre o ruído aeronáutico e as reações associadas ao incômodo sonoro na Coreia. Foi adotada a relação dose – resposta para avaliar a reação dessas pessoas expostas ao ruído das aeronaves. Também determinou-se o percentual de respondentes que se sentiram muito incomodados (% AI). Para tanto, foram aplicados questionários a pessoas que residiam a menos de 100 m dos pontos de medição de ruído que compõem os sistemas de monitoramento dos aeroportos. O questionário utilizado continha perguntas demográficas, de incômodo associado ao ruído e interferência nas atividades diárias (estudar, concentrar-se, dormir, etc.) e na saúde. As questões relativas ao incômodo foram respondidas em uma escala adotada pelo ICBEN. No total, 705 respondentes participaram da pesquisa e os resultados indicam que o incômodo, decorrente do ruído aeronáutico, percebido pelos respondentes na Coreia parece ser maior do que os relatados em outros países (Lim *et al.*, 2007).

Lim *et al.* (2008) elaboraram outro estudo para avaliar o incômodo sonoro comunitário causado pela exposição a ruídos advindos da aviação civil em 20 locais em torno dos aeroportos Gimpo e Gimhae. O objetivo da pesquisa era investigar o efeito do ruído de fundo, em termos de dose – resposta, associado aos níveis de ruído das aeronaves e o incômodo gerado. Novamente, aplicaram-se questionários e o tamanho da amostra foi de 753 participantes. Os resultados mostraram que as respostas, relacionadas ao incômodo percebido em regiões de baixo ruído de fundo, são muito mais elevadas do que aqueles em regiões com ruído de fundo mais elevado, mesmo que os níveis de intensidade sonora

das aeronaves sejam os mesmos. Assim, esses pesquisadores concluíram que o nível de ruído de fundo é um fator importante na determinação do incômodo sonoro comunitário devido à exposição ao ruído das aeronaves (Lim *et al.*, 2008).

Elmehdi H.M (2008) realizou uma pesquisa com o objetivo de avaliar o incômodo comunitário causado pela exposição ao ruído aeronáutico em 9 locais no entorno do Aeroporto Internacional de Dubai. Para tanto, o autor adotou a metodologia indicada pelo ICBEN (ISO, 2003) para a avaliação da relação dose-resposta entre ruído aeronáutico de incomodo sonoro. Foram escolhidos 23 respondentes para cada local (total de 207) e como principal resultado, foi obtido que 41% dos pesquisados consideravam-se altamente incomodados pelo ruído aeronáutico.

Brink *et al.* (2008) elaboram um estudo para: (1) promover uma atualização dos modelos dose-respostas para %AI entre residentes no entorno do Aeroporto de Zurique (2) investigar o impacto, causado pelo ruído aeronáutico, devido às mudanças (aumento/diminuição) na operação do aeroporto entre 2001 e 2003 e elaborar um modelo que estime o impacto causado por essas alterações em termos de %AI. A metodologia adotada no estudo foi a recomendada pelo ICBEN. Os resultados encontrados vão de encontro aos obtidos em outros estudos internacionais (Babisch, 2007, 2009; WHO, 2011) e fornecem mais evidências de que o incômodo comunitário, devido ao ruído dos aviões, tem aumentado ao longo das últimas décadas na Europa.

Hong *et al.* (2009) avaliaram os efeitos do exposição ao ruído do tráfego aéreo e rodoviário separadamente e de forma combinada. Também compararam o total de incomodados devido à exposição ao ruído combinado (aeroviário e rodoviário) com o incômodo proveniente uma única fonte. A metodologia adota foi a indicada pelo ICBEN. Como resultados importantes destacam: (1) o incômodo total devido à exposição ao ruído combinado é diferente ao incômodo percebido decorrente da exposição a uma única fonte de ruído. Mesmo quando as pessoas estão expostas ao mesmo nível de intensidade ao ruído, em geral o incômodo provocado pelo ruído combinado é superior ao incômodo percebido devido ao tráfego rodoviário e menor que o ruído somente do tráfego aeroviário comercial na faixa de 55 – 70 dB(A) na métrica LAeq, 24h. Esses autores ressaltam a importância de se avaliar o incômodo de acordo com as condições de exposição ao ruído.

Em 2010, uma pesquisa realizada com residentes próximos ao Aeroporto de Frankfurt avaliou o incômodo sonoro, proveniente da operação das aeronaves, e os distúrbios associados a esse incômodo no meio ambiente, saúde e na qualidade de vida. Os resultados indicam uma maior percepção das pessoas ao ruído, do que o previsto pelas curvas de dose-resposta adotadas na Europa. Além disso, os autores concluíram que o ruído aeronáutico afeta o meio ambiente e está associado significativamente ao incômodo sentido pelas pessoas. Os resultados ainda sugerem uma relação expressiva entre os níveis de ruído e impactos na saúde (Schreckenber *et al.*, 2010).

Suau-Sanchez *et al.* (2011) realizaram uma pesquisa, que entre outros aspectos relacionados ao planejamento aeroportuário, investigou o conflito sócio – ambiental entre o aeroporto de Barcelona e a comunidade de Gavà Mar. Os resultados obtidos indicaram: falta de confiança entre os atores envolvidos no conflito, impossibilidade de se prever a exposição ao ruído, falta de oportunidades para a sociedade civil expressar a dificuldade de acesso a informações relacionadas ao incômodo e mobilização reativa das comunidades que vivem no entorno do aeroporto. Ressaltam, ainda, que comunidades incomodadas, que residem em torno de aeroportos, tornaram-se um fator limitante para a capacidade operacional dessas infraestruturas.

Janssen *et al.* (2011) investigaram os resultados de estudos realizados em 34 aeroportos europeus. O objetivo do estudo foi o de verificar a hipótese de tendência desse aumento e identificar suas possíveis causas. Entre os resultados obtidos nessa pesquisa, destaca-se um aumento significativo, ao longo dos anos, do incômodo associado à exposição ao ruído aeroviário. Nenhuma evidência foi encontrada para explicar esse aumento da sensibilidade ao ruído. Os autores chamam a atenção para a grande importância de se pesquisar a relação entre a exposição de pessoas ao ruído das aeronaves e o incômodo percebido.

Nas cidades de Ho Chi Minh City e Hanoi, no Vietnã, realizou-se uma pesquisa com o objetivo de verificar a resposta da comunidade exposta ao ruído combinado do tráfego rodoviário e aeroviário. Para tanto, adotou-se um questionário baseado nas orientações do ICBEN com uma escala verbal de 5 pontos e outra numérica de 11 pontos, para avaliar o incômodo dos respondentes ao ruído. No total, foram 1.562 questionários aplicados nas duas cidades e destes, 1.397 foram validados para análise de dados. A curva dose-resposta

para o ruído dos aviões foi elaborada e comparada com a curva adotada na CE. Verificou-se que a curva dose-resposta apresentou-se 2 a 3 dB menor do que o estabelecido para a CE. Para a exposição ao ruído aeronáutico, o nível de incômodo, em Hanói, foi maior do que em Ho Chi Minh City, provavelmente, por causa do baixo nível de ruído de fundo, em Hanói (Nguyen *et al.*, 2011).

Yokoshima *et al.* (2012) elaboraram um estudo com o objetivo de apresentar as curvas dose-resposta relacionadas com fontes de transporte (tráfego rodoviário, aviação civil e militar e tráfego rodoviário) no Japan. Esses autores utilizaram bancos de dados de pesquisas da SASDA (Socio-Acoustic Survey Data Archive – Japão) e relacionaram o percentual de pessoas altamente incomodadas em função dos indicadores acústicos LAeq (24h) e DNL. Os resultados mostraram que o ruído do tráfego de aeronaves militares é o que gera a sensação de incômodo, seguido do tráfego do ruído da aviação civil, ruído de trens e, por último, o ruído do tráfego rodoviário.

Guoqing *et al.* (2012) publicaram uma pesquisa a respeito do incômodo comunitário induzido pela exposição ao ruído de aeronaves, realizada em torno do aeroporto internacional de Hangzhou Xiaoshan, na China. O objetivo do estudo foi o de investigar a relação entre curvas de ruído e a porcentagem de pessoas muito incomodadas (% AI). O incômodo foi avaliado em uma amostra de 764 moradores residentes no entorno do aeroporto. Utilizou-se a escala elaborada pelo ICBEN e concluíram que os limites dos níveis de ruído das aeronaves, em torno do aeroporto, e utilizados no zoneamento sonoro do aeródromo não são adequados para serem aplicados no país. Recomendam uma maior investigação a respeito do incômodo percebido pelas pessoas, inclusive no entorno de outros aeroportos. Ainda enfatizam que os resultados ajudam a apoiar as políticas e normas relacionadas ao ruído aeronáutico e destacam que as relações dose-resposta até então ainda não tinham sido pesquisadas na China.

Nguyen *et al.* (2013) avaliaram o efeito do ruído das aeronaves sobre pessoas no Vietnã, por meio de uma pesquisa que tinha por objetivo verificar a relação dose-resposta, em comunidades no entorno de três aeroportos (Ho Chi Minh, Hanói, e Da Nang). Os níveis de ruído das aeronaves foram representados pelo indicador  $L_{den}$ . Uma curva síntese dose-resposta, para a relação nível de exposição e incômodo sonoro, foi elaborada com base nas respostas de 3.487 questionários aplicados na vizinhança dos três aeroportos. A curva

dose-resposta (Figura 10), para o Vietnã, mostrou-se ligeiramente superior, mas consistente, com a curva proposta na Comunidade Europeia (UE) para o ruído aeronáutico e um pouco inferior para o ruído rodoviário, ao comparar com a curva da UE (Nguyen *et al.*, 2013).

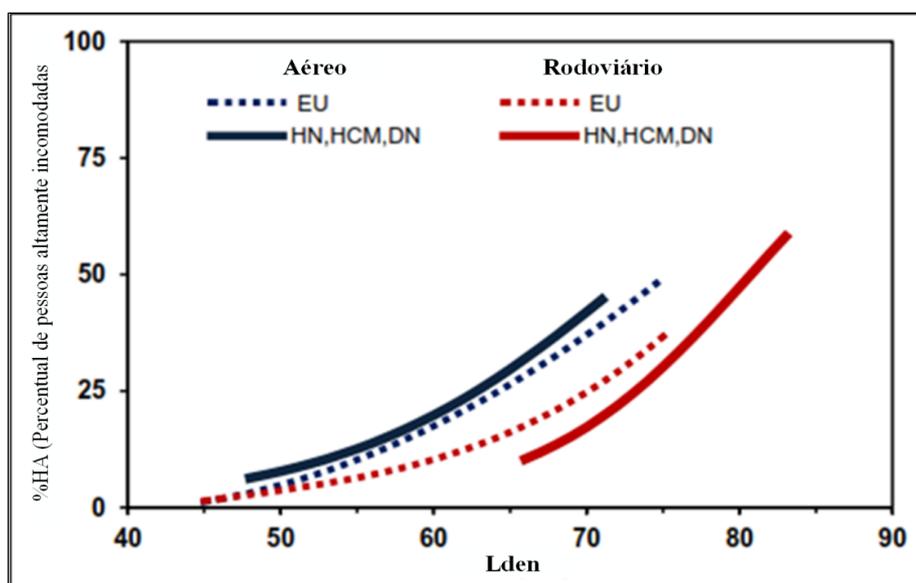


Figura 10. Comparação das relações dose-resposta para ruídos de aviões e rodoviários de Hanoi (HN), Ho Chi Minh (HCM), e Da Nang (DN).

Fonte: Adaptado de Nguyen *et al.* (2013)

Ozcurt *et al.* (2014) avaliaram os níveis de ruído aeronáutico a que comunidades, residentes no entorno do Aeroporto Ataturk em Istambul, estão expostas. Para tanto, mapas acústicos foram elaborados, na métrica  $L_{den}$ , e o cálculo da população exposta a diferentes níveis de ruído. A metodologia adotada foi a indicada na Diretiva Europeia 2002/49/CE. Verificou-se que quase 1% da população está exposta a níveis de ruído provenientes das operações aviárias superiores a 65 dB (A). Durante a noite, 1,3% da população é exposta a 55 dB (A), ou níveis mais altos de ruído aeronáutico. Esses resultados indicam um número significativo de indivíduos potencialmente expostos a níveis elevados de ruído, uma vez que a cidade de Istambul é considerada um aglomerado urbano com aproximadamente 14 milhões de pessoas.

Sadr *et al.* (2014) investigaram o ordenamento territorial, em torno do Aeroporto Internacional Imam Khomeini (IKIA) em Teerã, através do emprego de Sensoriamento Remoto (RS), SIG e simulações de curvas de ruído aeronáutico com o *software* INM (*Integrated Noise Model*), para estabelecer os potenciais efeitos do ruído das aeronaves

nas comunidades situadas no entorno desse aeroporto. Simulações foram realizadas para os anos de 2020 e 2030. Os autores destacam que nos últimos anos, devido a políticas inadequadas relacionadas ao uso do solo, a destinação das áreas no entorno do IKIA foi alterada para área residencial de modo que é esperado um adensamento populacional nessas áreas, na próxima década, com um crescimento descontrolado. Os resultados do INM indicaram que a expansão do aeroporto, em conjunto com o desenvolvimento das áreas residenciais, irá contribuir para o aumento da poluição sonora nessa região. Assim, os autores alertam para a necessidade de se estabelecer o monitoramento e controle do ruído aeronáutico em conjunto com estratégias de uso e ocupação do solo adequadas.

Desse modo, a revisão da literatura internacional apresentada mostra que significativos esforços, em diferentes países, têm sido conduzidos para estudar o ruído aeronáutico e seus impactos nas comunidades expostas no entorno de aeroportos. Os métodos adotados, em quase todos os estudos, integram a aplicação de questionários, com base na metodologia proposta pelo ICBEN, elaboração de mapas acústicos, cálculo de populações expostas e a determinação do %AI. Os dados e informações provenientes dessa integração contribuem com os tomadores de decisões e *stakeholders* nos esforços relativos ao monitoramento e controle do ruído, a fim de minimizar os efeitos negativos na saúde das populações expostas, particularmente em regiões densamente urbanizadas.

A Tabela 15 resume os principais estudos citados nesta seção e depreende-se que as pesquisas que tiveram por objetivo determinar o indicador %AI adotaram a aplicação de questionários ou por meio de entrevistas pessoais/de campo (*face-to-face*) ou por correio e telefone. Nenhum estudo pesquisado apresentou aplicação do questionário pela internet (*on line*). Talvez, por que uma das potenciais desvantagens das pesquisas *on-line*, que pode ser considerada como principal, é a baixa taxa de resposta aos questionários (Gonçalves, 2008, p.7 *apud* Vieira *et al.*, 2010).

Tabela 15. Resumo dos estudos internacionais

Autor	Propósito da pesquisa	P/I <sup>a</sup>	Questionário	Indicador acústico	Fonte Ruído	D-R <sup>b</sup>	TA <sup>c</sup>	Aeroportos
Garcia <i>et al.</i> (1993)	Avaliar a percepção de incômodo referente ao ruído aeronáutico.	Q e MA	Aplicação: entrevista pessoal ( <i>face-to-face</i> )	NEF	RA		1800	6 maiores aeroportos da Espanha
Miedema e Vos (1998)	Relacionar o incômodo com o ruído ambiente. Essa relação foi obtida através da análise de bancos de dados existentes para estabelecer as funções que indiquem a relação entre o incômodo e o ruído incidente na fachada mais exposta das residências.	(4)		<i>DNL</i>	RA, RR e RF	%AI		
Miedema e Oudshoorn (2001)	Apresentar as relações dose-resposta para os indicadores acústicos <i>DNL</i> e <i>L<sub>den</sub></i> . Também mostram as aproximações polinomiais para estabelecer as relações de causa e efeito entre o ruído de uma fonte de transporte e o incômodo sonoro.	(4)		<i>DNL</i> e <i>L<sub>den</sub></i>	RA, RR e RF	%PI, %I e %AI		
Pepper <i>et al.</i> (2003)	Avaliar o impacto dos sobrevoos de aeronaves militares e civis na fauna e na qualidade de vida das pessoas.	(1)			RA			Aeroportos nos Estados Unidos
Bristow <i>et al.</i> (2003)	Projeto EUROCONTROL: Compreender as formas de incômodos originadas por ruído ao redor de aeroportos.	Q, MA e CP	Diversas metodologias. Para avaliar o incômodo adotou-se a Metodologia ICBEN. Aplicação: entrevista pessoal ( <i>face-to-face</i> )	<i>L<sub>den</sub></i> <i>L<sub>n</sub></i>	RA		600	Manchester, Lyon e Bucareste na Europa
Schreckenber e Meis (2007)	Investigar os efeitos do ruído das aeronaves na qualidade de vida dos moradores.	Q e MA	Metodologia ICBEN Aplicação: entrevista pessoal ( <i>face-to-face</i> )	<i>LA<sub>eq</sub></i> (8h)* - <i>L<sub>n</sub></i> , <i>LA<sub>eq</sub></i> (16h), <i>DNL</i> , <i>L<sub>den</sub></i>	RA	%AI	2.312	Frankfurt / Alemanha
Lim <i>et al.</i> (2007)	Avaliar o incômodo sonoro causado pela exposição ao ruído proveniente da operação de aeronaves civis.	Q e MF	Metodologia ICBEN Aplicação: entrevista pessoal ( <i>face-to-face</i> )	WECPNL e <i>DNL</i>	RA	%AI	705	Gimpo e Gimhae / Coréia do Sul

Lim <i>et al.</i> (2008)	Investigar o efeito do ruído de fundo, em termos de dose – resposta, associado aos níveis de ruído das aeronaves e o incômodo gerado no entorno de aeroportos.	Q e MF	Metodologia ICBEN Aplicação: entrevista pessoal ( <i>face-to-face</i> )	WECPNL e DNL	RA	%AI	735	Gimpo e Gimhae / Coréia do Sul
Brink <i>et al.</i> (2008)	(1) Promover uma atualização dos modelos dose-respostas para %AI entre residentes; (2) Investigar o impacto, causado pelo ruído aeronáutico, devido às mudanças (aumento/diminuição) na operação do aeroporto entre 2001 e 2003 e elaborar um modelo que estime o impacto causado por essas alterações em termos de %AI.	Q e MA	Metodologia ICBEN. Aplicação: autopreenchimento (correio) e entrevista por telefone.	$L_{den}$ , DNL e $L_{Aeq}$ (24h)	RA	%AI, %I e %PI	1.719	Zurique / Suíça
Elmehdi H.M (2008)	Avaliar o incomodo comunitário causado pela exposição ao ruído aeronáutico em 9 locais no entorno do Aeroporto Internacional de Dubai	Q e MF	Metodologia ICBEN Aplicação: entrevista pessoal ( <i>face-to-face</i> )	WECPNL e DNL	RA	%AI	207	Dubai / Emirados Árabes Unidos
Hong <i>et al.</i> (2009)	Avaliar os efeitos do ruído em termos de %II e comparar o total de incomodados devido à exposição ao ruído combinado (aeroviário e rodoviário) com o incômodo proveniente de uma única fonte sonora.	Q, MF e MA	Metodologia ICBEN Aplicação: entrevista pessoal ( <i>face-to-face</i> )	$L_{Aeq}$ (24h)	RA e RR	%AI	RR = 583 RA = 662 RR e RA = 550	Gimpo / Coréia do Sul
Schreckenber <i>et al.</i> (2010)	Avaliar o incômodo sonoro, proveniente da operação das aeronaves, e os distúrbios associados a esse incômodo no meio ambiente, saúde e na qualidade de vida. Continuação do estudo de 2007.	Q e MA	Diversas metodologias. Para avaliar o incômodo adotou-se a Metodologia ICBEN Aplicação: entrevista pessoal ( <i>face-to-face</i> )	$L_{den}$ $L_n$	RA	%AI	2.312	Frankfurt / Alemanha
Suau-sanchez <i>et al.</i> (2011)	Investigar o conflito sócio – ambiental entre o aeroporto de Barcelona e a comunidade de Gavà Mar.	(2)			RA			Barcelona / Espanha
Janssen <i>et al.</i> (2011)	Verificar a hipótese de tendência do aumento do incômodo das pessoas devido à exposição ao ruído aeroviário e identificar suas possíveis causas.	(3)			RA			Europa

Nguyen <i>et al.</i> (2011)	Verificar a resposta da comunidade exposta ao ruído combinado do tráfego rodoviário e aeroviário no entorno dos aeroportos de Ho Chi Minh (HCM) e Hanoi (HA)	Q e MF	Metodologia ICBEN Aplicação: entrevista pessoal ( <i>face-to-face</i> )	$L_{den}$	RA e RR	%AI	HCM = 1.562 HA = 1.397	Ho Chi Minh e Hanoi / Vietnã
Yokoshima <i>et al.</i> (2012)	Apresentar as curvas dose-resposta relacionadas com fontes de transporte (tráfego rodoviário, aviação civil e militar e tráfego rodoviário) no Japan	Q e MF		$LA_{eq}$ (24h) e <i>DNL</i>	RA, RR e RF	%AI		
Guoqing <i>et al.</i> (2012)	Investigar a relação entre curvas de ruído e o percentual de pessoas muito incomodadas (% AI).	Q, MF e MA	Metodologia ICBEN Aplicação: entrevista pessoal ( <i>face-to-face</i> )	WECPNL	RA	%AI	764	Hangzhou Xiaoshan / China
Nguyen <i>et al.</i> (2013)	Verificar a relação dose-resposta em comunidades no entorno de três aeroportos.	Q e MF	Metodologia ICBEN Aplicação: entrevista pessoal ( <i>face-to-face</i> )	$L_{den}$	RA	%AI	3.487	Ho Chi Minh, Hanoi, e Da Nang / Vietnã
Ozcurt <i>et al.</i> (2014)	Avaliar quais os níveis de ruído aeronáutico a que comunidades, residentes no entorno do Aeroporto Ataturk em Istanbul.	MA e CP		$L_{den}$	RA			Ataturk / Turquia
Sadr <i>et al.</i> (2014)	Investigar o ordenamento territorial território, em torno do Aeroporto Internacional de Imam Khomeini (IKIA) em Teerã, através do emprego de Sensoriamento Remoto (RS), SIG e simulação de curvas de ruído com o <i>software</i> (INM), para estabelecer os potenciais efeitos do ruído das aeronaves nas comunidades do entorno do aeroporto.	MF, MA e CP	Metodologia ICBEN Aplicação: entrevista pessoal ( <i>face-to-face</i> )	$L_{den}$	RA		890	Imam Khomeini (IKIA) / Irã
Miller <i>et al.</i> (2014)	Elaborar uma pesquisa nacional para atualizar os modelos dose-resposta.	Q e MA	Metodologia ICBEN autopreenchimento (correio) e entrevista por telefone	<i>DNL</i>	RA	%AI		Aeroportos nos Estados Unidos

Notas: Q = aplicação de questionários / MF = medidas físicas de longo prazo em vários pontos / MA = elaboração de mapas acústicos / CP = cálculo da população exposta / (1) Revisão teórica de artigos e legislações americanas / (2) Pesquisa empírica. Principal fonte de informação para a análise: 5 entrevistas semi-estruturadas / (3) Análise baseada em bancos de dados de 34 aeroportos europeus / (4) Compilação de dados originais de estudos sobre incômodo provocado pelo ruído ambiente (aeroviário, tráfego rodoviário e ferroviário) realizados na Europa, América do Norte e Austrália / <sup>a</sup> P/I Procedimento e Instrumento / <sup>b</sup> Indicador para avaliação da relação exposição-efeito (relação dose-resposta) / <sup>c</sup> TA – Tamanho da amostra / \*  $LA_{eq}$  (8h) = 22h – 06h e  $LA_{eq}$  (16h) = 6h – 22h / RA = ruído aeronáutico / RR = Ruído rodoviário / RF = Ruído ferroviário

Com base na Tabela 15, foi possível observar que dos 18 estudos, que utilizaram indicadores acústicos, em 5 adotou-se somente o  $L_{den}$  e em 4 o  $L_{den}$  foi associado a outro indicador. Em uma pesquisa foi utilizada a métrica  $DNL$  sozinha e em 8 o  $DNL$  foi adotado em associação com outros indicadores, principalmente com o  $L_{den}$ . Destaca-se que em 4 estudos utilizou-se o WECPNL e em três o LAeq (24h). Desse modo, observa-se uma preferência pelo uso das métrica acústicas  $L_{den}$  e  $DNL$  nos estudos relacionados ao ruído ambiente, e por consequência nos estudos referentes ao ruído aeronáutico.

A Tabela 16 indica os estudos, mostrados na Tabela 15, que estabeleceram a relação entre o nível de ruído e o incômodo (dose e efeito), escolheram suas amostras no entorno de estações de monitoramento e controle do ruído aeronáutico dos aeroportos ou, no caso da ausência dessas estações, no entorno de locais previamente determinados, em que foram realizadas medidas *in situ* de longo prazo. Desse modo, posteriormente foi anotado ao questionário dos respondentes os valores dos níveis de ruído medidos sendo considerado o mesmo valor para residências próximas aos locais de medição.

Tabela 16. Pesquisas internacionais que determinaram o %AI

<b>Tipo de questionário</b>	<b>Autor(es)</b>
Entrevista pessoal/em campo ( <i>face-to-face</i> )	Schreckenber e Meis (2007) Lim <i>et al.</i> (2007) Lim <i>et al.</i> (2008) Elmehdi H.M (2008) Hong <i>et al.</i> (2009) Schreckenber <i>et al.</i> (2010) Nguyen <i>et al.</i> (2011) Guoqing <i>et al.</i> (2012) Nguyen <i>et al.</i> (2013) Sadr <i>et al.</i> (2014)
Autopreenchimento (correio) e entrevista por telefone.	Brink <i>et al.</i> (2008) Miller <i>et al.</i> (2014)
<b>Medidas físicas (<i>in situ</i>)</b>	<b>Autor(es)</b>
Os resultados das medidas foram incorporados aos questionários dos respondentes considerado o mesmo valor para residências próximas aos locais de medição.	Lim <i>et al.</i> (2007) Lim <i>et al.</i> (2008) Elmehdi H.M (2008) Hong <i>et al.</i> (2009)
As medidas <i>in situ</i> foram realizadas ao mesmo tempo em que o questionário era aplicado.	Nguyen <i>et al.</i> (2011) Nguyen <i>et al.</i> (2013) Sadr <i>et al.</i> (2014)
<b>Mapas acústicos</b>	<b>Autor(es)</b>
Os mapas acústicos foram utilizados para a identificação dos endereços dos respondentes no interior das diferentes curvas de ruído.	Schreckenber e Meis (2007) Brink <i>et al.</i> (2008) Schreckenber <i>et al.</i> (2010) Guoqing <i>et al.</i> (2012) Miller <i>et al.</i> (2014)

Na Tabela 16 também estão indicados os estudos que realizaram as medidas *in situ* ao mesmo tempo em que o questionário era aplicado. Além disso, apresenta as pesquisas em que foram elaborados mapas acústicos e com uso de um *software* SIG, foi possível identificar em qual curva de ruído os endereços dos respondentes se encontravam. Desse modo, foram atribuídos a todos os endereços no interior de uma determinada curva isofônica, o valor do nível de intensidade sonora dessa curva.

Dessa forma, para se elaborar a relação dose-resposta o incômodo tem sido avaliado pela escala de incômodo proposta pelo ICBEN e o nível de ruído aeronáutico obtido pelas medidas *in situ* ou por meio de simulações. Essa análise foi importante para orientar o método adotado nesta tese para a determinação do indicador %AI para um aeroporto brasileiro.

As pesquisas internacionais analisadas reforçaram a necessidade de melhor avaliar o incômodo sonoro, que causa distúrbios significativos às populações que ficam expostas ao ruído aeronáutico. Essas pesquisas adotaram a relação dose-resposta e a aplicação de questionários, formatados com o padrão estabelecido pelo ICBEN, com o objetivo de investigar o incômodo sonoro causado pela exposição ao ruído proveniente da operação de aeronaves. Os estudos também avaliaram os distúrbios associados a esse incômodo no meio ambiente, na saúde e na qualidade de vida.

### **3.6.2 Estudos recentes brasileiros**

No Brasil, alguns estudos já estão sendo desenvolvidos para a avaliação dos níveis de incômodo percebidos por residentes no entorno de aeroportos. Eller (2000) apresentou pesquisa realizada junto às imobiliárias da cidade de Guarulhos. Aplicou questionários e os resultados apontaram perdas no valor de mercado dos imóveis residenciais situados na área de ruído gerado pelas aeronaves operando no Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos (AISP). Concluiu que as operações de pouso e decolagem de aeronaves no AISP, têm ocasionado perdas de valor dos imóveis residenciais situados em áreas de impacto. Estas perdas, indicadas pela maioria dos respondentes (68%), ficam acima de 21%, em média.

Abdala (2005) elaborou um estudo que teve por objetivo o desenvolvimento de um método para dimensionar curvas de ruído para zoneamento das áreas de entorno de pequenos aeródromos, que permita uma compatibilização entre os requisitos previstos nas legislações aeronáutica e ambiental. Como resultado, o método proposto para o dimensionamento de curvas de ruído para pequenos aeródromos proporcionou vantagens em relação ao apresentado na Portaria N° 1141/GM5 (1987) sendo compatível com o previsto na NBR 10.151 (ABNT, 2000). Também foi verificado que as curvas de nível de ruído, obtidas com o método proposto, apresentaram dimensões superiores às resultantes das simulações, o que torna o método alinhado com a filosofia conservativa dos planos básicos de zoneamento de ruído.

Nunes (2005) realizou uma avaliação do ruído aeronáutico nas proximidades do Aeroporto Internacional Salgado Filho, em Porto Alegre/RS. Medições acústicas, aplicação de questionários e entrevistas foram efetuadas. Também foi realizada a análise das características construtivas dos prédios e observações de comportamento e de ocupação dos ambientes nas Escolas. Foram aplicados 557 questionários, distribuídos entre alunos e professores de três escolas. Os resultados dos questionários indicaram um grande incômodo manifestado por alunos e professores, que convivem em ambientes ruidosos, podendo ter relações com possíveis problemas vocais e auditivos, em função da necessidade da elevação no volume da voz. Os níveis de pressão sonora medidos também se apresentaram em desconformidade com a legislação. Os resultados dos questionários indicaram a sala de aula como o local de maior incômodo.

Nabinger (2005), realizou medições acústicas do ruído proveniente de aeronaves operando no Aeroporto Internacional Salgado Filho, em Porto Alegre/RS. O total de eventos registrados foi de 697, gerados por 62 modelos diferentes de aeronaves. O impacto sonoro, causado por ruído aeronáutico, foi avaliado pelos seguintes indicadores de ruído:  $L_{eq}$ ,  $L_{max}$ ,  $L_{min}$  e SEL. Além disso, também se realizou análises espectrais e verificou-se que o fluxo geral de aeronaves possui significativa influência nos níveis de ruído emitidos e deve ser levado em consideração nas abordagens de cunho acústico, para o aeroporto Salgado Filho. Concluiu que os níveis diários de exposição ao ruído aeronáutico não atendem aos níveis recomendados pela NBR 10.151 (ABNT, 2000).

Valim (2006) elaborou um estudo para identificar e analisar as diversas formas de atenuação do ruído aeronáutico, a fim de subsidiar a medida que seja mais adequada no aeroporto em estudo, visando a redução do impacto de sua incidência. Para tanto, foram simuladas curvas de ruído para o Aeroporto Internacional de Brasília (SBBR) e testadas alternativas possíveis para a redução do ruído no momento da decolagem e do pouso das aeronaves.

Carvalho Jr (2008), realizou uma pesquisa que teve por objetivo analisar a percepção de incômodo causado pelo ruído aeronáutico em regiões próximas ao Aeroporto Internacional de Brasília. O estudo foi dividido em duas partes. Na primeira, foram realizadas medições acústicas em quatro locais distribuídos em cidades no entorno do aeroporto. Os indicadores de ruído utilizados foram: IPR (índice ponderado de ruído),  $L_{eq}$ ,  $L_{max}$ ,  $L_{min}$  e SEL. Na segunda parte, aplicou-se, um questionário adaptado do projeto EUROCONTROL, segundo orientações do ICBEN, a um total de 105 pesquisados que residiam próximo ao SBBR. Os resultados das medidas de campo indicaram regiões com qualidade sonora comprometida e com potencial de incômodo, principalmente no período noturno. Da análise dos questionários obteve-se que os pesquisados do sexo feminino mostraram-se mais incomodados com o ruído de automóveis e aviões e percebem de forma mais vigorosa o barulho do tráfego rodoviário e aéreo. Também foi obtido que em regiões onde o ruído de fundo era menor o incômodo percebido pelos respondentes foi maior.

Morais (2008) desenvolveu uma pesquisa para verificar a eficiência das barreiras acústicas e seu dimensionamento a custos acessíveis quando implantadas ao longo da pista de pouso e decolagem dos aeroportos, como forma de reduzir a interferência produzida pelo ruído emitido pelas aeronaves no solo, durante estes procedimentos, no sono da população situada no entorno da pista. A métrica adotada para este estudo é o nível de exposição sonora (SEL) para um único evento, que está correlacionado com a probabilidade de uma pessoa despertar durante o pouso ou a decolagem de uma aeronave. O estudo de caso partiu de uma situação real para o Aeroporto Internacional de Brasília. Foram desenvolvidas simulações na intenção de compreender o processo de emissão e propagação do ruído na região próxima à pista.

Rocha (2009), propôs a elaboração de um instrumento para mapear a influência sonora dos aeroportos, com base nos critérios da NBR 10.151 (ABNT, 2000). A este instrumento resolveu denominar de Zoneamento de Influência Sonora (ZIS) e foi aplicado, como exemplo, ao entorno do aeroporto de Congonhas. Como resultado de seu estudo, foram identificados uma grande quantidade de pessoas e residências expostas a níveis de ruído muito acima dos recomendados pela NBR 10.151 (ABNT, 2000). O mais grave é o grande número de moradores residentes em uma região onde, segundo a NBR 10.151 (ABNT, 2000), os níveis sonoros são impróprios até para áreas industriais, ou seja, com níveis de ruído variando entre 70 dB(A) e 60 dB(A). Além dos moradores, os demais frequentadores da região em torno de Congonhas também são expostos a níveis de ruído desconfortáveis. Principalmente os trabalhadores e usuários de equipamentos urbanos destinados a atividades sensíveis ao ruído, como hospitais e escolas.

Carvalho (2010) apresentou duas ferramentas que podem ser utilizadas no controle de ruído aeroportuário de acordo com a abordagem equilibrada: o Indicador de Desbalanceamento Sonoro (IDS) e os Coeficientes de Sensibilidade. O IDS é um valor indicador representativo de quanto um aeroporto está desbalanceado em relação a sua condição ideal. O objetivo do IDS é ajudar na identificação daqueles aeroportos que precisam priorizar ações de mitigação para ruído de aeronaves. Com uso de modelagem e elaboração de mapas acústicos, apresentou um panorama comparativo da situação sonora de quatro dos principais aeroportos brasileiros a partir das metodologias adotadas, o IDS e os Coeficientes de Sensibilidade. Os resultados obtidos indicaram que os fatores mais relevantes ao incômodo sonoro destes aeroportos se relacionam com as operações com os modelos de aeronaves mais antigas e ruidosas.

Neto (2010) realizou uma pesquisa que teve por finalidade analisar a extensão do impacto sonoro produzido pelas operações de aeronaves no Aeroporto de São José dos Campos - SP. O estudo também buscou avaliar o conforto acústico da população localizada na área de influência do aeroporto. O objetivo geral do trabalho foi verificar se o nível de ruído produzido pelo tráfego aéreo está de acordo com os níveis estabelecidos pelo Ministério da Aeronáutica, e identificar o grau de incômodo sonoro e a percepção atual da população com relação ao impacto sonoro. Para atingir esse objetivo, a metodologia adotada foi baseada na elaboração de mapas acústicos e aplicação de questionários a 129 respondentes que residem próximos ao aeroporto. A Figura 11 expressa as curvas

isofônicas obtidas, com base no indicador de ruído *DNL*. Dos questionários aplicados, 48% dos respondentes identificaram o ruído proveniente do tráfego aéreo, como o que mais chamava a atenção e 42% apontaram o ruído aeronáutico como o que mais incomodava entre as opções de fontes de ruído listadas no questionário (NETO, 2010).

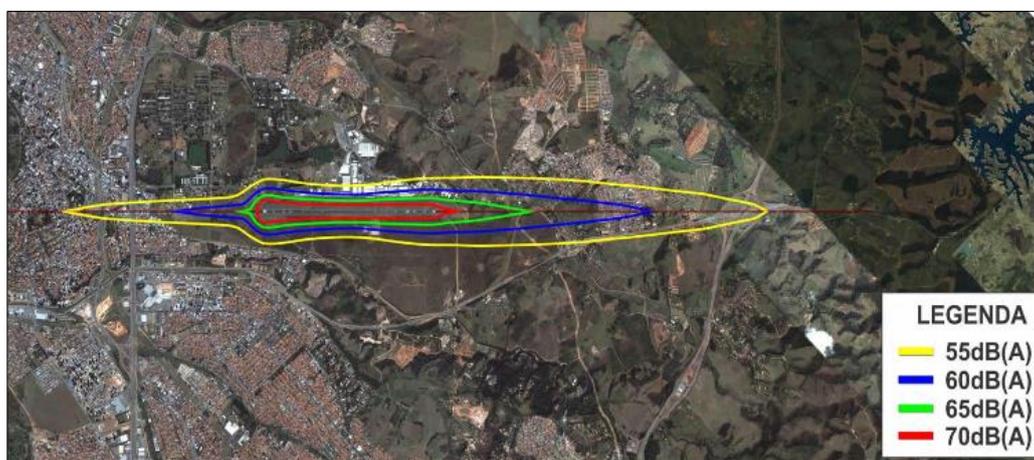


Figura 11. Curvas isofônicas calculadas em *DNL*. Fonte: Neto (2010).

Helena (2010) realizou um estudo que propõe alternativas para o zoneamento aeroportuário baseado na Norma Brasileira NBR 10.151 (ABNT, 2000). Apresenta também, uma análise comparativa entre os índices de *encroachment*, através de um Sistema de Informação Geográfica para dois aeroportos brasileiros: o Aeroporto de Congonhas e de Recife, a fim de adequar o zoneamento municipal ao zoneamento aeroportuário. O *encroachment* pode ser considerado como a existência de uma significativa parcela da população submetida aos efeitos adversos do ruído, mesmo fora das áreas de restrição de uso, estabelecidas pelo zoneamento aeroportuário. Também elaborou mapas acústicos e determinou o número de pessoas altamente incomodadas dentro de cada curva de ruído, com uso do algoritmo proposto por Schultz (1978). Adotou a lógica *fuzzy* para relacionar indicadores de ruído (*DNL*,  $L_{eq}$  dia e  $L_{eq}$  noite) ao incômodo. Com isso, conseguiu elaborar um modelo, baseado nos tipos de áreas da NBR 10.151 (ABNT, 2000), que indica redução do percentual de pessoas altamente incomodadas, e ainda, limita o *encroachment* e os efeitos adversos do ruído sobre a população. Entretanto, Helena (2010) destaca que se trata de um trabalho preliminar que deverá ser validado por meio da aplicação de questionários a população submetida a elevados níveis de exposição sonora.

Barbosa (2011) realizou uma pesquisa que teve por objetivo investigar as opiniões de uma população composta por indivíduos civis e militares que residem próximos da Base Aérea de Santa Maria (BASM), em relação a diversos aspectos, tais como, a interferência do ruído das aeronaves na vida diária, os efeitos gerais do ruído das aeronaves e as atitudes dos indivíduos perante a exposição ao ruído dos aviões. A metodologia adotada foi de natureza qualitativa e quantitativa. Desenvolveu-se um questionário estruturado que foi aplicado a 400 indivíduos. Tanto civis quanto militares mostraram-se igualmente afetados pelas operações das aeronaves e a comparação das pontuações individuais de civis e militares no fator incômodo mostrou que os civis se sentem mais incomodados que os indivíduos militares.

Já Dinato (2011) elaborou um estudo com o objetivo de verificar como a população, no entorno do Aeroporto de Ribeirão Preto, é afetada pela operação das aeronaves. O autor destaca que houve um aumento do fluxo de aeronaves em operação no aeroporto. No estudo, ainda realizou-se medidas acústicas e determinação do percentual de pessoas expostas. No entanto, não informou qual algoritmo adotou para o cálculo do número de pessoas afetadas e nem como fez a distribuição dessa população entre as diferentes curvas de ruído.

Caldas (2013) apresentou uma proposta para a implementação de uma Política de Gestão Integrada dos Impactos do Ruído Aeronáutico. Para tanto, foi realizada inicialmente uma análise das características do planejamento urbano e aeroportuário, observando-se as orientações legais vigentes e os parâmetros adotados para sua implementação. Conclui que os impactos relacionados ao ruído aeronáutico é um problema a ser adequadamente dimensionado no sentido de promover a manutenção e ampliação da capacidade da infraestrutura aeroportuária, conforme previsto nos planos governamentais para ampliação e modernização da infraestrutura de transportes do país dentro de parâmetros ambientalmente sustentáveis.

Dos estudos brasileiros até aqui apresentados, tem-se que a pesquisa de Eller (2000) baseou-se na aplicação de questionários para avaliação do valor da perda imobiliária em áreas próximas ao AISP (Aeroporto Internacional de São Paulo). O trabalho de Barbosa (2011) também adotou o uso de questionários e avaliou a interferência do ruído das aeronaves na vida diária de 400 pessoas. Já o trabalho de Nabinger (2005) tem por base

medições acústicas, para caracterização dos níveis de ruído aeroviário, e classificação com as normas vigentes no país. Nunes (2005) e Carvalho Jr (2008) aplicaram questionários e também efetuaram medidas físicas para caracterização do ambiente sonoro. Valim (2006) apresentou um estudo relacionado aos procedimentos de atenuação de ruído nas operações de pouso e decolagens e Morais (2008) elaborou uma pesquisa relacionada ao uso de barreiras acústicas para atenuação do ruído aeronáutico.

Por sua vez, o trabalho de Neto (2010) teve por base o uso de mapas de ruído e aplicação de questionário. Rocha (2009), Heleno (2010) e Dinato (2011) também elaboraram mapas de ruído e determinaram o percentual de pessoas altamente incomodadas, com auxílio de uma ferramenta de SIG. Das pesquisas que se dispuseram a avaliar o nível de incômodo sonoro, somente o estudo de Carvalho Jr (2008) adotou a padronização proposta pelo EUROCONTROL / ICBEN.

Dessa maneira, a revisão da literatura nacional apresentada mostra que existe uma lacuna a ser preenchida no Brasil referente a pesquisas que relacionem os efeitos adversos do ruído e incômodo por meio das relações dose-resposta, como indica a OMS. Até o presente ano, nenhum trabalho brasileiro teve por objetivo avaliar os níveis de incômodo induzidos pelo ruído aeronáutico, tendo por base o desenvolvimento de relações dose-respostas como se propõe nessa pesquisa. A Tabela 17 resume os estudos realizados no Brasil e apresentados nesta seção.

Tabela 17. Resumo dos estudos desenvolvidos no Brasil.

Autor	Modalidade de pesquisa / Objetivo	P/I <sup>a</sup>	TA <sup>b</sup>	Indicador acústico	Aeroporto
Eller (2000)	Dissertação / Avaliar a perda percentual do valor dos imóveis residenciais atingidos pelo ruído proveniente da operação de aeronaves no Aeroporto Internacional de São Paulo.	Q			Aeroporto Internacional de São Paulo (SP)
Abdala (2005)	Dissertação / Desenvolvimento de um método para dimensionar curvas de ruído para zoneamento das áreas de entorno de pequenos aeródromos, que permita uma compatibilização entre os requisitos previstos nas legislações aeronáutica e ambiental.	MA		SEL	Aeroporto de Ponta Grossa (PR)
Nunes (2005)	Tese / Avaliação do ruído aeronáutico, nas proximidades do Aeroporto Internacional Salgado Filho, em Porto Alegre/RS com um estudo em escolas localizadas dentro da Zona I do Plano Específico de Zoneamento de Ruído.	Q e MF	557	$DNL$ , $L_{den}$ , NEF e WECPNL.	Aeroporto Internacional Salgado Filho (RS)
Nabinger (2005)	Dissertação / Levantar e analisar, sob diferentes aspectos, dados sobre o ruído aeronáutico oriundos de atividades do Aeroporto Salgado Filho, registrados dentro da Área II, do PEZR, em Porto Alegre.	MF		$L_{eq}$ , $L_{max}$ , $L_{min}$ e SEL.	Aeroporto Internacional Salgado Filho (RS)
Valim (2006)	Dissertação / Identificação e análise das diversas formas de atenuação do ruído aeronáutico, a fim de subsidiar a medida que seja mais adequada no aeroporto em estudo, visando a redução do impacto de sua incidência.	MA		$DNL$	Aeroporto Internacional de Brasília (DF)
Carvalho Júnior. (2008)	Dissertação / Analisar a percepção de incômodo causado pelo ruído aeronáutico em regiões próximas ao Aeroporto Internacional de Brasília (SBBR).	Q e MF	105	IPR, $L_{eq}$ , $L_{max}$ , $L_{min}$ e SEL.	Aeroporto Internacional de Brasília (DF)
Morais (2008)	Tese / Verificar a eficiência das barreiras acústicas e seu dimensionamento a custos acessíveis quando implantadas ao longo da pista de pouso e decolagem dos aeroportos, como forma de reduzir a interferência produzida pelo ruído emitido pelas aeronaves no solo, durante estes procedimentos, no sono da população situada no entorno da pista.	MA		SEL.	Aeroporto Internacional de Brasília (DF)
Rocha (2009)	Dissertação / Elaborar um instrumento para mapear a influência sonora dos aeroportos, com base nos critérios da NBR 10.151 (Zoneamento de Influência Sonora - ZIS).	MA e CP		$DNL$ e SEL	Aeroporto de Congonhas (SP)
Carvalho (2010)	Dissertação / Propôs ferramentas para auxiliar à aplicação da Abordagem Equilibrada. Estas ferramentas seriam o Indicador de Desbalanceamento Sonoro para o impacto de ruído de aeronaves e os Coeficientes de Sensibilidade.	MA		$DNL$ , $L_d$ e $L_n$ em dB(A)	Congonhas (SP), Recife (PE), Pampulha (MG) e Curitiba (PR).
Neto (2010)	Dissertação / Analisar a extensão do impacto sonoro produzido pelas operações de aeronaves no Aeroporto de São José dos Campos.	MA	129	$DNL$	Aeroporto de São José dos Campos (SP)
Heleno (2010)	Dissertação / Propor alternativas para o zoneamento aeroportuário baseado na Norma Brasileira NBR 10.151 (ABNT, 2000).	MA e CP (1)		$DNL$ , $L_d$ e $L_n$ em dB(A)	Aeroportos de Congonhas (SP) e Recife (PE).

Barbosa (2011)	Dissertação / Investigar as opiniões de uma população composta por indivíduos civis e militares que residem próximos da Base Aérea de Santa Maria (BASM).	Q	400		Base Aérea de Santa Maria (BASM – RS)
Dinato (2011)	Tese / Verificar como a população, no entorno do Aeroporto de Ribeirão Preto, é afetada pela operação das aeronaves.	MA e MF		<i>DNL</i>	Aeroporto de Ribeirão Preto (SP)
Caldas (2013)	Tese / Avaliar a evolução da legislação brasileira para gerenciamento do ruído aeronáutico, apresentando os elementos considerados necessários para formulação de uma política de gestão integrada desses impactos no Brasil, apontando objetivos, instrumentos, metas e meios para aplicação das medidas de controle determinadas pela legislação e normas técnicas relativas ao tema.	(2)			

Notas: Q = aplicação de questionários / MF = medidas físicas de longo prazo em vários pontos / MA = elaboração de mapas acústicos / CP = cálculo da população exposta / (1) Cálculo do número de pessoas altamente incomodadas (%AI) dentro de cada curva de ruído pelo método *fuzzy* / (2) Proposta de uma Política de Gestão Integrada dos Impactos do Ruído Aeronáutico / P/I<sup>a</sup>: Procedimento e instrumento / TA<sup>b</sup> – Tamanho da amostra

## CAPÍTULO 4. MÉTODO

O método, aqui proposto, possui por finalidade permitir avaliar a relação entre níveis de ruído aeronáutico e incômodo sonoro percebido por comunidades expostas. Esse método é sustentado em modelagens, com elaboração de mapas acústicos, e avaliação do incômodo sonoro fornecendo dados quantitativos e qualitativos necessários à geração da relação dose-resposta.

Contribuiu na estruturação do método a revisão bibliográfica realizada dos estudos internacionais e apresentados nas Tabelas 15 e 16. Por exemplo, os estudos mostrados na Tabela 15, em que o %AI foi determinado, foi observado uma preferência pela aplicação de questionário do tipo entrevista pessoal (*face-to-face*) e o indicador de ruído obtido por meio de medidas físicas *in situ*. Nesta tese, o método de aplicação do questionário escolhido foi o do tipo por e-mail, ou seja, uma pesquisa *on-line*. Em nenhum dos estudos, mostrados na Tabela 15, esse tipo de aplicação foi utilizado.

Para a obtenção do indicador acústico *DNL* foi adotada uma metodologia adaptada dos estudos que utilizaram os mapas acústicos para esse fim (Schreckenber e Meis, 2007; Brink *et al.*, 2008; Schreckenber *et al.*, 2010 e Guoqing *et al.*, 2012). Em vez da utilização do endereço como filtro, para a localização no mapa acústico e posterior relação com o indicador acústico, nesta tese o filtro será o CEP (Código de Endereçamento Postal).

O método para a determinação do %I e %AI está estruturado em 5 fases mostradas na Tabela 18 e engloba: modelagem com elaboração de mapas acústicos na métrica *DNL*; medidas físicas para calibração dos mapas acústicos; cálculo da população exposta, em diferentes curvas de ruído, com auxílio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e dados censitários; aplicação de questionários (com base em metodologia específica para avaliação de incômodo sonoro); elaboração do modelo dose-resposta para a determinação do %I e %AI.

Também foi realizada uma avaliação do impacto sonoro causado pelo ruído aeronáutico, no período noturno, em áreas no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília, com uso do indicador  $L_n$ . A Tabela 19 mostra os procedimentos necessários para essa avaliação.

Tabela 18 Estrutura das fases do método para a determinação do %I e %AI

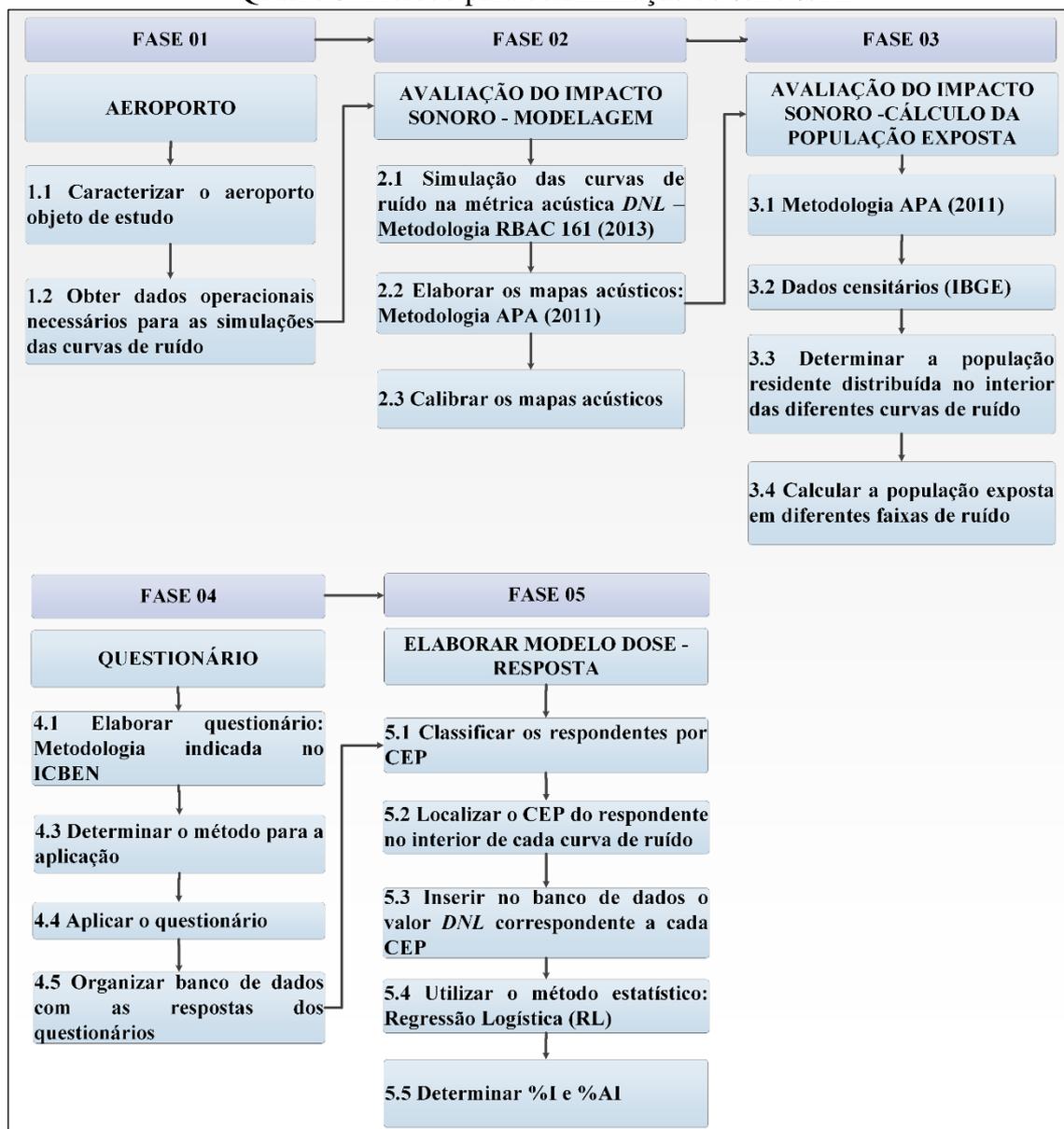
Fase 01 - Aeroporto	<p>1.1 Caracterizar o aeroporto objeto de estudo;</p> <p>1.2 Obter dados operacionais necessários para as simulações das curvas de ruído:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Período para realização das simulações;</li> <li>• Número de movimentos anuais (pouso + decolagens);</li> <li>• Percentuais de operações diurnas/noturnas</li> <li>• Característica(s) da(s) pista(s) de pouso e decolagem;</li> <li>• Rotas das aeronaves (Consultar as cartas de voo do aeródromo)</li> <li>• Composição da frota de aeronaves.</li> <li>• Escolha da métrica acústica: <i>DNL</i></li> </ul>
Fase 02 – Avaliação do impacto sonoro – Modelagem	<p>2.1 Simular as curvas de ruído:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso do <i>software</i> INM 7.0d</li> <li>• Metodologia indicada no RBAC 161 (2013);</li> </ul> <p>2.2 Elaborar mapas acústicos: Metodologia indicada pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e Diretiva Europeia 2002/49/CE;</p> <p>2.3 Calibrar os mapas acústicos por meio de medidas físicas ou com dados provenientes dos sistemas de monitoramentos dos aeroportos (caso exista).</p>
Fase 03 - Avaliação do impacto sonoro – cálculo da população exposta	<p>3.1 Metodologia indicada pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) e Diretiva Europeia 2002/49/CE;</p> <p>3.2 Obter dados censitários da população residente no entorno do aeroporto;</p> <p>3.3 Determinar a população residente distribuída no interior das diferentes curvas de ruído;</p> <p>3.4 Calcular a população exposta em diferentes faixas de ruído.</p>
Fase 04 - Questionário	<p>4.1 Elaborar o questionário: método ICBEN;</p> <p>4.2 Determinar o método para a aplicação;</p> <p>4.3 Aplicar o questionário;</p> <p>4.4 Organizar banco de dados com as respostas dos questionários</p>
Fase 05 – Elaborar modelo dose - resposta	<p>5.1 Fazer o filtro pelo CEP do respondente;</p> <p>5.2 Localizar o CEP do respondente no interior de cada curva de ruído;</p> <p>5.3 Inserir no banco de dados o valor <i>DNL</i> correspondente a cada CEP;</p> <p>5.4 Utilizar o método estatístico: Regressão Logística (RL);</p> <p>5.5 Determinar %I e %AI.</p>

Tabela 19 Procedimentos para avaliação do impacto sonoro noturno

Avaliação do impacto sonoro noturno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simular curvas de ruído, na métrica <math>L_n</math>;</li> <li>• Elaborar mapas acústicos;</li> <li>• Calcular o número de pessoas expostas;</li> <li>• Estimar o percentual de população com distúrbios no sono com uso de algoritmos adotados na CE;</li> <li>• Comparar os resultados com a NBR 13.368 (ABNT, 1995);</li> <li>• Comparar os resultados das simulações com os resultados dos questionários aplicados.</li> </ul>
-------------------------------------	---

O Quadro 3 resume o método para a determinação do %I e %AI. Em seguida, são apresentadas as metodologias para a geração das curvas de ruído, elaboração dos mapas acústicos, cálculo da população exposta e metodologia referente ao questionário.

Quadro 3. Método para determinação do %I e %AI



## 4.1 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DAS CURVAS DE RUÍDO

### 4.1.1 Modelo Integrado de Ruído (*Integrated Noise Model – INM*)

Para a elaboração das curvas de ruído foi adotada a metodologia prevista no RBAC 161 (2013) que recomenda a simulação de 5 (cinco) curvas (65, 70, 75, 80 e 85), na métrica *DNL*, para aeródromos com média anual de movimento de aeronaves dos últimos 3 (três) anos superior a 7.000 (sete mil), como é o caso do SBBR. O RBAC 161 (2013) também estabelece que as curvas de ruído deverão ser calculadas por meio de programa (*software*) computacional que utilize

metodologia matemática apropriada para a geração de curvas na métrica *DNL*, considerando como período noturno o período compreendido entre 22h e 7h do horário local.

Desse modo, nesta tese as curvas de ruído do SBBR foram geradas com uso do *software* de modelagem INM 7.0d, ano 2013, desenvolvido pelo FAA (*Federal Aviation Administration – EUA*). O INM foi projetado para estimar os efeitos médios de longo prazo utilizando um *input* baseado em uma média anual e utiliza basicamente as informações de dois bancos de dados internos, os quais foram extraídos de procedimentos utilizados na certificação de ruído, a saber (Abdala, 2005, p.17):

- Parâmetros de desempenho de aeronaves, tais como potência, velocidade, flaps, pesos máximos de pouso e decolagem, etc., os quais são utilizados para o cálculo de trajetórias;
- Níveis de ruído produzidos por aeronaves, obtidos experimentalmente nos processos de certificação de aeronaves quanto ao ruído. Este banco de dados é constituído de centenas de tabelas, denominadas NPD (*Noise, Power and Distance*)<sup>14</sup>, que relacionam os níveis de ruído com a potência do motor da aeronave e a distância entre o observador e a aeronave. Para cada aeronave existem três tabelas NPD, que possuem informações expressas em termos de SEL(A), LA<sub>max</sub> e EPNL.

O programa inicia a sua rotina de cálculo determinando a trajetória de todas as aeronaves desejadas. Estas trajetórias são formadas por pequenos segmentos sucessivos, nos quais os parâmetros de potência, velocidade e posição, entre outros, são determinados. Para tanto, são necessárias as seguintes informações: temperatura de referência do aeródromo; altitude do aeródromo; distância a ser cumprida pelas etapas de voo de cada uma das aeronaves; peso de decolagem; comprimento(s) de pista(s); incluindo as coordenadas cartesianas ou geográficas das cabeceiras; rotas de pouso e decolagem; e modelos de aeronaves. Além disso, o INM realiza o somatório do ruído produzido por todos os segmentos de voo da aeronave mediante: definição da área de entorno do aeródromo; número de movimentos diurnos e noturnos de aeronaves dentro de cada uma das rotas; métrica de incômodo a ser calculada; valores dos níveis de ruído desejados. Após incluir todas essas informações, o INM calcula os níveis de ruído para cada

---

<sup>14</sup> As potência apresentadas nas tabelas NPD, na verdade se referem aos empuxos (normalmente em libras) fornecidos pelos motores de aeronaves (Abdala, 2005, p. 17).

ponto na área estipulada pelo usuário, na unidade de incômodo desejada (Abdala, 2005, p.18). A Figura 12 apresenta o fluxograma simplificado do procedimento de cálculo do INM.

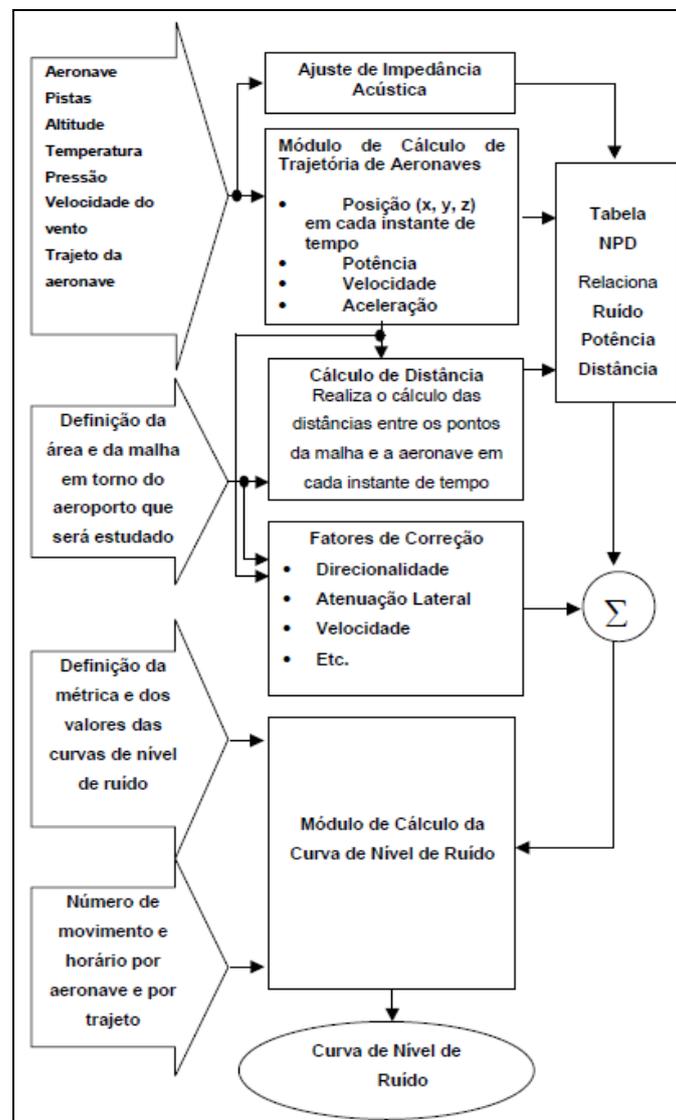


Figura 12 Esquema do procedimento de cálculo do INM  
Fonte: Abdala (2005, p. 20)

#### 4.1.2 Dados de entrada (*inputs*) necessários para a simulação

Para a simulação das curvas de ruído são necessários vários dados de entradas tais como: elevação, velocidade média anual do vento, temperatura média anual de referência etc. Esses dados devem ser obtidos em fontes oficiais do governo ou com a própria empresa operadora do aeroporto. A Tabela 20 apresenta esses dados obtidos no sítio do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA – AIM)<sup>15</sup> e junto à INFRAMÉRICA, empresa operadora do SBBR.

<sup>15</sup> DECEA – AIM: Informação disponível no sítio: < <http://www.aisweb.aer.mil.br/?i=publicacoes> > no campo AIP-BRASIL.

Tabela 20. Dados gerais do SBBR

Nome do aeródromo	Aeroporto Internacional de Brasília Juscelino Kubitschek
Operador Aeroportuário	INFRAMÉRICA
Cidade	Brasília
Elevação do aeródromo	1066 m
Velocidade média do vento	15 km/h
Designador ICAO	SBBR
Coordenadas geográficas (WGS 84)	47° 54' 55" W / 15° 51' 38" S
Estado	Distrito Federal (DF)
Temperatura de referência	30° C

As curvas de ruído foram elaboradas com base na operação anual do SBBR para o ano de 2012, sendo considerado período diurno o período compreendido entre 07h e 22h do horário local e período noturno entre 22h e 7h. Para o ano de 2012 foram estimadas 202.000 operações anuais, de pousos e decolagens, e uma média de 553 movimentos diários. A Tabela 21 mostra os dados operacionais e a Tabela 22 os dados referentes às duas pistas do SBBR (ver Figura 13). A composição da frota de aeronaves e outros dados de entradas utilizados estão destacados no Apêndice “B”.

Tabela 21. Dados operacionais

Dado operacional	Total
Número de movimentos anual (pousos + decolagens)	201.714
Percentual de operações diurnas	85%
Percentual de operações noturnas	15%

Fonte: INFRAMÉRICA

Tabela 22. Dados das pistas

Pista	Comprimento	Cabeceiras			
		Cabeceira	Altitude (m)	Latitude*	Longitude*
11L/29R	3.200m	11L	1051	15° 51' 49 S	47° 55' 39 W
		29R	1060	15° 51' 42 S	47° 53' 52 W
11R/29L	3.300m	11R	1066	15° 52' 50 S	47° 56' 24 W
		29L	1042	15° 52' 43 S	47° 54' 33 W

Fonte: Carta do aeródromo SBBR (ADC). Disponível no sítio do Serviço de Informação Aeronáutica: <<http://www.aisweb.aer.mil.br/?i=publicacoes>>. Acesso em jan. 2014 / \* Sistema de coordenadas WGS 84

#### 4.1.2.2 Validação das curvas de ruído

Após a confecção das curvas de ruído, o RBAC 161 (2013) não recomenda a validação das curvas com o resultado proveniente de medidas físicas. Todavia, a validação é essencial para conferir a precisão e garantir confiabilidade às curvas simuladas. Nesta tese, a validação ocorreu por meio

de medidas físicas de longa duração (24h). Essas medidas são provenientes das Estações de Monitoramento de Ruído (EMR's) instaladas em pontos que representam as principais áreas afetadas pela operação do SBBR, e de forma a captar com precisão e confiabilidade o ruído gerado pelas aeronaves.

As EMR's estão equipadas com sonômetros do tipo CUBE *Smart Noise Terminal* da 01 dB. Esse medidor é controlado tanto por um teclado integrado e uma tela com alta resolução e contraste, quanto remotamente usando comunicação sem fio. Esse sistema é aplicado com sucesso para medição de ruído aeronáutico, sendo atualmente utilizado no Brasil no aeroporto Santos Dumont, no Rio de Janeiro, desde março de 2013. Os dados obtidos pelas EMR's foram processados com uso do *software* dBTRAIT, da 01 dB, que permite retorno do histórico no tempo, transferência de dados, codificação de fontes, cálculos estatísticos, dentre outras possibilidades. Para a validação dos mapas acústicos é necessário que a diferença entre os valores calculados (retirados dos mapas acústicos elaborados) e os valores medidos não ultrapasse  $\pm 2\text{dB(A)}$ , conforme indica a APA (2011).

Os dados utilizados das EMR's foram obtidos durante os meses de fevereiro e março de 2015. A Tabela 23 mostra as coordenadas e a Figura 13 mostra a localização das EMR's, das pistas e cabeceiras do SBBR. Cabe destacar que estão previstas a instalação de mais 3 estações de monitoramento para o SBBR.

Tabela 23. Locais das EMR's do SBBR

Ponto	Local	Latitude	Longitude
EMR1	Quartel de Bombeiros Núcleo Bandeirante	15° 52' 7 S	47° 57' 44 W
EMR2	CINDACTA	15° 51' 27 S	47° 54' 9 W
EMR3	Seminário – Lago Sul	15° 51' 42 S	47° 52' 17 W

\* Sistema de coordenadas WGS 84

De acordo com a NBR 10.151 (ABNT, 2000), o período noturno foi considerado entre 22 h e 7 h do dia seguinte, o diurno foi considerado entre 7 e 22 horas. Os parâmetros sonoros foram avaliados:  $L_d$ ,  $L_n$ , e  $DNL$

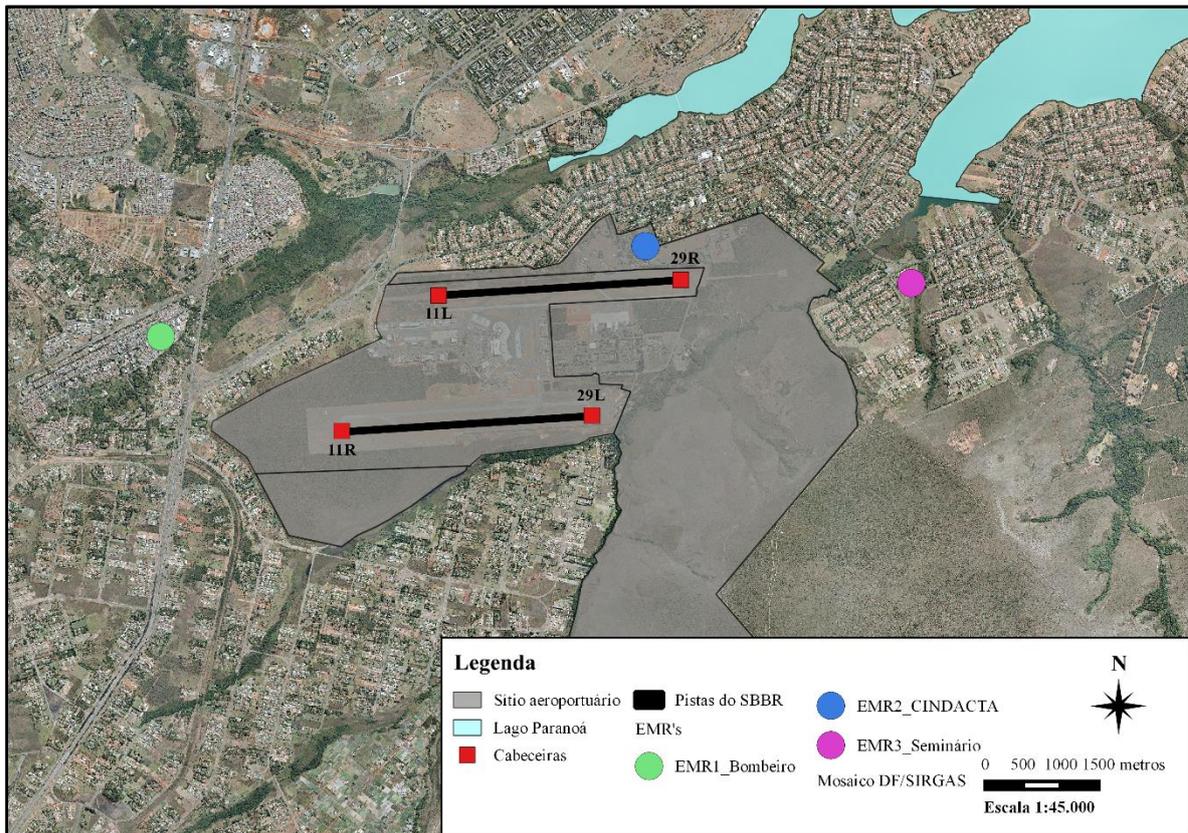


Figura 13 Localização dos pontos de medidas

## 4.2 METODOLOGIA PARA CÁLCULO DA POPULAÇÃO EXPOSTA A PARTIR DOS MAPAS ACÚSTICOS

A metodologia para o cálculo da população exposta ao ruído aeronáutico foi baseada no método indicado pela APA (2011) onde esse cálculo deve ser realizado a partir dos mapas acústicos. Foram calculadas as populações expostas para o ano de 2014 e para as métricas *DNL* e  $L_n$ . Os seguintes *softwares*, e base de dados, foram utilizados para o cálculo da população exposta ao ruído aeronáutico:

- (1) *Software* QGIS versão 2.8;
- (2) *Software* Pacote Office: Plataforma Excel;
- (3) Dados geométricos das subsecções estatísticas dos Setores Censitários, em formato *shape* (*shp*) e informação para cada subsecção estatística (dados do Censo 2010, IBGE);
- (4) Dados geométricos dos mapas acústicos para o indicador acústico *DNL* em formato *shape* (*shp*);
- (5) Extração de dados populacionais dos arquivos, em formato *shape* (*shp*);
- (6) Manual descritivo do Censo 2010 do IBGE.

Primeiramente, as curvas de ruído, geradas no INM, devem ser sobrepostas com a camada de base censitária. Em seguida, são criados arquivos em separado para cada curva de ruído e procede-se com a intersecção de cada um dos arquivos das curvas de ruído com a base de dados censitária. Para tanto, deve-se selecionar no QGIS, os menus *Vetor > Geoprocessar > Intersecção* para obter um novo arquivo que possui a relação entre o nível de ruído de cada curva e o respectivo dado censitário.

Após esses primeiros procedimentos, deve-se identificar os códigos censitários na planilha censitária que indica o número total de moradores por setor censitário. Sendo assim, de posse do código censitário, do valor do indicador *DNL* e com o total populacional calculado para cada código censitário foi realizada o cálculo da população exposta por curva de ruído e por RA's

Para evitar superestimação dos dados de população em virtude das intersecções que poderiam atribuir valores iguais para áreas entre duas, ou mais, curvas de ruído, houve a necessidade de calcular a população total de toda a área de abrangência da maior curva de ruído e subtrair dos resultados obtidos, individualmente, de cada curva. Dessa forma, foi possível identificar o valor calculado acima do total e, assim, obter o percentual superestimado. Cabe destacar, que essa metodologia é indicada para quando as curvas de ruído são grandes, como no caso do ruído aeronáutico, e englobam vários setores censitários no seu interior (Figura 14A).

Todavia, existe o caso onde as curvas de ruído estão muito próximas umas das outras, ou seja, mais estreitas. Nessa situação, poucos setores censitários são atravessados por várias dessas curvas, por exemplo, no caso do ruído do tráfego rodoviário (Figura 14B). Desse modo, deve-se selecionar cada setor censitário, individualmente, e realizar a contagem das habitações no interior de cada curva atentando-se para a identificação das fachadas mais expostas. Após esse procedimento, multiplica-se o número de habitações, por curva de ruído, pelo valor da média do número de moradores por domicílios, estimados para o setor censitário em análise.



Figura 14 (A). Setores censitários no interior das curvas de ruído aeronáutico (B) Setores censitários no interior de curvas de ruído de tráfego rodoviário

### 4.3 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DOS MAPAS ACÚSTICOS

Não há apontamentos na legislação brasileira de como conduzir, metodologicamente, a elaboração de mapas acústicos. Por isso, nessa tese será adotada a metodologia indicada pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA) no documento “Diretrizes para Elaboração de Mapas de Ruído<sup>16</sup>” (APA, 2011).

A APA, por sua vez, segue as recomendações da Diretiva Europeia 2002/49/CE, cujo objetivo é definir uma abordagem comum para evitar, prevenir ou reduzir, numa base prioritária, os efeitos prejudiciais da exposição ao ruído ambiente, incluindo o incômodo dela decorrente. Essa diretiva coloca a seguinte ação, a ser posta progressivamente em prática pelos países membros, no 1º parágrafo item (a): determinação da exposição ao ruído ambiente, através da elaboração de mapas de ruído, com base em métodos de avaliação comuns aos Estados-Membros. A Diretiva Europeia 2002/49/CE e a APA também recomendam a consulta do documento “*Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*<sup>17</sup>, version 2, 2006.” (GPG-2)

A Figura 15 mostra o esquema elaborado por Murphy e King (2014, p.89) para a construção dos mapas acústicos. Esses autores destacam que talvez o mais importante no processo é a coleta de

<sup>16</sup> Material disponível no sítio: < [http://www.apambiente.pt/zdata/DAR/Ruido/NotasTecnicas\\_EstudosReferencia/DiretrizesMapasDez2011\\_tudo\\_2.pdf](http://www.apambiente.pt/zdata/DAR/Ruido/NotasTecnicas_EstudosReferencia/DiretrizesMapasDez2011_tudo_2.pdf) > Acesso mar. 2014

<sup>17</sup> Material disponível no sítio: < [http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/wg\\_aen.pdf](http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/wg_aen.pdf) > Acesso mar. 2014

dados que deve apresentar dados acurados para que se tenha um cálculo acurado dos níveis de ruído.

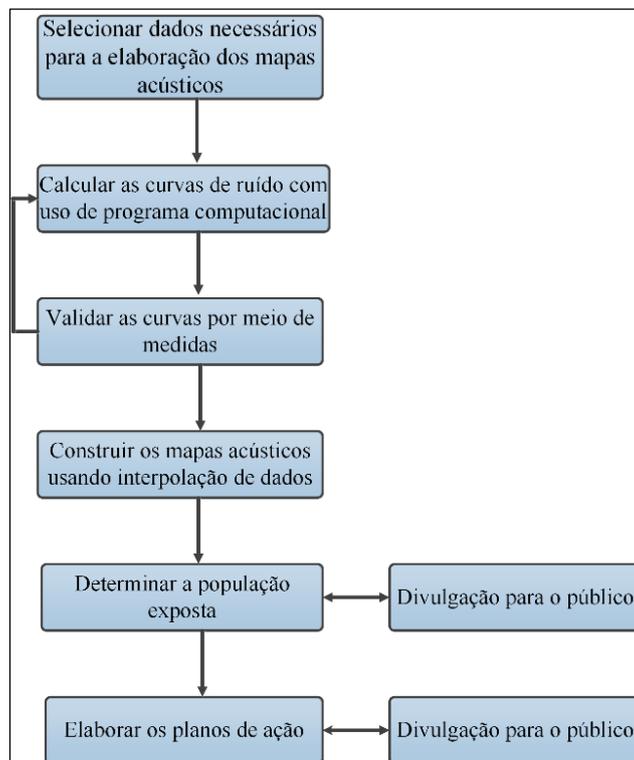


Figura 15 Processo esquemático para a elaboração de mapas acústicos

Fonte: Adaptado e traduzido de Murphy e King (2014, p. 89)

A Tabela 24 mostra os principais pontos a serem observados no método da APA, para a elaboração das curvas de ruído (do ruído aeronáutico), para a confecção dos mapas acústicos. Neste estudo, foram elaborados mapas acústicos nas métricas  $DNL$ ,  $L_{den}$  e  $L_n$ . Para a elaboração dos mapas acústicos adotou-se o processo descrito na Figura 15, bem como os pontos metodológicos indicados pela APA.

Também foi utilizado o programa de Sistema de Informação Geográfica, QGIS que é um sistema de código aberto. O QGIS é um projeto oficial do *Open Source Geospatial Foundation* (OSGEO), e suporta inúmeros formatos arquivos vetorizados, arquivos *rasters* (matriciais) e bases de dados. A versão utilizada foi o QGIS 2.8 onde pode-se visualizar, gerir, editar, criar mapas e analisar dados. Os dados de base utilizados foram:

- (1) Dados dos Setores Censitários do DF, em formato *shape* (*shp*) e informação para cada subsecção estatística (dados do Censo 2010, IBGE);

- (2) Dados das curvas de ruído simuladas no INM 7.0d, em formato *shape* (*shp*);
- (3) Dados matriciais (Mosaico DF 2009), em formato *shape* (*shp*);
- (4) Dados de localização e limites do sítio do SBBR, em formato *shape* (*shp*);
- (5) Dados de Edifícios do DF – Base SICAD 2010.

Tabela 24 Principais pontos metodológicos APA (2011)

Curva de ruído	Indicador acústico* Por exemplo: $L_{den}$ ou $L_n$ .
	Caracterização física: Comprimento da(s) pista(s), coordenadas do início e fim da(s) pista(s) e de outros pontos de referência, tais como o <i>landing threshold</i> (a partir do qual a aeronave pode tocar na pista) e o <i>takeoff point</i> (onde a aceleração para a decolagem se inicia), geometria das rotas e perfis de voo (à decolagem e à aterragem)
	Caracterização quantitativa (dados de emissão): <ul style="list-style-type: none"> <li>• tipo específico de aeronave (discriminado ao tipo e número de motor(es)), complementado com informação da certificação acústica da aeronave;</li> <li>• n.º de movimentos por: tipo específico de aeronave; período de referência (diurno, entardecer, noturno); tipo de operação (aterragem/descolagem).</li> <li>• para cada tipo de aeronave: percentagens de utilização de cada pista e rota; categoria do voo à decolagem;</li> </ul>
	Dados meteorológicos Especialmente em condições de campo aberto em áreas extensas, ou com receptores ou fontes sonoras em altura (por exemplo, ruído de tráfego aéreo), a consideração dos efeitos meteorológicos torna-se determinante para a obtenção de resultados rigorosos, pelo que devem ser utilizados, sempre que disponíveis, dados meteorológicos detalhados do local.
	Validação de longa duração É essencial, de forma a conferir robustez ao mapa de ruído, que se proceda a uma validação dos resultados. Para tal, os valores apresentados no mapa devem ser comparados com valores de medições efetuadas em locais selecionados.
Mapas Acústicos	Peças escritas (memória descritiva e resumo não técnico) e peças desenhadas (cartogramas). Essas peças (mapas) devem estar georeferenciados. <ul style="list-style-type: none"> <li>• a memória descritiva deve conter a explicação das condições em que foi elaborado o mapa e dos pressupostos considerados, incluindo os dados de entrada;</li> <li>• o resumo não técnico, destinado à divulgação ao público, deve incluir os cartogramas.</li> </ul> Os mapas acústicos devem ter uma escala igual ou superior a 1:25 000

Nota: \* No caso do Brasil: *DNL*

#### 4.4 METODOLOGIA DO QUESTIONÁRIO

Cavalcante e Maciel (*apud* Pinheiro e Günther e org., 2008), ao abordar a análise de problemas ambientais, destacam que:

*Qualquer processo de intervenção ambiental deve levar em conta o ponto de vista do usuário e as inter-relações que ele estabelece com o seu entorno, considerando a importância desta variável para a produção dos espaços, satisfação com o quadro da vida e compreensão das condutas ambientais. Sem a integração da percepção daquele que utiliza o espaço, as intervenções estarão fadadas ao fracasso* (Cavalcante e Maciel *apud* Pinheiro e Günther org., 2008, p. 148).

Assim sendo, a importância do conhecimento do processo perceptivo é inegável e destaca-se ainda mais quando se considera o vínculo incontestado do homem com o entorno, pois, como expressa, “onde quer que estejamos, estamos inseridos num ambiente” (Melo 1991, p.87 *apud* Pinheiro e Günther org., 2008, p. 148). Avaliar a percepção de incômodo sonoro é fundamental para melhor compreender os efeitos adversos do ruído aeronáutico nas comunidades expostas.

Nesta tese, para a avaliação do efeito adverso incômodo, adota-se a metodologia internacional de avaliação da reação das comunidades expostas, a uma determinada fonte de ruído ambiente, conforme indicado no ICBEN (Fields *et al.*, 1997, 2001) e na norma ISO/TS 15.666 (2003). Sendo assim, o %AI (pessoas altamente incomodadas) foi utilizado para avaliar a relação dose-resposta devido à exposição ao ruído aeronáutico. Os participantes deveriam responder posicionando o seu grau de incômodo numa escala de Likert de 11 pontos (escala de incômodo) com os limites: 0 para *nada incomodado* e 10 para *extremamente incomodado* (ISO, 2003; Lim *et al.*, 2007, Brink *et al.*, 2008; Hong *et al.*, 2009; Nguyen *et al.*, 2012).

A escolha pela escala numérica de 11 pontos é baseada no pressuposto de que os respondentes estão mais cognitivamente familiarizados com a escala 0 – 10 que com escalas numéricas mais curtas de 7 ou 9 pontos (ISO, 2003). Já o *DNL* e o  $L_{den}$  foram utilizados como indicadores acústicos. Após a definição da escala de incômodo, o termo %AI é definido como a parte superior (27% -28%) da escala de incômodo (EC, 2002; Lim *et al.*, 2007; Lim *et al.*, 2008; Nguyen *et al.*, 2011).

O questionário elaborado (ver Apêndice “C”) contém perguntas sobre: dados pessoais, incômodo percebido, interferências na vida diária e nível de sonolência diurna. O instrumento foi dividido em 3 (três) seções. A Seção 1 contém sete perguntas relacionadas ao incômodo percebido, devido ao tráfego rodoviário, aeroviário e de outras fontes de ruído. Essas são questões de cunho sócio-acústicas, ou seja, pretendem avaliar o grau de incômodo percebido pelos habitantes das regiões pesquisadas. Essa seção também apresenta questões relacionadas com as interferências em atividades cotidianas. A opção, de também avaliar o incômodo do tráfego rodoviário, deve-se ao fato dessa fonte de ruído ser a que mais expõem pessoas aos efeitos prejudiciais do ruído na Comunidade Europeia (EEA, 2010; WHO, 2011). A seguir é mostrado um exemplo de pergunta desta seção.

**Questão 01.** *Atualmente, indique qual número melhor representa o quanto você está incomodado com o ruído (barulho): dos aviões (ruído aeronáutico)*

Escala										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Na Seção 2 as perguntas referem-se a alguma possibilidade de distúrbio no sono que durante a noite impede o respondente de ter um sono tranquilo, reparador e conseqüentemente provoca sonolência durante o dia. A escala adotada foi a Escala de Sonolência de Epworth (ESE) que é um método utilizado para medir os níveis de sonolência diurna, onde o respondente deve atribuir notas de 0 a 3 para cada situação, de acordo com a probabilidade de dormir frente a cada uma delas, da seguinte maneira: (0) Nunca “cochilaria”/dormiria; (1) Pequena probabilidade de “cochilar”/dormir; (2) Probabilidade média de “cochilar”/dormir; (3) Grande probabilidade de “cochilar”/dormir.

Desse modo, o respondente deve escolher o número que melhor represente a sua probabilidade de “cochilar” ou dormir nas situações que se apresentam na Tabela 25.

Tabela 25 Situações a serem respondidas com a Escala de Epworth

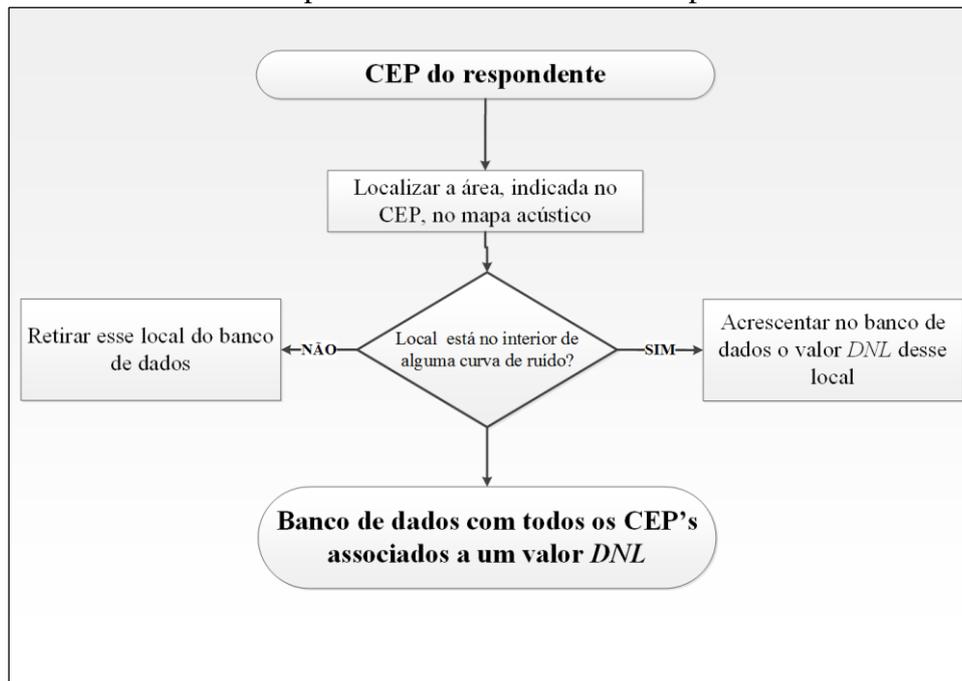
Qual a probabilidade de você “cochilar” ou dormir nas seguintes situações?	Escala de Epworth			
Sentado e lendo	0	1	2	3
Assistindo TV	0	1	2	3
Sentado, quieto, em lugar público (teatro, reunião)	0	1	2	3
Andando de carro por uma hora sem parar, como passageiro	0	1	2	3
Ao deitar-se à tarde, para descansar	0	1	2	3
Sentado, conversando com alguém	0	1	2	3
Sentado quieto após o almoço, sem bebida alcoólica	0	1	2	3
Em um carro parado no trânsito, por alguns minutos	0	1	2	3

Bertolazi *et al.* (2009) validaram uma versão da ESE, para o português do Brasil (ESE-BR), onde os resultados demonstraram que a ESE-BR é um instrumento válido e confiável para a avaliação da sonolência diurna quando aplicada em indivíduos que falam português do Brasil. A pontuação para cada resposta varia de zero a três e a soma das oito situações descritas atinge valores de zero a 24 pontos. Na versão brasileira da Escala de Epworth, a classificação da sonolência excessiva é a seguinte: de zero a 6, normal; de 7 a 9, limite; de 10 a 14, leve; de 15 a 20, moderada; e acima de 20, grave (Ambrósio e Geib, 2008).

A Seção 3 apresenta 6 (seis) questões que dizem respeito à região de residência do pesquisado, à idade, sexo e à escolaridade. O objetivo desta seção é o de caracterizar a amostra contendo uma questão para verificar se as moradias dos respondentes possuem algum tipo de isolamento

acústico especial. Além disso, contém uma questão solicitando o CEP (Código de Endereçamento Postal). Essa informação é muito importante para se proceder com a localização, da residência do respondente, no mapa acústico. Em seguida, verifica-se se o local está no interior de alguma curva de ruído. Se “sim” acrescenta-se o valor *DNL* desse local no banco de dados. Se “não”, exclui-se esse pesquisado do banco de dados a ser utilizado para as análises estatísticas. O Quadro 4 exemplifica esse processo decisório.

Quadro 4. Processo decisório para associado do local do respondente com um valor *DNL*



#### 4.4.1 Método de aplicação

Optou-se pela aplicação do questionário através da Internet (*on-line*). As pesquisas *on-line* podem ser consideradas muito semelhantes metodologicamente às pesquisas realizadas utilizando questionários auto-preenchidos ou por telefone, diferindo apenas na maneira como são conduzidas. Geralmente são usados dois meios para esse tipo de pesquisa, ou são conduzidas em uma página na Internet, ou com o uso do e-mail, sendo que na primeira o instrumento de coleta de dados deve ser postado na rede para que os usuários acessem e respondam-no, já na segunda opção o instrumento é enviado para o endereço particular da pessoa, não sendo necessário que ela visite outras páginas na Internet (Ilieva *et al.*, 2002 *apud* Vieira *et al.*, 2010).

Para esta tese foi escolhida a segunda opção e o questionário foi enviado por e-mail. Para tanto, foi utilizado o *software* de questionários online *SurveyMonkey*. O questionário foi estruturado

nesse *software* e um *link*<sup>18</sup> foi criado para ser enviado aos respondentes. Esse *link* foi enviado para e-mails pertencentes a uma base de dados contendo mais de 3.500 mil e-mails. Os e-mails foram enviados entre Outubro e Dezembro de 2014.

#### 4.4.2 Pré-teste

Depois de redigido o questionário, mas antes de ser aplicado definitivamente, foi realizado o pré-teste. A finalidade do pré-teste é a de evidenciar possíveis falhas na redação do questionário, tais como: complexidade das questões, imprecisão na redação, desnecessidade das questões, etc. O pré-teste é realizado mediante a aplicação de alguns questionários (de 10 a 20) a elementos que pertencem à população pesquisada (Gil, 2008, p. 134). Neste estudo, foram aplicados 50 questionários como pré-teste. Os dados foram analisados e questões foram corrigidas e outras foram eliminadas. A versão final do questionário, após o pré-teste, consta do Apêndice 1.

#### 4.4.3 Tamanho da amostra

Para definir o tamanho da amostra, utilizou-se inicialmente a equação 22 (Triola, 2008).

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot p \cdot q}{E^2} \quad (22)$$

Nessa equação tem-se que  $n$  é o número de indivíduos na amostra, para uma população infinita, o qual é a variável necessária de ser conhecida,  $Z_{\alpha/2}^2$  é o valor crítico correspondente ao grau de confiança desejado, equivalente a 1,96,  $p$  é a proporção populacional de indivíduos que se deseja,  $q$  é a proporção populacional de indivíduos que não se deseja amostrar, cujo cálculo corresponde a  $q = 1 - p$ , e  $E^2$  é a margem de erro (ou erro máximo de estimativa), equivalente a  $\pm 5\%$ . Os valores de  $p$  e  $q$  são usualmente adotados como 0,5 e 0,5 (Triola, 2008).

Sendo conhecidos todos esses valores, é possível calcular o tamanho da amostra da seguinte forma:

---

<sup>18</sup> Link do questionário: [https://pt.surveymonkey.com/s/questionario\\_edsonbenicio](https://pt.surveymonkey.com/s/questionario_edsonbenicio)

$$n = \frac{(1,96)^2 \cdot 0,5 \cdot 0,5}{(0,05)^2} \cong 384$$

#### 4.4.4 Análise estatística

Para a análise dos dados foi utilizado o *software* estatístico SPSS v.18 (*Statistical Package for the Social Sciences*). A rotina decisória indicada na Figura 19 foi executada e, após essa fase foram iniciadas as análises estatísticas. Primeiramente, Correlações de Pearson (r) e Spearman (p), foram realizadas entre as variáveis. Também foi obtido o nível de significância de cada correlação (p), e tabelas de distribuição de frequências foram elaboradas.

##### 4.5.5.1 Regressão Logística (RL)

Para gerar os modelos de dose-respostas foi utilizada a regressão logística (RL). Analogamente à regressão linear múltipla (RM), a RL permite múltiplas variáveis independentes (VI's) e uma única variável dependente (VD). Todavia, há uma importante distinção entre elas, qual seja: na RM a VD é métrica, ao passo que na RL o resultado é categórico. Enquanto as hipóteses tradicionais de linearidade, homoscedaticidade e normalidade são requeridas na análise da RM, elas são dispensáveis na RL. Tal como ocorre com a RM, a multicolinearidade é uma fonte potencial de perturbação ou de geração de resultados enganosos na RL, necessitando ser criteriosamente avaliada (Ribas e Vieira, 2011, p. 195).

Cabe ressaltar, que a multicolinearidade existe quando observamos uma forte correlação entre dois ou mais previsores em um modelo de regressão. Existem três razões para que a presença de multicolinearidade represente uma ameaça à validade de uma análise de regressão múltipla: elimina o tamanho do R, dificulta a avaliação da importância individual de um predictor e aumenta as variâncias dos coeficientes de regressão, resultando em equações com previsores instáveis. A multicolinearidade tende a distorcer os coeficientes (b) estimados. Uma forma de identificar multicolinearidade é examinar a matriz de correlações de todas as variáveis predictoras (independentes) e ver se alguma se correlaciona de bastante alta (acima de 0,80 ou 0,90) (Field, 2009, p.182).

Desse modo, a RL é um método de predição multivariada que é empregado quando as VI's são utilizadas na explicação de resultado categórico (VD), frequentemente dicotômico. Seu objetivo

é avaliar a probabilidade de obtenção de uma das categorias da VD, dado o conjunto de VI's, podendo ser empregada como método de predição sempre que há varias VI's independentes (métricas ou categóricas) e um único resultado dicotômico. A RL também exige amostras grandes para ser precisa, com cerca de 20 casos por VI, desde que o tamanho mínimo da amostra não seja inferior a 60 casos (Ribas e Vieira, 2011, p. 195). Por fim, na RL a VD é de natureza binária exigindo resultados que possam ser interpretados em termos de probabilidade (Corrar *et al.*, 2012, p. 282).

Dessa maneira, a variável “altamente incomodado” (AI) como resposta do incômodo percebido é calculado como dado binário (VD). Por causa dessa natureza binária a análise estatística dos dados, por regressão logística (RL), é mais indicada (Lim *et al.*, 2008; Nguyen *et al.*, 2011). Os dados, portanto, precisam ser dicotomizados para poderem ser tratados em um modelo logístico. A CE recomenda que a escala numérica de incômodo seja dicotomizada tendo como ponte de corte, para os “altamente incomodados”, as respostas superiores a 28% sendo as demais respostas consideradas como não são incomodados (EC, 2002; Lim *et al.*, 2007; Hong *et al.*, 2009; Brink *et al.*, 2008; Schreckenber *et al.*, 2010).

Nesta pesquisa, foi definido como ponto de corte as três categorias superiores (28%) da escala numérica de 11 pontos, ou seja, as categorias que excedem o 7. Caso o ponto de corte adotado, na escala de incômodo, seja de 50% o resultado é chamado de “percentual de incomodados” (%I), e se o ponto de corte escolhido for as três categorias inferiores (28%) será obtido o “percentual de pessoas pouco incomodadas” (%PI) (EC, 2002; Miedema e Vos, 1998).

Os valores preditos, nos mapas acústicos, para o  $DLN$  e o  $L_{den}$  foram escolhidos como variáveis independentes (VI's). Foram considerados os seguintes requisitos mínimos:

- Fonte específica de ruído: o  $DNL$ ,  $L_{den}$ , I e AI pertencem a uma única e mesma fonte de ruído de transporte (tráfego aeroviário);
- Questão entre o incômodo e o ruído: I e AI são diretamente derivado das respostas a uma pergunta sobre o incômodo percebido de uma determinada fonte de ruído, no caso com o ruído proveniente do tráfego aéreo no SBBR;

#### 4.5.5.2 Modelo Matemático da Regressão Logística (RL)

A RL possibilita a classificação de fenômenos ou indivíduos em categorias específicas e também permite estimar a probabilidade de ocorrência de determinado evento ou de que um fenômeno venha a se enquadrar nessa ou naquela categoria (Corrar *et al.*, 2012, p. 284). Também permite estimar a chance (*odds*) de ocorrência de determinado evento, explicando o impacto das VI's sobre a VD em termos de razão de chance (*odds ratio*). Nesse caso, é preciso estar atento às seguintes peculiaridades da RL: a) emprega-se chance no lugar de probabilidade; e b) utiliza-se o logaritmo natural da chance, denominado *logit*, pois esse procedimento possibilita que as VI's sejam linearmente relacionadas ao *logit* (Ribas e Vieira, 2011, p.196). Para tanto, opta-se pelo método da máxima verossimilhança<sup>19</sup>. Com isso, o modelo passa a evidenciar mudanças nas inter-relações dos logs da VD, e não na própria variável. Daí o adjetivo Logística (Corrar *et al.*, 2012, p. 284).

A chance (*odds*) é a razão entre a probabilidade de determinado evento ocorrer e a probabilidade do mesmo evento não ocorrer. A fórmula para a chance é:

$$\text{chance} = \frac{P(Y)}{1-P(Y)} \quad (23)$$

Onde Y é a variável de saída e P(Y) indica a probabilidade de ocorrência do evento de interesse. Por exemplo, se P(Y) for igual a 0,80, então, 1 – P(Y), a probabilidade do evento oposto, é 0,20, e chance é 0,80/0,20, ou seja, 4. A chance de ocorrência do evento é 4 vezes maior à de não ocorrência. Para iniciar a descrição da razão de chance (*odds ratio*) na RL, será apresentada a forma *logit* do modelo da RL. A transformação *logit*, denotada por *logit* (Y), é dada pelo logaritmo natural da magnitude P(Y) (Ribas e Vieira, 2011, p. 197), conforme mostra a equação 24.

$$\text{logit} (Y) = \ln \left( \frac{P(Y)}{1-P(Y)} \right) = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} \quad (24)$$

Com isso, evita-se a predição de valores menores que zero e maiores que um. Essas etapas são explicadas a seguir. Embora a VD (o %AI) só possa assumir duas posições, ou seja, 0 e 1 (por

---

<sup>19</sup> A distinção entre o procedimento de estimação por máxima verossimilhança e pelo método dos mínimos quadrados refere-se, essencialmente, ao fato de que o último permite a obtenção das estimativas dos coeficientes de regressão que minimizem os desvios quadráticos vizinhos à reta de regressão, enquanto a estimativa por máxima verossimilhança obtém os coeficientes que maximizam a probabilidade de se obter o conjunto de dados observados no contexto do modelo hipotético (Ribas e Viera, 2011, p. 196).

exemplo, 1 – altamente incomodado e 0 – não incomodado), torna-se necessário obter valores que possam ser interpretados em termos de probabilidade. Na equação 24, no lado esquerdo tem-se o logaritmo natural da chance. No lado direito encontram-se as VI's (categóricas ou métricas) e os coeficientes estimados ( $\beta_0 + \beta_1 + \dots + \beta_k$ ). A razão de chance por de ser obtida por (Corrar *et al.*, 2012, p. 285):

$$\frac{P(Y)}{1 - P(Y)} = e^{\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki}} \quad (25)$$

Se a razão de chance estiver devidamente estimada pode-se identificar a probabilidade associada à ocorrência de determinado evento. Tendo por base a equação 25, obtém-se a equação 26:

$$P(Y) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki}}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki}}} \quad (26)$$

Simplificando um pouco mais, a função logística (função *logit*) ainda pode assumir a seguinte forma:

$$P(Y) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki})}} \quad (27)$$

## CAPÍTULO 5 RESULTADOS E ANÁLISES

### 5.1 FASE 01 – CARACTERIZAÇÃO DO AEROPORTO

Nesse estudo foi considerado o Aeroporto Internacional de Brasília, cuja sigla ICAO (*International Civil Aviation Organization*) é SBBR. Atualmente, o segundo em movimentação de aeronaves e de passageiros no Brasil e que devido sua localização geográfica, recebe e distribui mais de 500 voos por dia, sendo considerado ponto de conexão para destinos em todo o país, e no exterior. A crescente demanda por operações nesse aeroporto e sua proximidade com áreas residenciais apontam para uma situação de comprometimento do ambiente sonoro de seu entorno com significativo potencial de incômodo (Carvalho Jr *et al.*, 2012).

O sítio aeroportuário do Aeroporto Internacional de Brasília (SBBR) possui área total de 28.930.886 m<sup>2</sup>. Trata-se de um aeroporto compartilhado, isto é, com operações civis e militares. A área militar é de 18.977.685 m<sup>2</sup> e a área patrimonial civil de 9.947.559 m<sup>2</sup>. Na Figura 16 é possível observar o sítio aeroportuário e as áreas destinadas ao uso civil e ao uso militar.

Em sua infraestrutura física, o SBBR possui vias de acesso, estacionamentos, área de apoio, hangares, pátio de manobras, pista de taxiamento, pista de pouso e decolagem e terminal de passageiros com estabelecimentos comerciais e área administrativa, técnica e de passageiros e área de terminal de cargas. Possui também instalações militares na área militar da Base Aérea de Brasília.

Desde 1º de março de 2013, a INFRAMÉRICA assumiu a operação do Aeroporto de Brasília, ficando responsável pela operação comercial e pela gestão, manutenção e funcionamento de todos os serviços básicos. Está também a cargo da INFRAMÉRICA a segurança, a vigilância, a operação e a manutenção de todo o sítio aeroportuário, parte civil (BSBAERO, 2013).

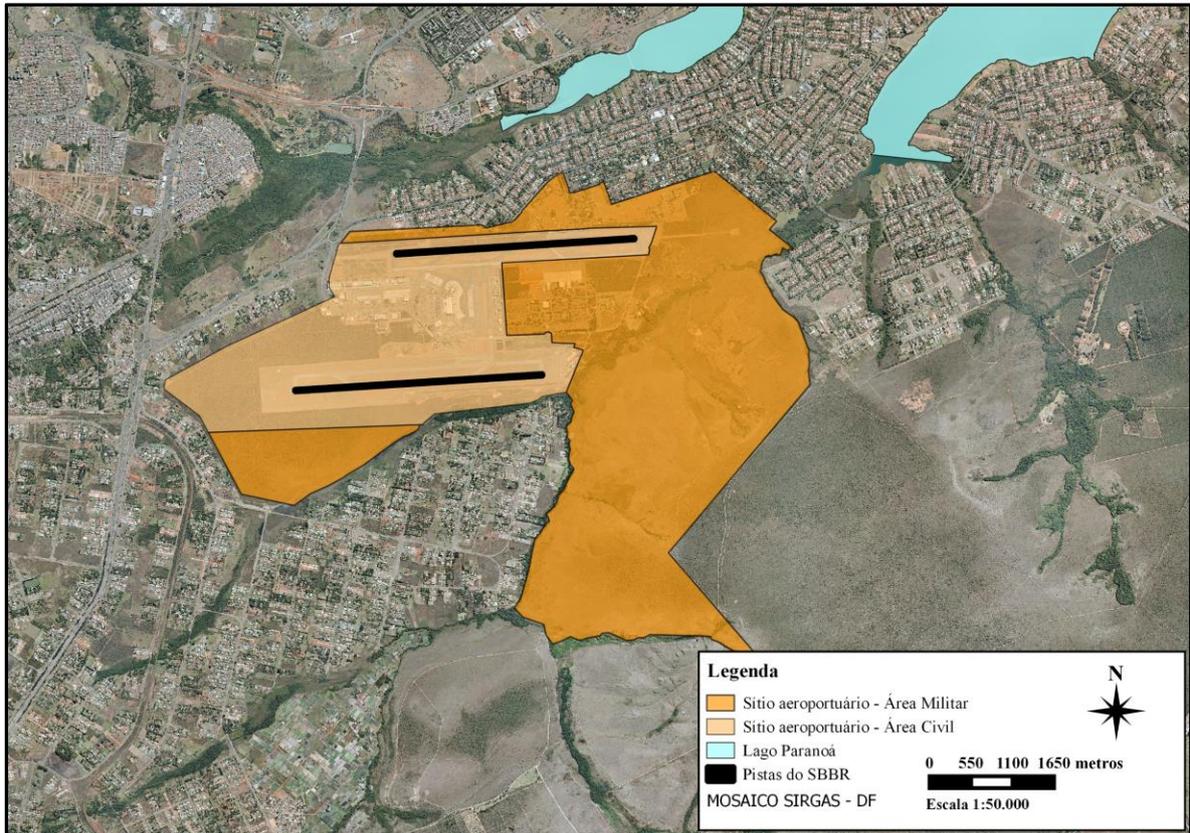


Figura 16. Mapa de localização do SBBR

## 5.2 FASE 02 – SIMULAÇÃO DAS CURVAS DE RUÍDO, ELABORAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MAPAS ACÚSTICOS<sup>20</sup>

Foram realizadas as simulações necessárias para a elaboração das curvas de ruído nas métricas *DNL*, *L<sub>den</sub>* e *L<sub>n</sub>*. Após essas simulações, o *output* gerado pelo INM foi exportado, em formato *shape*, para o QGIS 2.8.1 onde os mapas acústicos foram elaborados.

A Figura 17 mostra as curvas de ruído *DNL* 50 até 85 ( $50 < DNL \leq 85$ ) para 2012 e as principais rotas de pouso e decolagem de aeronaves no SBBR. Nessa figura é possível visualizar um grande adensamento populacional no interior das curvas compreendidas nos limites  $50 < DNL \leq 60$ . Cabe destacar, que esse mapa acústico foi utilizado para a determinação da função logística entre %I, %AI e a métrica *DNL*. Apesar das curvas *DNL* 50, 55 e 60 não serem exigidas para a elaboração do zoneamento sonoro, pesquisas recentes mostram que residentes no interior dessas

<sup>20</sup> Parte desta seção foi publicada em artigo completo apresentado no Congresso PLURIS 2014. Referência: Carvalho Jr E.B., Garavelli S. L., de Barro A.G., Maroja A.M., Melo W; Shimoishi J.M (2014b) Ruído aeronáutico: análise comparativa das metodologias adotadas no brasil e na comunidade europeia. PLURIS. 2014.

curvas, principalmente na *DNL* 60, sentem-se altamente incomodados com o ruído aeroviário (Lim *et al.*, 2007; Brink *et al.*, 2008; Lee *et al.*, 2008; Schreckenberg *et al.*, 2010; Yokoshima *et al.*, 2012 e Carvalho Jr *et al.*, 2012). Para auxílio na interpretação dos mapas de ruído deve-se observar a Tabela 26 que expressa os limites para cada indicador de ruído.

Tabela 26 Indicadores acústicos das curvas de ruído

Indicador <i>DNL</i>	Indicador <i>L<sub>den</sub></i>
<i>DNL</i> 50 = 50 < <i>DNL</i> ≤ 55	<i>L<sub>den</sub></i> 55 = 55 < <i>L<sub>den</sub></i> ≤ 60
<i>DNL</i> 55 = 55 < <i>DNL</i> ≤ 60	<i>L<sub>den</sub></i> 60 = 60 < <i>L<sub>den</sub></i> ≤ 65
<i>DNL</i> 60 = 60 < <i>DNL</i> ≤ 65	<i>L<sub>den</sub></i> 65 = 65 < <i>L<sub>den</sub></i> ≤ 70
<i>DNL</i> 65 = 65 < <i>DNL</i> ≤ 70	<i>L<sub>den</sub></i> 70 = 70 < <i>L<sub>den</sub></i> ≤ 75
<i>DNL</i> 70 = 70 < <i>DNL</i> ≤ 75	<i>L<sub>den</sub></i> 75 = <i>L<sub>den</sub></i> > 75
<i>DNL</i> 75 = 75 < <i>DNL</i> ≤ 80	
<i>DNL</i> 80 = 80 < <i>DNL</i> ≤ 85	
<i>DNL</i> 85 = <i>DNL</i> > 85	

Segundo o RBAC 161 (2013), devido à capacidade operacional do SBBR o zoneamento sonoro deve ser composto por 5 curvas de ruído distribuídas no limite 65 < *DNL* ≤ 85 (*DNL* 65, 70, 75, 80 e 85). A Figura 18 mostra as curvas de ruído no limite 65 < *DNL* ≤ 85 e a Tabela 27 expressa a área das curvas isofônicas.

Tabela 27 Área das curvas de ruído *DNL*

Curva de Ruído	Área (km <sup>2</sup> )
<i>DNL</i> 50	186,76
<i>DNL</i> 55	92,39
<i>DNL</i> 60	44,64
<i>DNL</i> 65	15,76
<i>DNL</i> 70	5,31
<i>DNL</i> 75	2,59
<i>DNL</i> 80	0,80
<i>DNL</i> 85	0,09

A Figura 19 mostra o mapa acústico elaborado para a métrica *L<sub>den</sub>*. Esse mapa acústico foi adotado para a determinação da função logística entre %I, %AI e a métrica *L<sub>den</sub>*. A Figura 20 mostra uma comparação entre os indicadores de ruído *DNL* e *L<sub>den</sub>* e foi observado que o *L<sub>den</sub>* é mais restritivo, curvas de ruído são um pouco maiores, devido à penalização de 5 dB(A) no período do entardecer (18:00h – 22:00h).

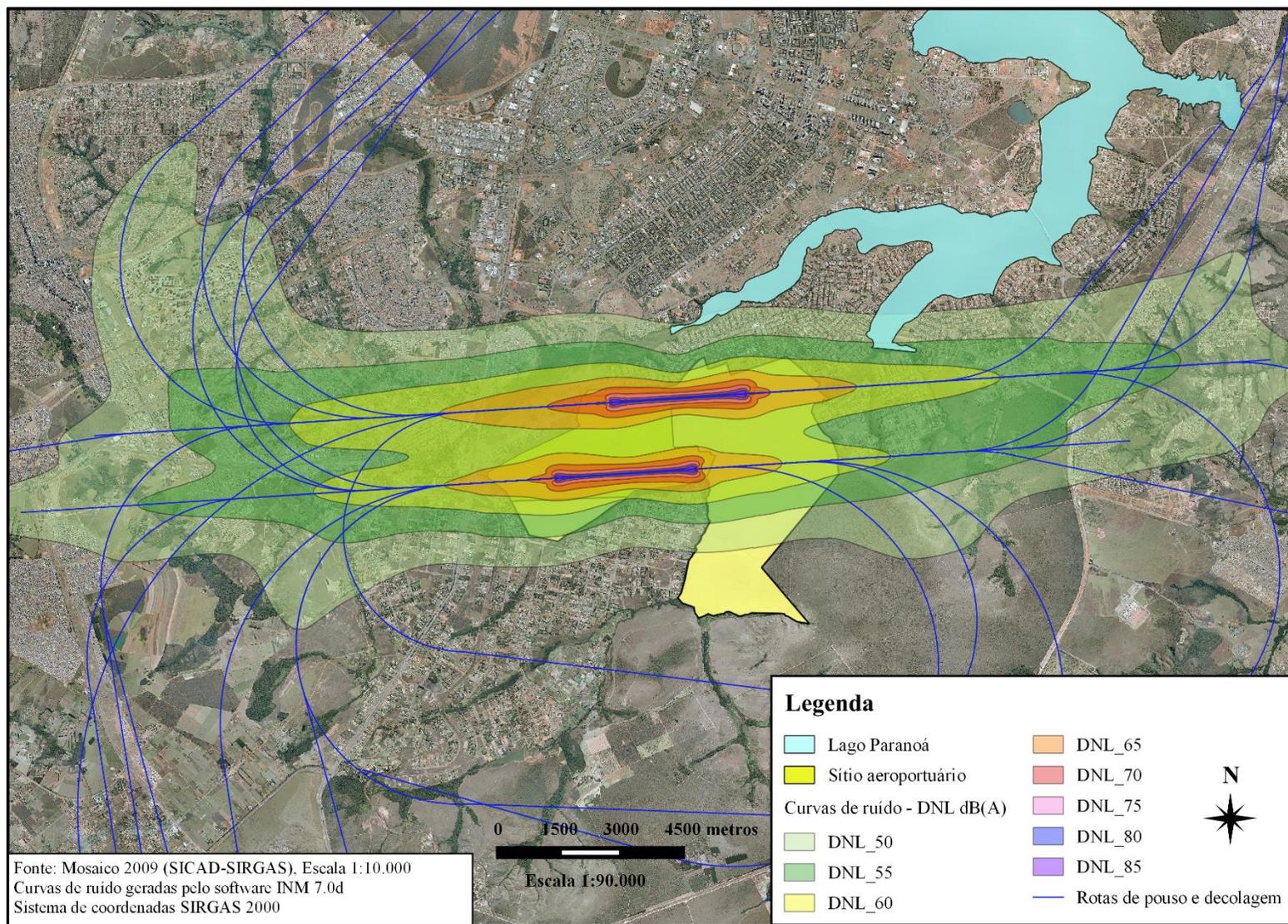


Figura 17. Curvas de ruído *DNL* e rotas de pousos e decolagens no SBBR

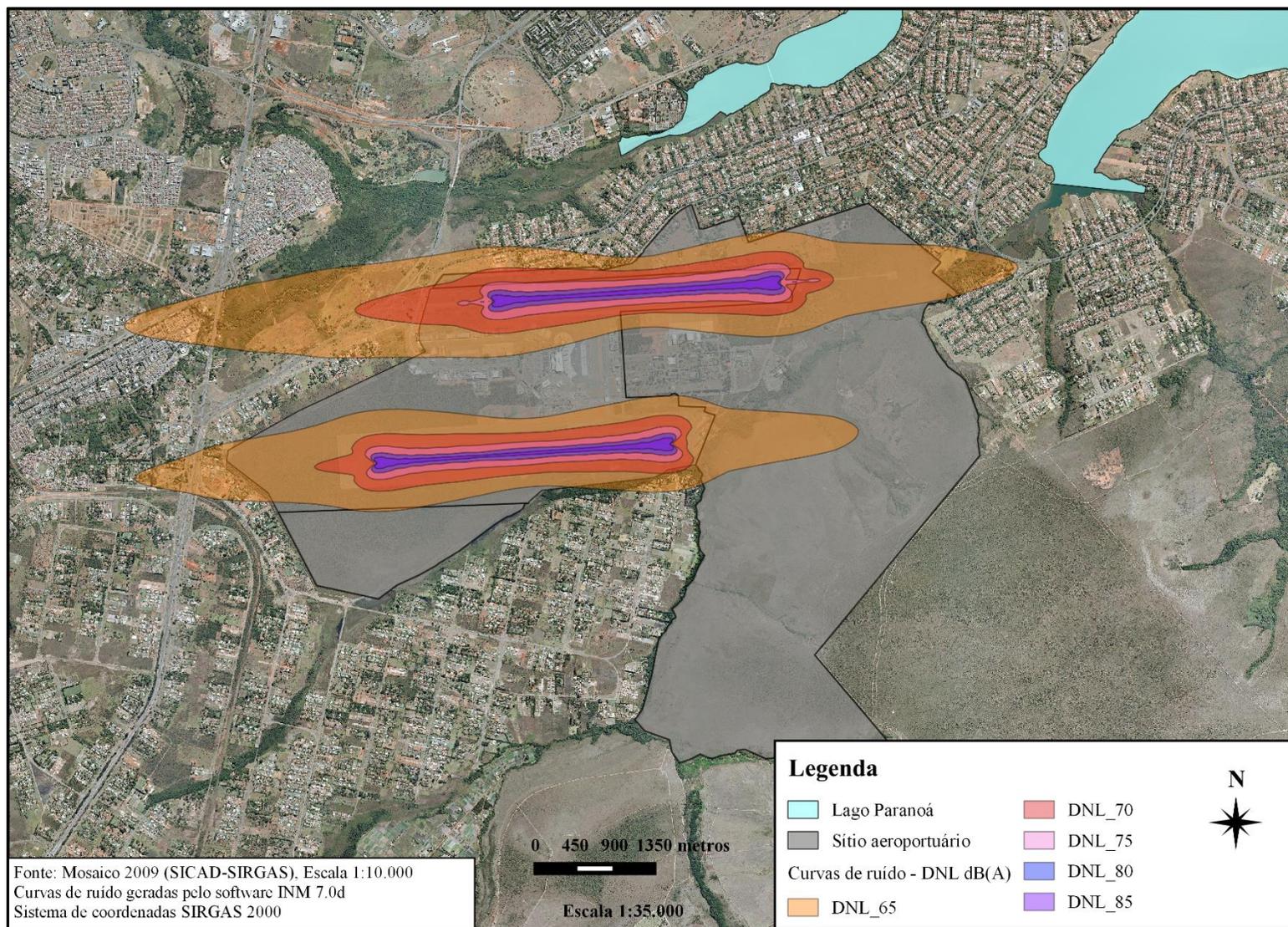


Figura 18. Curvas de ruído para a métrica *DNL*

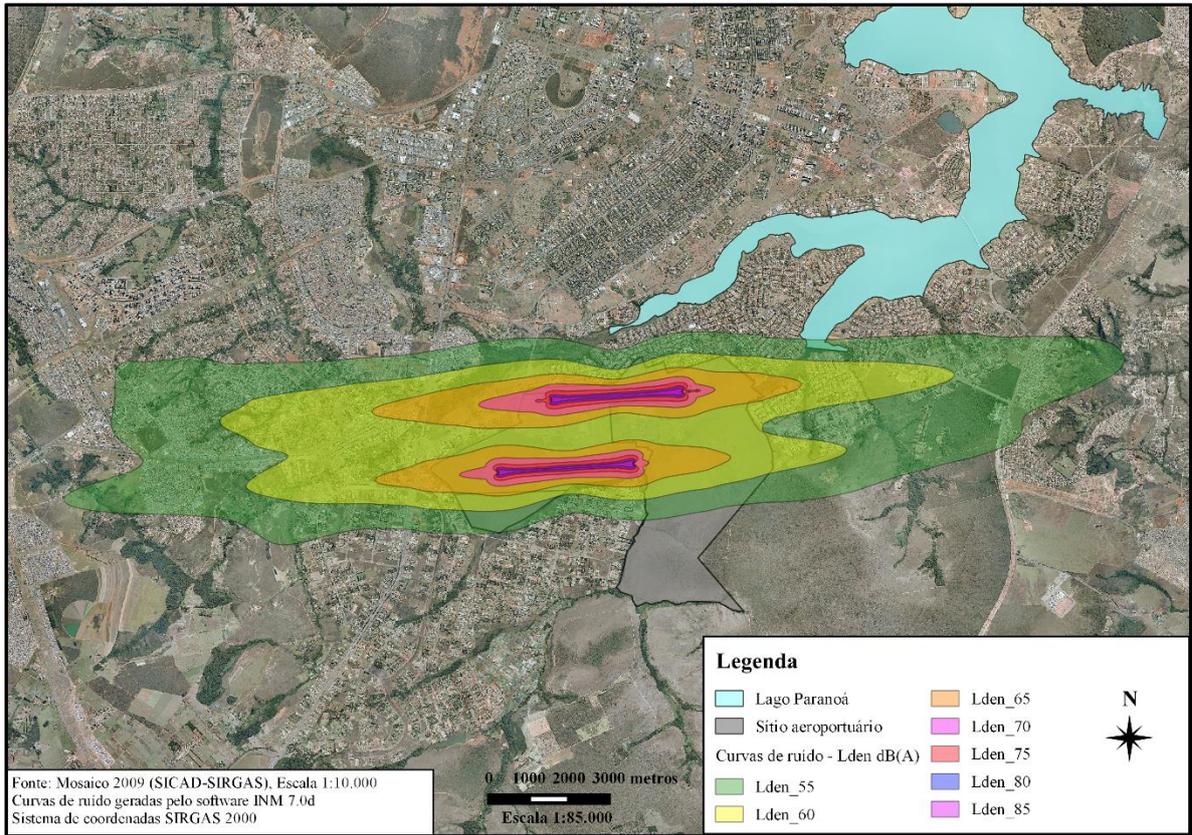


Figura 19. Curvas de ruído para a métrica  $L_{den}$

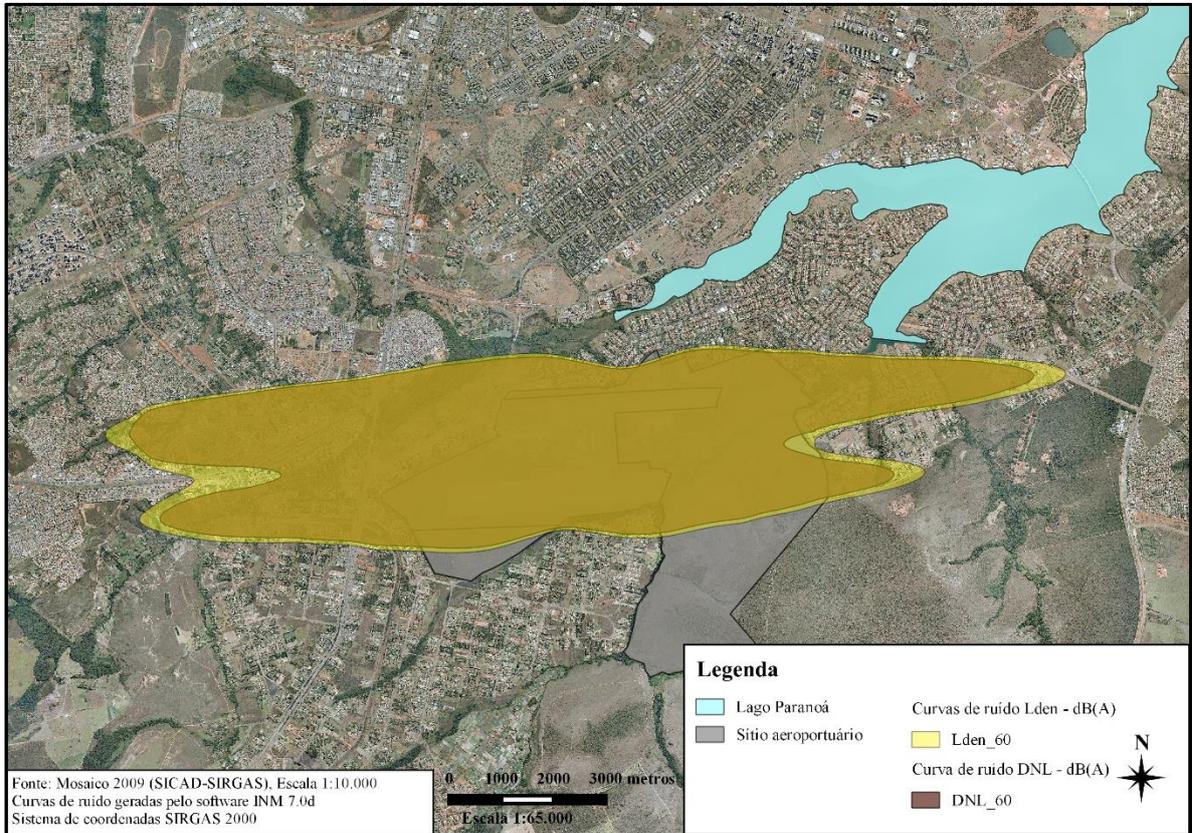


Figura 20. Comparação entre uma curva de ruído  $DNL$  e  $L_{den} - 60$  dB(A)

### 5.2.1 Validação das curvas de ruído

Para a validação das curvas de ruído foram utilizados dados provenientes das EMR's do SBBR. A Tabela 28 expressa os valores medidos para o  $L_d$ ,  $L_n$  e  $DNL$  e também mostra os valores simulados no INM.

Tabela 28 Indicadores acústicos calculados para a validação dos mapas acústicos

Dados da EMR_1					
Data	$L_d$	$L_n$	$DNL^a$	$DNL^b$	$DNL^c$
19 a 21/03/2015	61,5	56,9	64,4	64,3	- 0,1
Dados da EMR_2					
Data	$L_d$	$L_n$	$DNL^a$	$DNL^b$	$DNL^c$
01 a 03/03/2015	59,7	57,9	64,6	66,3	-1,7
Dados da EMR_3					
Data	$L_d$	$L_n$	$DNL^a$	$DNL^b$	$DNL^c$
24 a 26/02/2015	58,8	58,1	64,6	64,4	- 0,2

Nota: \*Resultados em dB(A) /  $DNL^a$ :  $DNL$  medido /  $DNL^b$ :  $DNL$  simulado /  $DNL^c$ :  $DNL^b - DNL^a$

Na Tabela 28, a comparação realizada entre os valores medidos e os simulados é possível constatar que a diferença não ultrapassou  $\pm 2$ dB(A), conforme indica a APA (2011). Desse modo, as curvas de ruído foram validadas conferindo confiabilidade ao mapa acústico.

### 5.3 FASE 03 – CÁLCULO DA POPULAÇÃO EXPOSTA

Tendo por base o método apresentado na Seção 4.4, foi calculada a população total da área de abrangência de uma curva maior de ruído ( $DNL 50$ ). A Figura 21 mostra o resultado da intersecção de todas as curvas de ruído, a partir da  $DNL 50$ , com a base censitária do IBGE 2010.

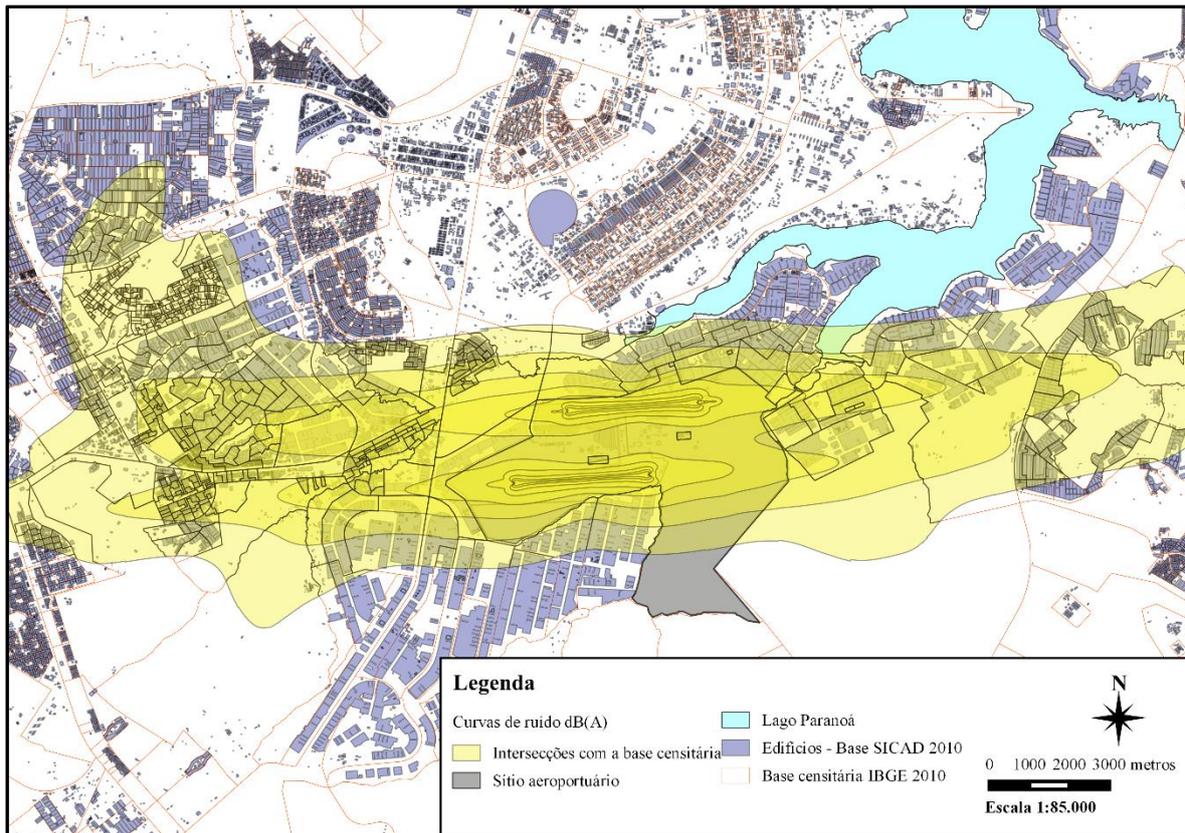


Figura 21 Intersecção das curvas de ruído como a base censitária do IBGE 2010

O Apêndice “D” apresenta de forma detalhada as etapas para o cálculo da população exposta (PE) e do percentual da população exposta por RA para cada *DNL*. A Tabela 29 resume os resultados obtidos, destacando para as curvas mais ruidosas:

- *DNL* 60: As RA’s do Núcleo Bandeirante, Park Way e Lago Sul são as com o maior número de pessoas expostas;
- *DNL* 65: Núcleo Bandeirante se destaca como a região mais afetada com, aproximadamente, 5% da população exposta, seguido por Lago Sul (2,3%) e Park Way (4%).
- *DNL* 70: 129 pessoas afetadas. Esse número de pessoas é pequeno, mas indica a ocupação de áreas muito próximas aos limites do sítio aeroportuário onde, segundo o RBAC 161 (2013), os projetos das residências deveriam apresentar medidas para se atingir uma redução de ruído de pelo menos 25 dB.

Para a curva *DNL* 55 as RA’s, do Núcleo Bandeirante, Park Way, Candangolândia e Lago Sul apresentam percentual considerável de população exposta. Entretanto, destaca-se nessa *DNL* a RA do Riacho Fundo com 73% da população exposta. Já na *DNL* 50 novamente destacam-se

com percentual de população significativo o Lago Sul, Candangolândia e Park Way. Além dessas RA's, para Taguatinga (região Sul) também foi obtido um percentual considerável (28%) de população exposta.

Tabela 29 População exposta estimada por curva de ruído *DNL*

RA	Pop. RA	<i>DNL</i> 50		<i>DNL</i> 55		<i>DNL</i> 60		<i>DNL</i> 65		<i>DNL</i> 70	
		PE	% PE								
Brasília	221.223	1.635	1,0	----	----	----	----	----	----	----	----
Candangolândia	16.799	7.155	43,0	4.603	27,0	1.428	9,0	----	----	----	----
Guará	125.808	8.841	7,0	1.385	1,0	834*	1,0	----	----	----	----
Lago Sul	31.206	9.438	30,0	6.777	22,0	3.946	13,0	714	2,3	89	0,3
Núcleo Bandeirante	23.714	----	----	2.609	11,0	21.180	89,0	1.172	5,0	----	----
Paranoá	45.613	2.442	5,0	----	----	----	----	----	----	----	----
Park Way	19.759	6.173	31,0	4.069	21,0	3.975	20,0	701	4,0	40	0,2
Riacho Fundo	37.278	8.946	24,0	27.039	73,0	1.074	2,9	----	----	----	----
Samambaia	220.806	3.196	1,0	----	----	----	----	----	----	----	----
São Sebastião	97.977	5.483	6,0	2.419	2,0	----	----	----	----	----	----
Taguatinga	214.282	60.529	28,0	25.780	12,0	615**	0,3	----	----	----	----
Total	1.054.465	113.838	11,0	74.681	13,0	33.052	7,0	2.587	3,0	129	0,2

Notas: Pop. RA (População total de cada RA. Fonte: PDAD 2013/2014) / PE = população exposta / %PE = percentual da população exposta em relação à população total (Pop. RA) / \* Região da Vila IAPI / \*\* Região da Arniqueira

#### 5.4 FASE 04 – QUESTIONÁRIO

Inicialmente, obteve-se um banco de dados de mais de 20.000 e-mails de pessoas residentes no DF e no estado do Goiás. Em seguida, foi realizado um filtro, por cidade, sendo selecionados os e-mails de moradores das seguintes RA's: Núcleo Bandeirante, Taguatinga, Park Way (SMPW - Setor de Mansões Park Way), Águas Claras, Lago Sul, Jardim Botânico, Candangolândia, Samambaia e Riacho Fundo I.

Essas RA's possuem regiões no interior de curvas de ruído no limite  $50 \leq DNL \leq 70$  sendo as RA's do Núcleo Bandeirante, Lago Sul e Park Way as que possuem os maiores percentuais de pessoas expostas ao ruído aeronáutico no limite  $60 \leq DNL \leq 65$ , conforme foi indicado na Tabela 32. Após esse filtro, selecionou-se 3.600 e-mails que foram encaminhados. Desse total, 931 foram respondidos, índice de retorno de 26%, e 402 foram selecionados.

A seleção se deu pelo CEP indicado na resposta do questionário que mostra uma região no interior das curvas de ruído no limite  $50 \leq DNL \leq 70$ . A Figura 22 mostra a localização das

RA's/Cidades, entre as curvas de ruído simuladas, de onde foi selecionada a amostra de respondentes.

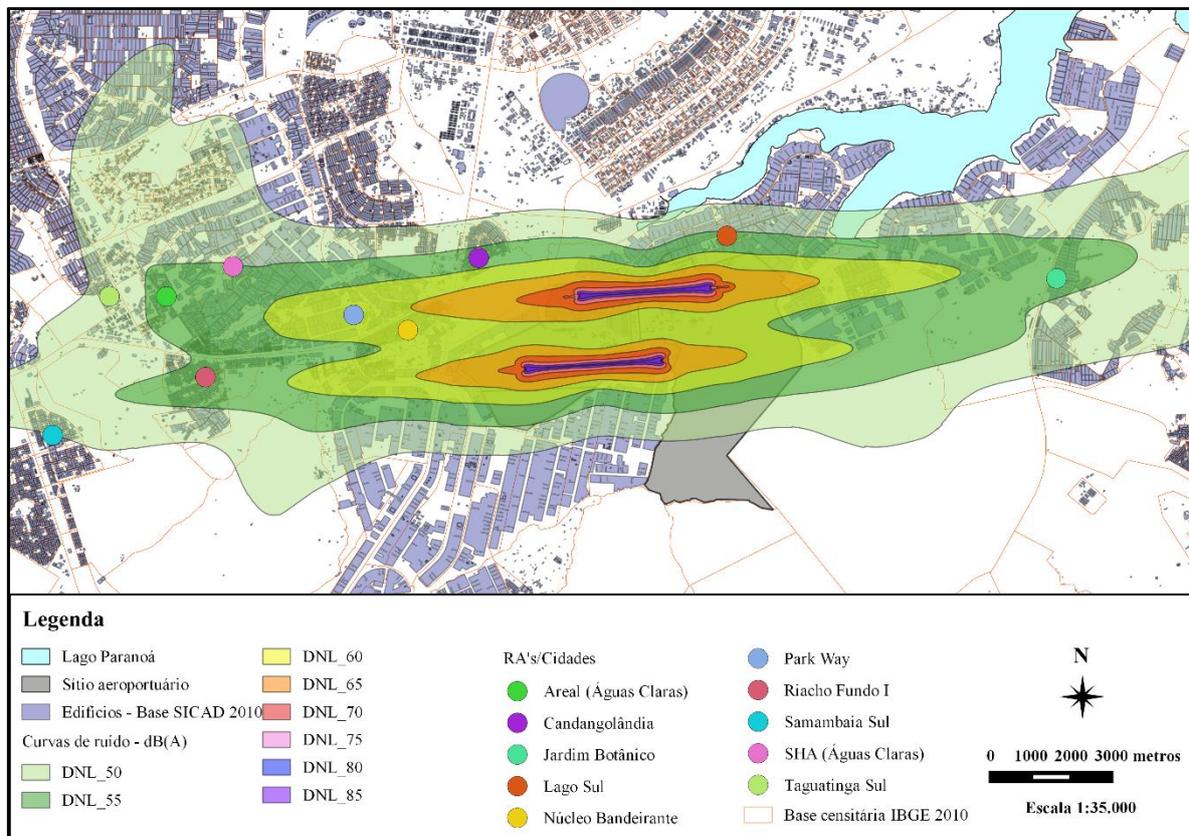


Figura 22 Localização das RA's entre as curvas de ruído

As perguntas presentes no questionário foram organizadas na forma de variáveis, podendo ser visualizadas no Apêndice “E”. A confiabilidade do questionário foi medida por meio do teste alfa ( $\alpha$ ) de Cronbach. Para que um teste seja confiável, seu coeficiente de confiabilidade deve ser o mais alto possível e a título de orientação considera-se que coeficientes superiores a 0,75 já são altos (Bisquerra *et al*, 2004). Também é necessário que todas as correlações, entre as variáveis de uma dada seção de análise, sejam positivas. A Tabela 30 resume as variáveis mostradas no Apêndice “E”. Pode-se verificar que o questionário apresenta valores para o alfa de Cronbach satisfatórios indicando adequada confiabilidade para a análise dos resultados.

Tabela 30. Alpha de Cronbach por categoria de variáveis

Seção do questionário	Categorias de Variáveis	$\alpha$ de Cronbach
Seção 1	Nível de incômodo com fontes sonoras	0,800
	Nível de incômodo com ruído aeronáutico	0,902
	Nível de incômodo com ruído rodoviário	0,919
Seção 2	Sonolência diurna excessiva (SDE)	0,753

#### 5.4.1 Análise da Seção 01 e dos dados sóciodemográficos (Seção 03)

No total, 51% dos pesquisados eram do sexo feminino e 49% do sexo masculino. A idade dos respondentes ficou assim distribuída: 18 – 20 anos (21%), 21 – 30 (47%), 31 – 40 (17%), 41 - 50 (9%) e 51 – 60 anos (6%). Quanto à escolaridade, 1% possui ensino fundamental, 15% ensino médio, 66% ensino superior e 18% indicaram possuir pós-graduação. Desse modo, a amostra é composta predominantemente de pessoas jovens, com menos de 30 anos, e com escolaridade elevada. Quanto às residências possuírem algum tipo de isolamento acústico, 93% responderam que “não” e 7% “sim”. Com relação ao tipo do imóvel: 38% eram casas com somente pavimento térreo, 26% casas com dois pavimentos, 7% casas como mais de dois pavimentos e 29% apartamentos.

Na Seção 01 do questionário, os respondentes indicaram o nível de incômodo com o ruído de diversas fontes. Cabe destacar que os pesquisados que indicaram como resposta o “0” foram classificados como “Nada Incomodados (NI)”, 1, 2,3, 4 e 5 como “Pouco Incomodados (PI)”, 6 e 7 como “Incomodados (I)” e 8, 9 e 10 como “Altamente Incomodados (AI)”.

A Tabela 31 mostra o resultado da soma do percentual de incomodados e altamente incomodados, respectivamente, por faixa etária. Os respondentes, em todas as faixas etárias, apresentaram consideráveis níveis de incômodo com o ruído das fontes pesquisadas. Para o ruído aeronáutico quanto maior a faixa etária maior o nível de incômodo.

Tabela 31. Percentuais de incomodados e altamente incomodados por faixa etária

Fonte de ruído	Faixas etárias (anos)				
	18 - 20	21 - 30	31 - 40	41 - 50	51 - 60
Ruído aeronáutico	29%	31%	33%	38%	40%
Tráfego Rodoviário	46%	47%	48%	51%	36%
Ruído combinado	40%	40%	40%	54%	36%
Trens	9%	9%	6%	14%	0%
Motocicletas	46%	56%	42%	39%	40%
Carros de som	61%	69%	64%	51%	24%
Construções	39%	38%	48%	33%	16%
Restaurantes/bares/boates	20%	24%	34%	36%	24%
Vizinhos à noite	35%	36%	40%	38%	16%

Da Tabela 31, com relação ao ruído rodoviário, os percentuais são consideráveis com destaque para a faixa etária 41 – 50 (51%). O percentual de nível de incômodo com o ruído de trens é

menor, se comparado às demais fontes de ruído, pois em Brasília, poucas são as regiões que apresentam movimentação de trens. Vale a pena ressaltar os elevados percentuais para as fontes de ruído motocicletas e carros de som, inclusive entre os mais jovens.

A Tabela 32 mostra o percentual do nível de incômodo por RA/Cidade e por fonte de ruído. Também apresenta os resultados dos  $\chi^2$  (graus de liberdade igual a 27) e a soma ( $\Sigma$ ) dos I (incomodados) com os AI (altamente incomodados).

Tabela 32. Percentuais de incomodados e altamente incomodados por RA/Cidade

Fonte de ruído	NII	Região Administrativa / Cidade										Total
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	
Aeronáutico $\chi^2$ 50,52 $p = 0,004$	I	4%	6%	0%	10%	18%	27%	18%	14%	23%	12%	16%
	AI	12%	12%	0%	30%	25%	18%	7%	7%	23%	11%	16%
	$\Sigma$	<b>16%</b>	<b>18%</b>	<b>0%</b>	<b>40%</b>	<b>43%</b>	<b>45%</b>	<b>25%</b>	<b>21%</b>	<b>46%</b>	<b>23%</b>	<b>32%</b>
Rodoviário $\chi^2$ 23,75 $p = 0,644$	I	4%	29%	29%	15%	22%	26%	29%	27%	19%	23%	22%
	AI	35%	12%	29%	25%	23%	23%	25%	16%	21%	33%	24%
	$\Sigma$	<b>38%</b>	<b>41%</b>	<b>57%</b>	<b>40%</b>	<b>45%</b>	<b>48%</b>	<b>54%</b>	<b>43%</b>	<b>40%</b>	<b>56%</b>	<b>47%</b>
Combinado $\chi^2$ 27,11 $p = 0,458$	I	8%	6%	29%	20%	10%	16%	21%	11%	17%	14%	14%
	AI	27%	29%	29%	45%	35%	27%	21%	16%	34%	19%	27%
	$\Sigma$	<b>35%</b>	<b>35%</b>	<b>57%</b>	<b>65%</b>	<b>45%</b>	<b>44%</b>	<b>43%</b>	<b>27%</b>	<b>51%</b>	<b>33%</b>	<b>41%</b>
Trens $\chi^2$ 40,19 $p = 0,049$	I	4%	0%	0%	0%	2%	0%	4%	9%	9%	4%	4%
	AI	4%	0%	0%	5%	12%	0%	4%	5%	4%	4%	4%
	$\Sigma$	<b>8%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>14%</b>	<b>0%</b>	<b>7%</b>	<b>14%</b>	<b>13%</b>	<b>8%</b>	<b>8%</b>
Motocicletas $\chi^2$ 30,40 $p = 0,296$	I	4%	24%	29%	5%	13%	13%	18%	18%	12%	19%	15%
	AI	35%	24%	57%	30%	28%	29%	46%	27%	38%	44%	34%
	$\Sigma$	<b>38%</b>	<b>47%</b>	<b>86%</b>	<b>35%</b>	<b>42%</b>	<b>42%</b>	<b>64%</b>	<b>45%</b>	<b>50%</b>	<b>63%</b>	<b>49%</b>
Carros de som $\chi^2$ 67,32 $p = 0,000$	I	8%	24%	0%	20%	13%	13%	11%	4%	9%	8%	10%
	AI	58%	41%	86%	25%	47%	56%	64%	48%	36%	65%	52%
	$\Sigma$	<b>65%</b>	<b>65%</b>	<b>86%</b>	<b>45%</b>	<b>60%</b>	<b>69%</b>	<b>75%</b>	<b>52%</b>	<b>45%</b>	<b>74%</b>	<b>62%</b>
Construções $\chi^2$ 61,43 $p = 0,000$	I	27%	24%	50%	15%	8%	10%	18%	17%	4%	15%	14%
	AI	19%	6%	33%	25%	25%	22%	18%	22%	21%	38%	24%
	$\Sigma$	<b>46%</b>	<b>29%</b>	<b>83%</b>	<b>40%</b>	<b>33%</b>	<b>32%</b>	<b>36%</b>	<b>39%</b>	<b>25%</b>	<b>53%</b>	<b>38%</b>
Restaurantes /bares/boates $\chi^2$ 36,26 $p = 0,110$	I	4%	6%	14%	5%	7%	13%	7%	11%	9%	12%	10%
	AI	12%	6%	0%	5%	20%	21%	25%	11%	15%	21%	17%
	$\Sigma$	<b>16%</b>	<b>12%</b>	<b>14%</b>	<b>10%</b>	<b>27%</b>	<b>34%</b>	<b>32%</b>	<b>21%</b>	<b>25%</b>	<b>33%</b>	<b>26%</b>
Vizinhos à noite $\chi^2$ 35,20 $p = 0,134$	I	8%	6%	0%	15%	12%	6%	14%	7%	4%	8%	8%
	AI	27%	35%	14%	15%	25%	37%	54%	21%	19%	25%	27%
	$\Sigma$	<b>35%</b>	<b>41%</b>	<b>14%</b>	<b>30%</b>	<b>37%</b>	<b>44%</b>	<b>68%</b>	<b>29%</b>	<b>23%</b>	<b>33%</b>	<b>36%</b>

Notas: C1: Areal / C2: Candangolândia / C3: Jardim Botânico / C4: Lago Sul / C5: Núcleo Bandeirante / C6: Riacho Fundo I / C7: Samambaia Sul / C8: SHA / C9: Park Way (SMPW) / C10: Taguatinga Sul / I: Incomodado / AI: Altamente Incomodado / NII: Nível de incômodo

Na Tabela 32, para o ruído aeronáutico, foi verificado um percentual significativo de

respondentes I e AI com destaque para C4 (Lago Sul: 40%), C5 (Núcleo Bandeirante: 43%), C6 (Riacho Fundo: 45%) e C9 (Park Way: 46%).

Ainda da Tabela 32, verifica-se uma associação expressiva entre o nível de incômodo e o ruído aeroviário, pois o valor  $p$  (0,004) é altamente significativo indicando que a percepção de incômodo ocorre de forma diferente nas RA's analisadas. É o caso, por exemplo, dos elevados %I e %AI observados no Riacho Fundo e Taguatinga Sul ( $50 < DNL \leq 55$ ). Essas RA's apresentam consideráveis percentuais de populações expostas ao ruído aeronáutico, nas  $DNL$ 's 50 e 55, e estão sob a principal rota de pouso que utiliza a pista 1 do SBBR (cabeceiras 11L – 29R). Em 2014, 66% das operações de pouso foram realizadas na cabeceira 11L e 45,3% da operação total (pousos e decolagens) ocorreram na pista 1.

Para o ruído rodoviário todas as RA's apresentaram consideráveis percentuais de incomodados. De forma geral, nota-se que os pesquisados se sentem mais altamente incomodados (AI) com o ruído do tráfego rodoviário do que com o ruído aeronáutico. Cabe ressaltar, que existe uma tendência do aumento do nível de incômodo com o ruído rodoviário em Brasília, pois além dos congestionamentos, que já são comuns nos horários de pico, o crescimento acelerado da frota de veículos provoca acréscimo nos níveis de ruídos (Garavelli *et al.*, 2014).

Para o ruído proveniente de trens, obteve-se percentuais de incomodados nas cidades C5 (Núcleo Bandeirante: 14%), C7 (Samambaia Sul: 7%), C8 (SHA: I – 14%), C9 (Park Way: 13%) e C10 (Taguatinga Sul: 8%). No Núcleo Bandeirante e no Park Way a linha férrea passa muito próxima às residências em alguns locais. Já Samambaia Sul, SHA, Park Way e Taguatinga Sul são atravessadas por linhas do Metrô – DF. Foi verificada uma associação entre o nível de incômodo e o ruído proveniente dos trens, pois o valor  $p$  (0,049) mostrou-se altamente significativo indicando que a percepção de incômodo ocorre de forma diferente nas RA's analisadas. O impacto do ruído de trens ainda é pouco estudado no DF. No entanto, Garavelli e Oliveira (2007) avaliaram os níveis ruídos emitidos pelo metrô do DF, em Águas Claras, constatando que os níveis de pressão sonora emitidos pela operação do metrô estão acima do limite imposto pela legislação vigente (NBR 10.151/2000).

Quanto ao ruído das motocicletas, todas as RA's apresentaram expressivos percentuais de nível de incômodo com o ruído das motocicletas, com destaque para Jardim Botânico (86%), Samambaia Sul (64%), Park Way (50%) e Taguatinga Sul (63%). Esses resultados mostram que

o ruído proveniente das motocicletas apresenta incômodo significativo. Isso se deve, geralmente, pela prática da troca do escapamento original das motocicletas por escapamentos chamados esportivos ou pelo uso de escapamentos sem o silenciador.

Para a fonte de ruído carros de som, todas as RA's apresentaram expressivos percentuais de incomodados com o ruído dos carros de som. Também constatou-se uma relação altamente significativa entre o nível de incômodo e o ruído dos carros de som ( $p = 0,000$ ) indicando uma diferença na percepção de incômodo entre as RA's. O ruído proveniente de carros de som também vem sendo pouco estudado no DF. Todavia, Ribeiro *et al.* (2005) quantificaram os níveis de ruído emitidos por carros de som no DF e constataram que os valores medidos ultrapassaram os níveis permitidos pela legislação em todas as áreas estudadas. Concluíram que esta atividade é inviável sob ponto de vista ambiental, pois contribuem de forma expressiva para o aumento da contaminação acústica das cidades, além de prejudicar o conforto da população em geral.

Com relação ao ruído das construções, todas as RA's apresentaram significativos percentuais de nível de incômodo com o ruído das construções. Foi verificada uma associação altamente significativa entre o nível de incômodo e o ruído das construções ( $p = 0,000$ ) indicando uma diferença na percepção de incômodo entre as RA's. Maroja e Garavelli (2011) realizaram um estudo para estimar e simular o nível de pressão sonora (NPS) emitido durante os estágios de uma obra na construção civil na cidade de Águas Claras. Como resultados obtiveram que os NPS gerados pelas construções estão acima do limite estabelecido pela NBR 10.151 e pela Legislação Distrital (DF, 2008) mostrando a necessidade da inclusão do tema ruídos nos estudos de impactos ambientais causados pela construção civil.

Para o ruído de restaurantes/bares/boates os maiores %I e %AI estão nas cidades de C5 (Núcleo Bandeirante: 27%), C6 (Riacho Fundo: 34%), C7 (Samambaia Sul: 32%), C9 (Park Way: 25%) e C10 (Taguatinga Sul: 33%). O ruído relacionado às fontes de lazer (ruído de bares/restaurantes/boates), em Brasília, tem causado vários conflitos entre empresários e moradores. Já para o ruído de vizinhos durante a noite todas as RA's apresentaram consideráveis níveis de incômodo. Essa fonte de ruído está associada, frequentemente, ao som alto de festas gerando conflitos entre vizinhos.

A Tabela 33 indica o percentual de incomodados, por *DNL*, em relação ao ruído aeronáutico. Como esperado, o percentual de incomodados para as curvas mais ruidosas (*DNL* 60 e *DNL* 65) é maior do que para as curvas menos ruidosas (*DNL* 50 e *DNL* 55).

Tabela 33. Nível de incômodo com o ruído aeronáutico para cada *DNL*

NII	<i>DNL</i>				% do Total	$\chi^2$ (9)	$\rho$ de Spearman
	50	55	60	65			
NI	16%	18%	13%	5%	15%	28,456 $p = 0,001$	0,226 $p = 0,000$
PI	63%	53%	51%	33%	53%		
I	13%	18%	13%	26%	16%		
<b>AI</b>	<b>9%</b>	<b>12%</b>	<b>23%</b>	<b>36%</b>	<b>16%</b>		

Nota: NI: Nada Incomodado / PI: Pouco Incomodado / I: Incomodado  
AI: Altamente Incomodado / NII: Nível de incômodo

Ainda da Tabela 33, foi verificado que 62% dos respondentes na *DNL* 65 encontram-se incomodados (I) e altamente incomodados (AI), 36% na *DNL* 60, 30% na *DNL* 55 e 22% na *DNL* 50. Cabe ressaltar, que na curva *DNL* 65 o percentual de AI é 4 vezes maior do que na *DNL* 50. O  $\chi^2$  (9) com  $p = 0,001$  indica a existência de uma associação altamente significativa entre o nível de incômodo e as *DNL*'s, ou seja, o nível de incômodo é percebido de forma diferente pelos respondentes nas diferentes RA's.

A Tabela 34 mostra os resultados do nível de incômodo causado pelo ruído aeronáutico, em algumas atividades cotidianas. De forma geral, nas regiões mais ruidosas (*DNL* 60 – 65) os percentuais de incomodados e altamente incomodados com o ruído aeronáutico, quando estão realizando as atividades mencionadas, são maiores do que nas regiões sob as curvas menos ruidosas (*DNL* 50 – 55). Ainda foi verificada a existência de correlações positivas, moderadas e altamente significativas ( $p = 0,000$ ) entre os níveis de incômodo na realização de atividades diárias, com os níveis de ruído aeronáutico. Desse modo, se os níveis de ruído aeronáutico aumentam o nível de incômodo também se eleva na realização dessas atividades do dia-a-dia.

Vale destacar, que para o ruído rodoviário e combinado (aeroviário e rodoviário) também foram verificadas correlações moderadas, positivas e altamente significativas ( $p = 0,000$ ) para todas as atividades cotidianas pesquisadas.

Tabela 34 Nível de incômodo com o ruído aeronáutico em atividades cotidianas

Atividades cotidianas	NII	Ruído aeronáutico		
		DNL 50-55 n = 288	DNL 60-65 n = 114	$\chi^2$ (3)
lendo/estudando	I	15%	17%	1,54 0,674*
	AI	27%	32%	
	$\rho$	0,586 0,000*	0,430 0,000*	
assistindo TV	I	13%	13%	13,09 0,040*
	AI	21%	38%	
	$\rho$	0,548 0,000*	0,581 0,000*	
falando ao telefone	I	16%	14%	19,52 0,000*
	AI	23%	44%	
	$\rho$	0,564 0,000*	0,567 0,000*	
dormindo	I	6%	6%	1,56 0,067*
	AI	20%	26%	
	$\rho$	0,388 0,000*	0,366 0,000*	
meditando/rezando/orando	I	10%	10%	3,17 0,366*
	AI	21%	18%	
	$\rho$	0,479 0,000*	0,382 0,000*	

Nota: NI: Nada Incomodado / PI: Pouco Incomodado / I: Incomodado  
AI: Altamente Incomodado / NII: Nível de incômodo / \* valor  $p$  /  $\rho$  = correlação de Spearman

A Figura 23 expressa os resultados do nível de incômodo, onde o percentual de “incomodados” foi somado com o percentual de “altamente incomodados” causado pelo ruído aeronáutico e rodoviário. Nota-se que os níveis de incômodo com o ruído rodoviário e aeronáutico, apresentam-se aproximados para as atividades relacionadas ao estudo, meditar/rezar/orar, falar ao telefone e assistir TV. Entretanto, para a atividade “dormindo” os pesquisados mostram-se muito mais incomodados com o ruído do tráfego rodoviário (44%) do que para o ruído do tráfego aeroviário (28%).

De forma geral, os resultados apontados na Figura 23 são corroborados por resultados de outros estudos. Lam *et al.* (2008) obtiveram que o ruído aeronáutico incomoda fortemente atividades rotineiras, como dormir, assistir TV e concentrar-se. Schreckenber *et al.* (2010) concluíram que ruído aeronáutico provoca incômodo relativamente elevado e também está correlacionado com distúrbios em atividades diárias realizadas no interior das residências ou no exterior. Já Carvalho Jr *et al.* (2012) consideram o ruído rodoviário e aeronáutico capazes de interferir significativamente no processo de comunicação, na concentração em atividades de escrita e leitura, no sono, além de provocar sobressaltos (sustos). Já Nunes e Ribeiro (2008) afirma que o

ruído do tráfego rodoviário compromete a qualidade de vida e o bem-estar da população, pois, gera incômodo e interfere na realização de atividades básicas e rotineiras.

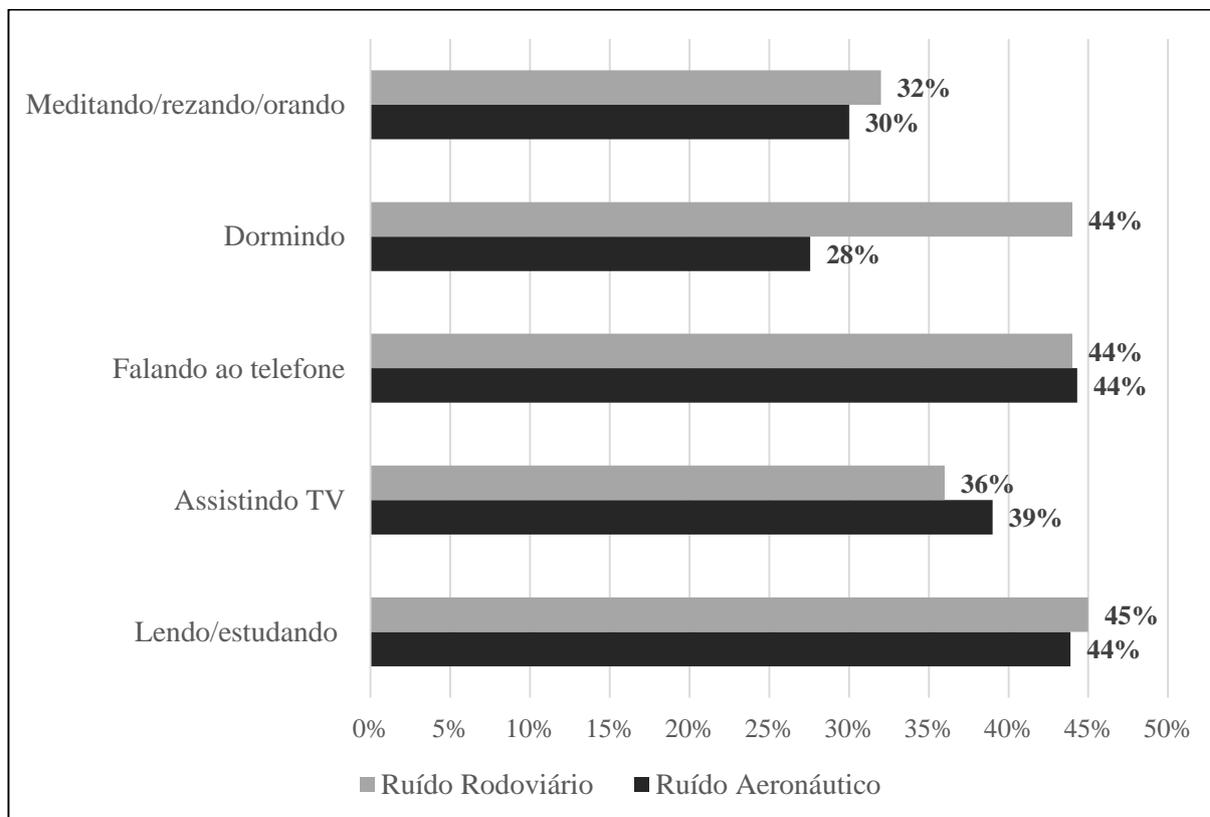


Figura 23 Nível de incômodo causado pelo ruído aeronáutico e rodoviário nas atividades cotidianas em cidades próximas do SBBR

Os pesquisados também responderam o quanto o ruído proveniente dos aviões os incomodavam durante o dia e à noite. A Tabela 35 mostra os resultados obtidos para as curvas mais ruidosas (*DNL* 60 – 65) e menos ruidosas (*DNL* 50 – 55). Verifica-se que o percentual de incomodados (AI) com o ruído aeronáutico nas *DNL*'s 60 e 65 foi maior no período diurno do que no noturno.

Para a curva *DNL* 50 – 55 o nível de AI foi um pouco superior no período noturno (21%) do que no diurno (18%). As correlações ( $\rho$ ) obtidas são positivas, moderadas e altamente significativas ( $p = 0,000$ ) apresentando maiores correlações para o período diurno. Assim, se os níveis de ruído aeronáutico aumentam os níveis de incômodo também aumentam, tanto no período diurno quanto no noturno.

Tabela 35 Nível de incômodo por período

Período	NII	Ruído aeronáutico		$\chi^2$ (3)
		DNL 50-55 n = 288	DNL 60-65 n = 144	
Diurno: 07h – 22h	I	15%	16%	11,80 0,008*
	AI	18%	33%	
	$\rho$	0,672 0,000*	0,644 0,000*	
Noturno: 22h – 07h	I	9%	11%	3,15 0,369*
	AI	21%	27%	
	$\rho$	0,516 0,000*	0,568 0,000*	

Nota: NI: Nada Incomodado / PI: Pouco Incomodado / I: Incomodado / AI: Altamente Incomodado / NII: Nível de incômodo / \* valor  $p$  /  $\rho$  = correlação de Spearman

A Figura 24 mostra o nível de incômodo (resultado da soma dos incomodados com os altamente incomodados) dos respondentes com o ruído aeronáutico, por faixa etária e por período do dia. Nota-se que o nível de incômodo com o ruído aeroviário é maior, durante o período diurno, para os pesquisados com idades entre 18 e 50 anos. Para os respondentes na faixa etária 51 – 60 anos o incômodo no período noturno (40%) foi maior do que no diurno (33%).

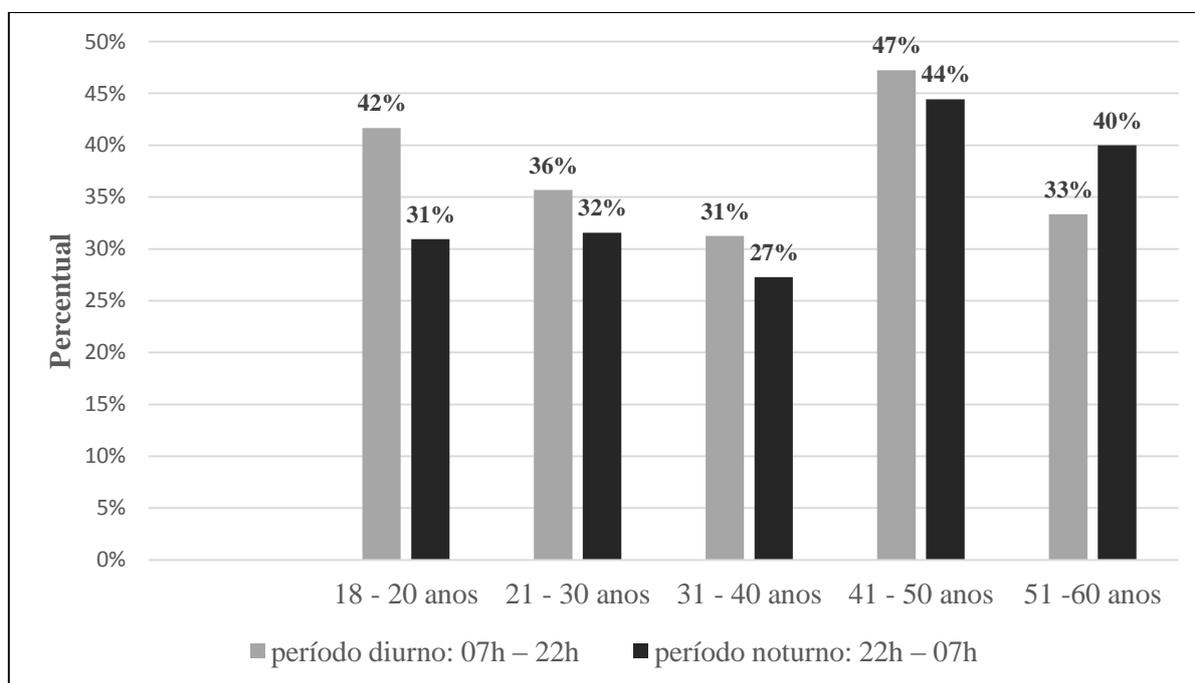


Figura 24 Nível de incômodo com o ruído aeronáutico por faixa etária e por período do dia

A Figura 25 mostra o nível de incômodo (resultado da soma dos incomodados com os altamente incomodados) dos respondentes com o ruído rodoviário, por faixa etária e por período do dia.

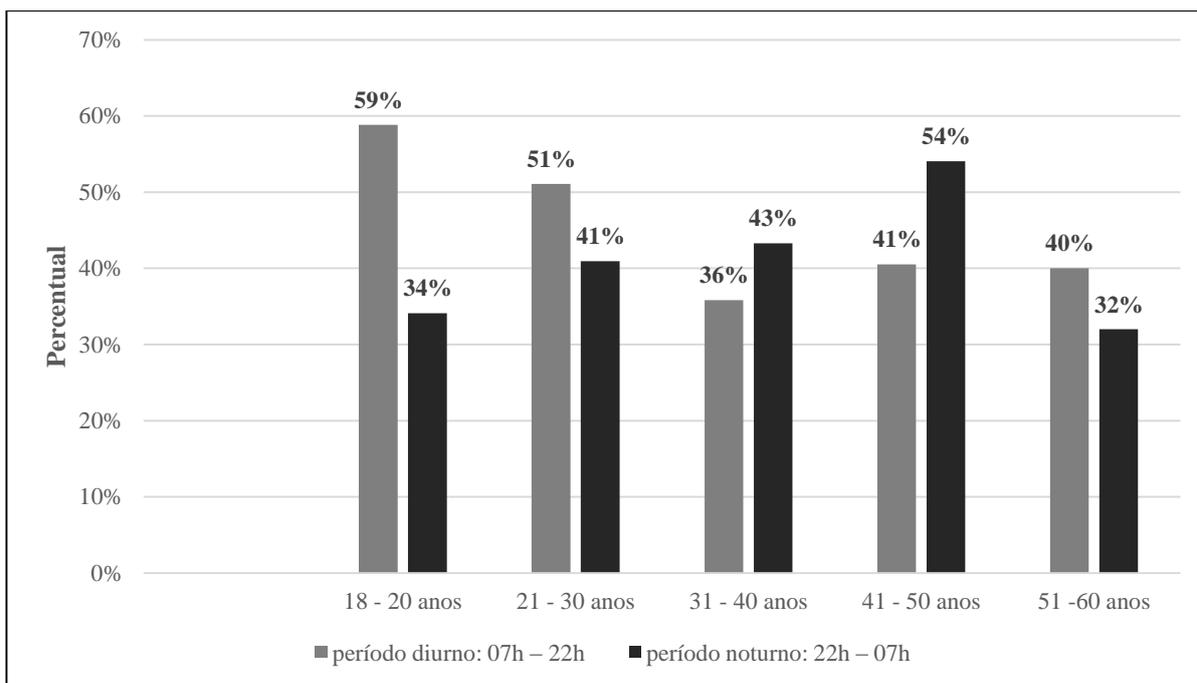


Figura 25 Nível de incômodo com o ruído rodoviário por faixa etária e por período do dia

Da Figura 25, verifica-se que o nível de incômodo com o ruído rodoviário é maior, durante o período diurno, para os respondentes com idades entre 18 e 30 anos e na faixa 51 – 60 anos. Para os respondentes nas faixas etárias 31 – 40 e 41 – 50 anos o incômodo no período noturno foi maior do que no diurno (33%).

Comparando as Figuras 24 e 25, observa-se que nas faixas etárias 18 – 20, 21 – 30 e 31 – 40 anos os percentuais de incômodo com o ruído rodoviário, no período diurno e noturno, são mais elevados do que os percentuais de incômodo indicados para o ruído aeronáutico. Na faixa etária 41 – 50 anos os pesquisados apontaram um nível de incômodo com o ruído aeronáutico (47%), no período diurno, maior do que o nível de incômodo com o ruído rodoviário (41%). No período noturno os respondentes mostraram-se mais incomodados com o ruído do tráfego rodoviário (54%) do que com o ruído aeronáutico (44%). Por fim, na faixa 51 – 60 anos o nível de incômodo com o ruído aeroviário (33%), no período diurno, é menor do que o nível de incômodo com o ruído rodoviário (40%). Já no período noturno, o nível de incômodo com o ruído aeronáutico é maior (40%) do que com o ruído rodoviário (32%).

Em suma, constata-se que os percentuais de incomodados, tanto para o ruído aeroviário quanto para o ruído do tráfego rodoviário, são elevados para o período diurno e noturno. Desse modo, essas fontes de ruído comprometem a qualidade de vida e o bem-estar da população, pois além

de gerar incômodo, interfere na realização de atividades cotidianas (Lam *et al.*, 2009; Nunes e Ribeiro, 2008 e Carvalho Jr *et al.*, 2012).

A Tabela 36 expressa as respostas referentes aos pesquisados se sentirem incomodados quando despertados/acordados no meio da noite pelo ruído aeroviário. Para as regiões sob as curvas mais ruidosas (*DNL* 60 – 65), o percentual total de incomodados e altamente incomodados é de 61%. Para as regiões sob as curvas menos ruidosas (*DNL* 50 -55) o percentual total é de 53%, ou seja, os respondentes mostraram-se mais incomodados, ao serem despertados pelo ruído aeronáutico, nas regiões sob as curvas *DNL* 60 – 65. Cabe destacar, que os percentuais de incomodados, nas curvas mais e menos ruidosas, indicam que quando o respondente é despertado o nível de incômodo é elevado.

Tabela 36. Nível de incômodo quando acordado com o ruído aeronáutico

o(a) acorda/desperta no meio da noite	NII	<i>DNL</i> 50-55 n = 288	<i>DNL</i> 60-65 n = 144	$\chi^2$ (3)
ruído aeronáutico	I	10%	15%	3,47 $p = 0,325$
	AI	43%	46%	
	$\rho$	0,336 0,000*	0,277 0,003*	

Nota: NI: Nada Incomodado / PI: Pouco Incomodado / I: Incomodado / AI: Altamente Incomodado / NII: Nível de incômodo / \* valor  $p$  /  $\rho$  = correlação de Spearman

Uma análise de relação cruzada foi realizada entre o sexo dos respondentes e o nível de incômodo com o despertar/acordar com o ruído aeronáutico e rodoviário. Dos pesquisados, 47% dos homens e 53% das mulheres indicaram se sentirem altamente incomodados com o ruído aeronáutico quando despertados no meio da noite. Já 40% dos homens e 60% das mulheres, ao serem acordados com o ruído do tráfego aeronáutico, sentem-se incomodados.

Com relação ao ruído rodoviário, os percentuais de homens e mulheres, que indicaram se sentirem altamente incomodados quando despertados no meio da noite, são os mesmos obtidos para o ruído aeronáutico, ou seja, 47% para os homens e 53% para as mulheres. 48% dos homens e 52% das mulheres, ao serem despertados com o ruído do tráfego rodoviário, sentem-se incomodados. Sendo assim, os pesquisados do sexo feminino sentem-se mais incomodados que os do sexo masculino quando despertados no meio da noite.

#### 5.4.2 Análises da Seção 02

Na Seção II do questionário, as perguntas referiam-se ao distúrbio no sono, que durante a noite, impedia o respondente de ter um sono tranquilo, reparador e provoca sonolência diurna excessiva (SDE). A Tabela 37 mostra os resultados obtidos, por faixa etária dos respondentes, sendo possível observar que todos os pesquisados apresentaram algum grau de sonolência e sendo que 17% foram classificados com grau de sonolência moderada e 2% com grau de sonolência grave.

Tabela 37. ESE versus faixa etária

ESE	Faixa etária (anos)					Total
	18 - 20	21 - 30	31 - 40	41 - 50	51 - 60	
Normal	11%	18%	15%	27%	20%	17%
Limite	22%	23%	24%	16%	20%	22%
Leve	44%	40%	42%	41%	44%	41%
Moderada	22%	18%	18%	8%	8%	17%
Grave	1%	1%	1%	8%	8%	2%

Foi constatado, para as regiões sob as curvas *DNL's* 50 - 55 (menos ruidosas), que todos os respondentes apresentaram algum nível de sonolência, predominantemente leve e moderada. A SED mostrou-se significativamente associada com a idade (faixa etária), escolaridade e sexo dos pesquisados. Os respondentes com idade entre 18 – 30 anos e 31 – 40 anos, maior nível de escolaridade e do sexo feminino, apresentaram os maiores percentuais para grau de sonolência leve ou moderada.

Também foi observado um percentual considerável de pesquisados, que foram classificados com graus leves e moderados de SED, considerando-se altamente incomodados e incomodados com o ruído aeronáutico e ao nível de incomodo ao ser acordado no meio da noite pelo ruído aeronáutico.

Para as curvas mais ruidosas (*DNL's* 60 – 65), todos os pesquisados também apresentaram algum nível de sonolência, com predominância dos graus leve e moderado sendo observado um percentual considerável de respondentes com graus leves e moderados de SED, em todas as faixas etárias, nos níveis de escolaridade mais elevados (ensino superior e pós-graduação) e em respondentes do sexo feminino. A SED apresentou uma relação estatisticamente significativa com as variáveis nível de incômodo com ruído aeronáutico, rodoviário, carros de som, construções, restaurantes/bares/boates, vizinhos à noite e com o ruído aeronáutico quando o respondente é acordado no meio da noite.

## 5.5 FASE 05 – MODELO DOSE RESPOSTA

### 5.5.1 Regressão Logística: AI (altamente incomodados) x DNL

Uma regressão logística (RL) foi aplicada para a obtenção dos modelos dose-resposta para o nível de incômodo proveniente da exposição ao ruído aeronáutico. Segundo recomendações da Comunidade Europeia, foram definidas as três categorias superiores (28%) da escala numérica de 11 pontos como respondentes altamente incomodados (AI). A amostra foi composta por 339 pesquisados não incomodados e 63 altamente incomodados.

Primeiramente, executou-se a RL com a variável dependente (VD) os “altamente incomodados (AI)” e a variável independente a métrica *DNL*. A análise detalhada da RL executada encontra-se no Apêndice “F”. O modelo logístico para descrever a relação existente entre o nível de altamente incomodados (AI) e a variável *DNL* fica assim descrita:

$$AI = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_1)}} = \frac{1}{1 + e^{-(-8,845 + 0,127 DNL)}} \quad (28)$$

Ou ainda:

$$AI = \frac{1}{1 + e^{(8,845 - 0,127 DNL)}} \quad (29)$$

Para se determinar o %AI, percentual de indivíduos que se declarariam AI com o ruído aeronáutico em uma determinada *DNL*, altera-se a equação 29 para a seguinte forma:

$$\% AI = \frac{100}{1 + e^{(8,845 - 0,127 DNL)}} \quad (30)$$

### 5.5.2 Regressão logística: I (incomodados) x DNL

Para a determinação dos incomodados (I) definiu-se, na escala de incômodo, um ponto de corte em 50%. Inicialmente, ao se executar a RL para a variável dependente I e a VI *DNL*, foi observado que todos os casos incluídos na análise foram utilizados. A amostra foi composta por

273 pesquisados não incomodados e 129 incomodados. Os resultados encontram-se resumidos no Apêndice “G”.

O modelo para descrever a relação existente entre o nível de incômodo (I) e a variável *DNL* fica assim descrita:

$$I = \frac{1}{1 + e^{(6,617 - 0,105 DNL)}} \quad (31)$$

Para se determinar o %I, percentual de indivíduos que se declarariam I com o ruído aeronáutico em uma determinada *DNL*, altera-se a equação 31 para a seguinte forma:

$$\% I = \frac{100}{1 + e^{(6,617 - 0,105 DNL)}} \quad (32)$$

### 5.5.3 Regressão Logística: AI (altamente incomodados) x *L<sub>den</sub>*

O *L<sub>den</sub>* foi escolhido neste estudo por representar o indicador acústico adotado pela OMS e pela CE. Também tem sido adotado por diversos países, pois penaliza o ruído no período do entardecer (18:00h às 22:00h) em 5 dB. Com relação ao *L<sub>den</sub>*, cabe destacar que foi verificado uma associação altamente significativa ( $\chi^2 = 21,82$ , gl. 9 e  $p = 0,009$ ) e também uma correlação ( $\rho = 0,190$  e  $p = 0,000$ ) positiva e altamente significativa entre o nível de incômodo e o indicador *L<sub>den</sub>*. Dessa maneira, os pesquisados percebem de forma diferente o ruído aeronáutico nas diferentes curvas de ruído *L<sub>den</sub>*.

Para a determinação dos altamente incomodados definiu-se, na escala de incômodo, um ponto em três categorias superiores (28%) da escala numérica de 11 pontos. Inicialmente, ao se executar a RL para a VD AI e a VI *L<sub>den</sub>*, foi observado que todos os casos incluídos na análise foram utilizados. A amostra foi composta por 339 pesquisados não incomodados e 63 altamente incomodados. Os resultados encontram-se resumidos no Apêndice “H”.

O modelo para descrever a relação existente entre AI e a variável *L<sub>den</sub>* fica assim descrita:

$$AI = \frac{1}{1 + e^{(8,862-0,125L_{den})}} \quad (33)$$

Para o cálculo do %AI, percentual de indivíduos que se declarariam AI com o ruído aeronáutico para um determinado valor do  $L_{den}$ , altera-se a equação 33 para a seguinte forma:

$$\% AI = \frac{100}{1 + e^{(8,862-0,125L_{den})}} \quad (34)$$

#### 5.5.4 Regressão Logística: I (incomodados) x $L_{den}$

Foi definida para a determinação dos incomodados (I), na escala de incômodo, um ponto de corte em 50%. Ao se executar a RL para a variável dependente I e a VI  $L_{den}$ , todos os casos incluídos na análise foram aproveitados. A amostra foi composta por 273 pesquisados não incomodados e 129 incomodados. Os resultados encontram-se resumidos no Apêndice “I”.

O modelo para descrever a relação existente entre o nível de incômodo (I) e a variável  $DNL$  fica assim descrita:

$$I = \frac{1}{1 + e^{(6,039-0,093L_{den})}} \quad (35)$$

Para se determinar o %I, percentual de indivíduos que se declarariam I com o ruído aeronáutico em uma determinada  $L_{den}$ , altera-se a equação 35 para a seguinte forma:

$$\% I = \frac{100}{1 + e^{(6,039-0,093L_{den})}} \quad (36)$$

#### 5.5.5 Curvas dose-resposta dos modelos gerados

A Tabela 38 resume as funções logísticas geradas e apresentadas nas equações 30, 32, 34 e 36.

Tabela 38. Funções logísticas geradas para o ruído aeronáutico

Equação	Função logística
30	$\% AI = \frac{100}{1 + e^{(8,845 - 0,127 DNL)}}$
32	$\% I = \frac{100}{1 + e^{(6,617 - 0,105 DNL)}}$
34	$\% AI = \frac{100}{1 + e^{(8,862 - 0,125 L_{den})}}$
36	$\% I = \frac{100}{1 + e^{(6,039 - 0,093 L_{den})}}$

Com essas funções foram geradas as curvas logísticas, ou curvas dose-resposta, com uso do software Gnuplot 5.0. A Figura 26 mostra essas curvas para as métricas  $DNL$  e  $L_{den}$  e observa-se que as funções geradas com a métrica  $DNL$  indicam um nível de incômodo ligeiramente superior aos modelos elaborados com a métrica  $L_{den}$ , a partir do limite 55 dB.

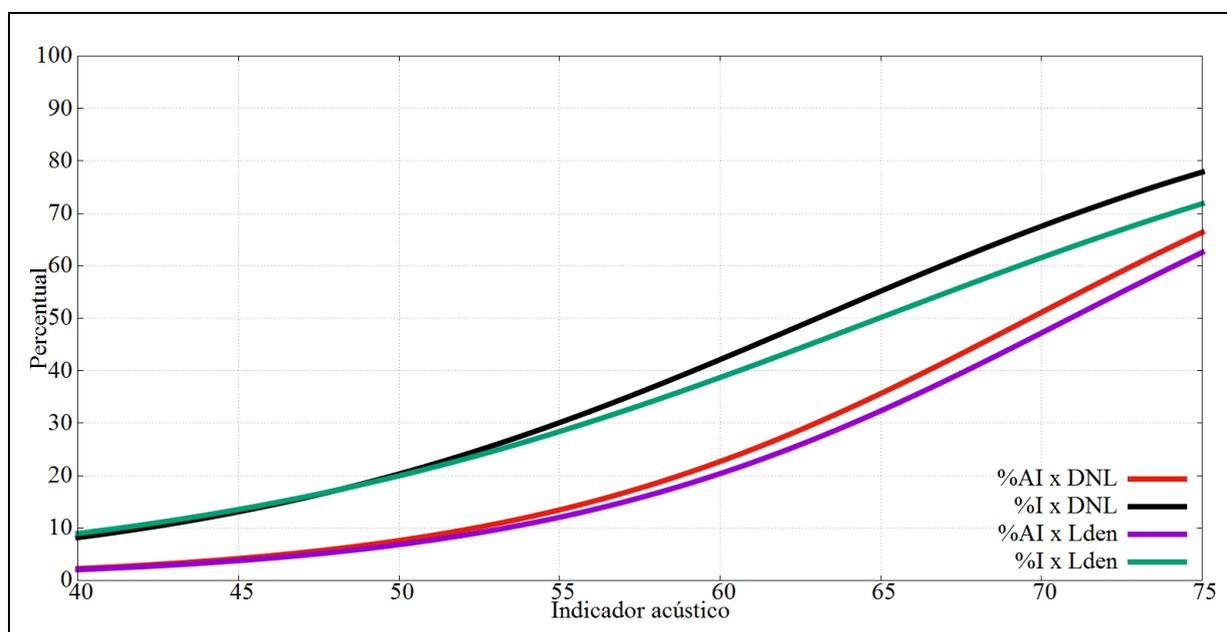


Figura 26 Curvas dose-resposta geradas

### 5.5.6 Comparações com resultados internacionais

A Tabela 39 expressa as funções elaboradas em diferentes países, e nesta Tese, para a relação dose-resposta entre %I, %AI e a métrica  $DNL$ .

Tabela 39. Funções adotadas para comparação entre %I, %AI e DNL

<b>América do Norte e Europa</b>	
Schultz (1978) <sup>a</sup>	$\% AI = 0,8553 \times DNL - 0,0401 \times DNL^2 + 0,00047 \times DNL^3$
Fidel <i>et al.</i> (1991) <sup>a</sup>	$\% AI = 78,9181 \times DNL - 3,2645 \times DNL^2 + 0,0360 \times DNL^3$
Finegold <i>et al.</i> (1992 <i>apud</i> FICON, 1992) <sup>a</sup>	$\% AI = \frac{100}{1 + e^{(11,13 - 0,141DNL)}}$
<b>Europa</b>	
CE (2002) <sup>b</sup>	$\% I = 1,460 \times 10^{-5} (DNL - 37)^3 + 1,511 \times 10^{-2} (DNL - 37)^2 + 1,346(DNL - 37)$ $\% AI = -1,395 \times 10^{-4} (DNL - 42)^3 + 4,081 \times 10^{-2} (DNL - 42)^2 + 0,342(DNL - 42)$
Suíça (2001) <sup>c</sup>	$\% I = \frac{100}{1 + e^{(6,03 - 0,10DNL)}} e \ \% AI = \frac{100}{1 + e^{(6,93 - 0,10DNL)}}$
Suíça (2003) <sup>c</sup>	$\% I = \frac{100}{1 + e^{(4,54 - 0,07DNL)}} e \ \% AI = \frac{100}{1 + e^{(5,29 - 0,07DNL)}}$
<b>Ásia</b>	
Japão (2012) <sup>d</sup>	$\% AI = 0,105 \times (DNL)^2 - 10,103 \times DNL + 263,31$
China (2012) <sup>e</sup>	$\% AI = 0,072 \times (DNL)^2 - 5,036 \times DNL + 83,810$
<b>Resultados da Tese</b>	
Brasil (2015) <sup>f</sup>	$\% I = \frac{100}{1 + e^{(6,617 - 0,105DNL)}} e \ \% AI = \frac{100}{1 + e^{(8,845 - 0,127DNL)}}$

a: resultado obtido da análise de bancos de dados de diferentes países da América do Norte e Europa; b: Comunidade Europeia (estudos desenvolvidos por Miedema e Oudshoorn (2001) na Holanda) c: Brink *et al.*, (2008); d: Yamada, 2012; e: Guoqing *et al.*, 2012 /f: Resultado da Tese

A Figura 27 mostra a comparação entre a curva “Resultado da Tese” e as curvas de Schultz (1978), Fidell *et al.* (1991) e Finegold *et al.* (1992) sintetizadas para representar o percentual de altamente incomodados em função do ruído proveniente das principais fontes de transportes (aeroviário, rodoviário e ferroviário). Nos Estados Unidos, o FAA (*Federal Aviation Administration*) adota essas relações dose-resposta como a principal base das diretrizes relacionadas à compatibilidade do zoneamento sonoro com o uso e ocupação do solo.

No entanto, o FAA reconhece que essas relações dose-resposta estão desatualizadas, pois pesquisas recentes, em diversos países, apresentaram resultados expressivamente diferentes dos desses modelos. Dessa forma, o FAA iniciou uma grande pesquisa, a ser realizada em 20 aeroportos, para o desenvolvimento de modelos dose-resposta atualizados (Miller *et al.*, 2014). A comparação mostrada na Figura 27 corrobora o reconhecimento da FAA, pois o nível de incômodo, entre os pesquisados em regiões no entorno do Aeroporto de Brasília, é maior do que o predito nas curvas desses autores.

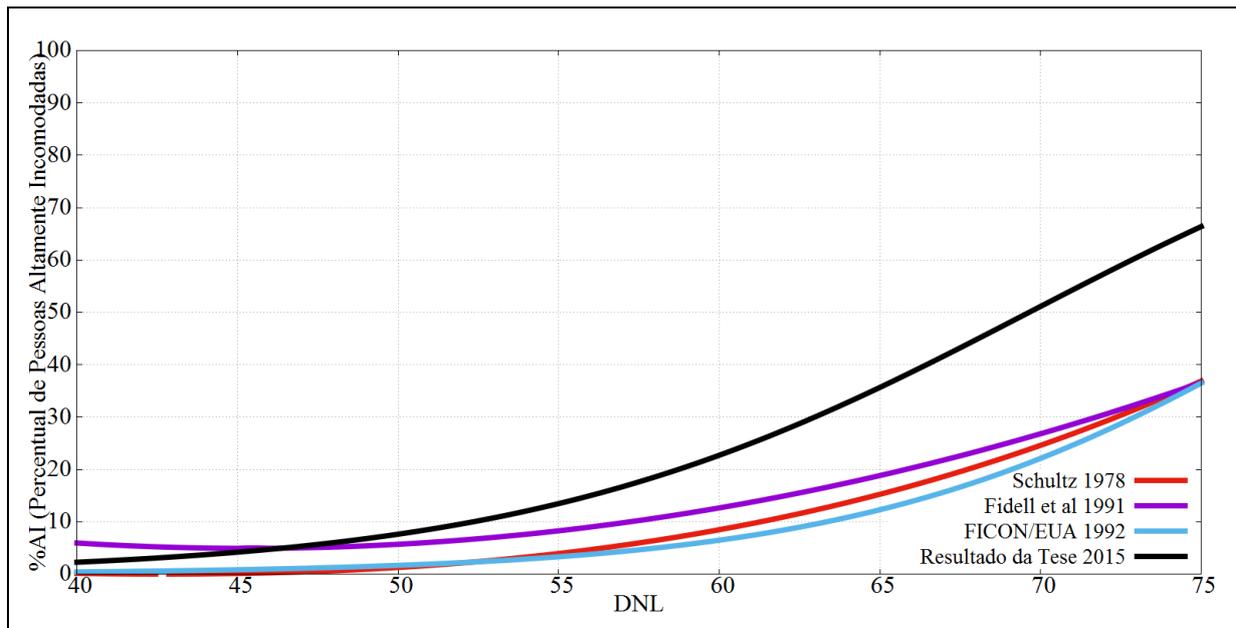


Figura 27. Comparação das curvas dose-respostas Schultz (1978), Fidell et al. (1991), FICON/EUA (1992) e resultado da Tese

A Figura 28 expressa a comparação da curva resultado desta Tese e a curva da CE (2002) e de estudos desenvolvidos na Suíça para o aeroporto de Zurique. Assim como as curvas dose-respostas da Suíça, 2001 e 2003, a curva “Resultado da Tese” indica um nível de incômodo maior do que a curva preditiva da CE.

A Figura 29 mostra que a curva “Resultado da Tese” expressa um nível de incômodo menor do que o percebido no estudo do Japão e da China. Até a *DNL* 55 os respondentes japoneses apresentam um nível de incômodo menor do que os chineses e partir deste limite os pesquisados chineses mostraram-se mais incomodados.

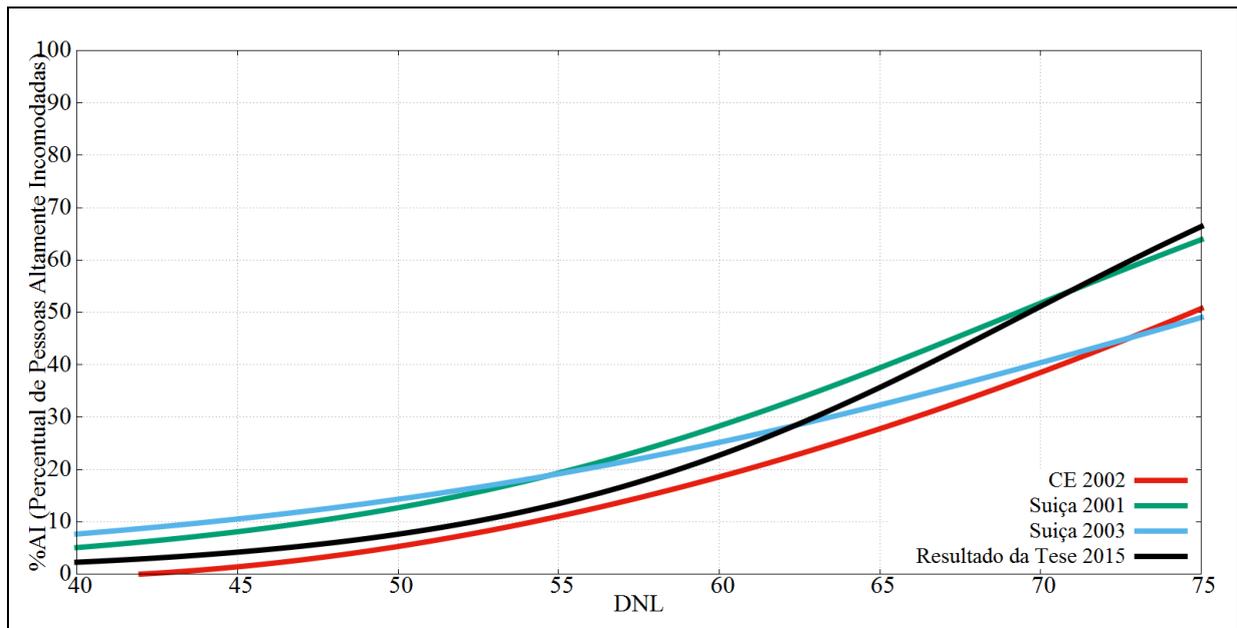


Figura 28. Comparação das curvas dose-respostas europeias e a curva obtida neste estudo

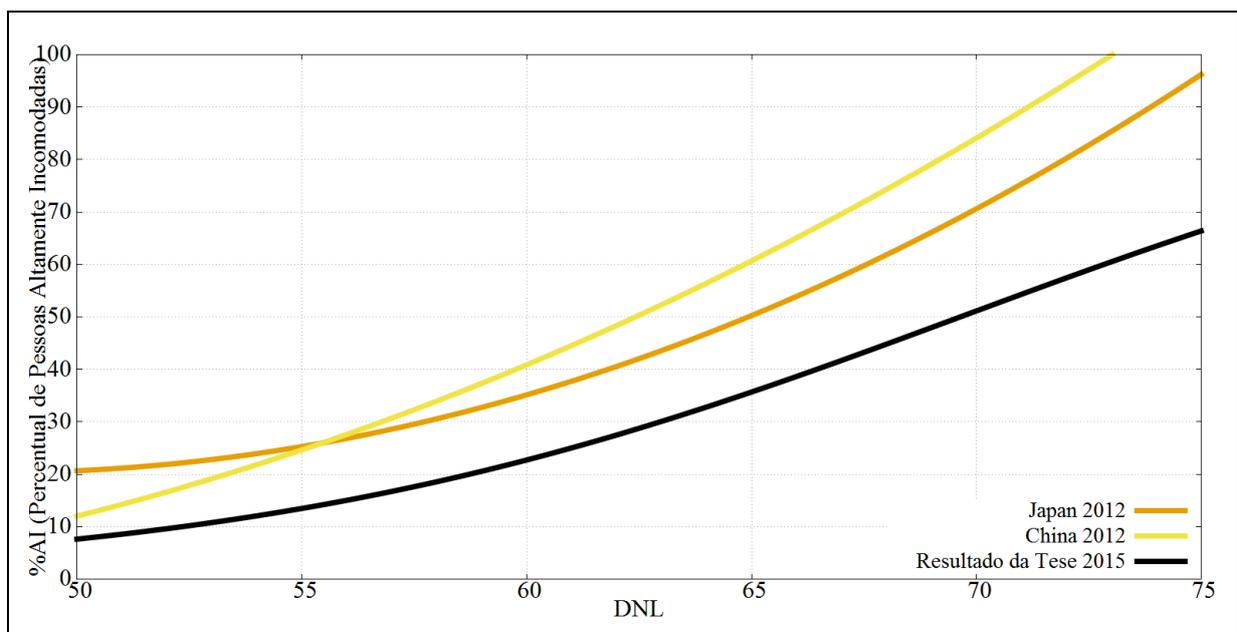


Figura 29. Comparação das curvas dose-respostas do Japão e China com a curva “Resultado da Tese”

A Figura 30 mostra a comparação das curvas %I em função do *DNL* para CE, Suíça e a curva “Resultado da Tese”. A curva %I, síntese desta Tese, é superior à curva preditiva da CE após o limite *DNL* 55 e menor do que a curva obtida para a Suíça 2001 e 2003 até o limite *DNL* 60. Após esse limite, a percepção de incômodo dos respondentes no entorno do Aeroporto de Brasília é superior ao resultado da Suíça 2003 e inferior ao resultado da Suíça 2001.

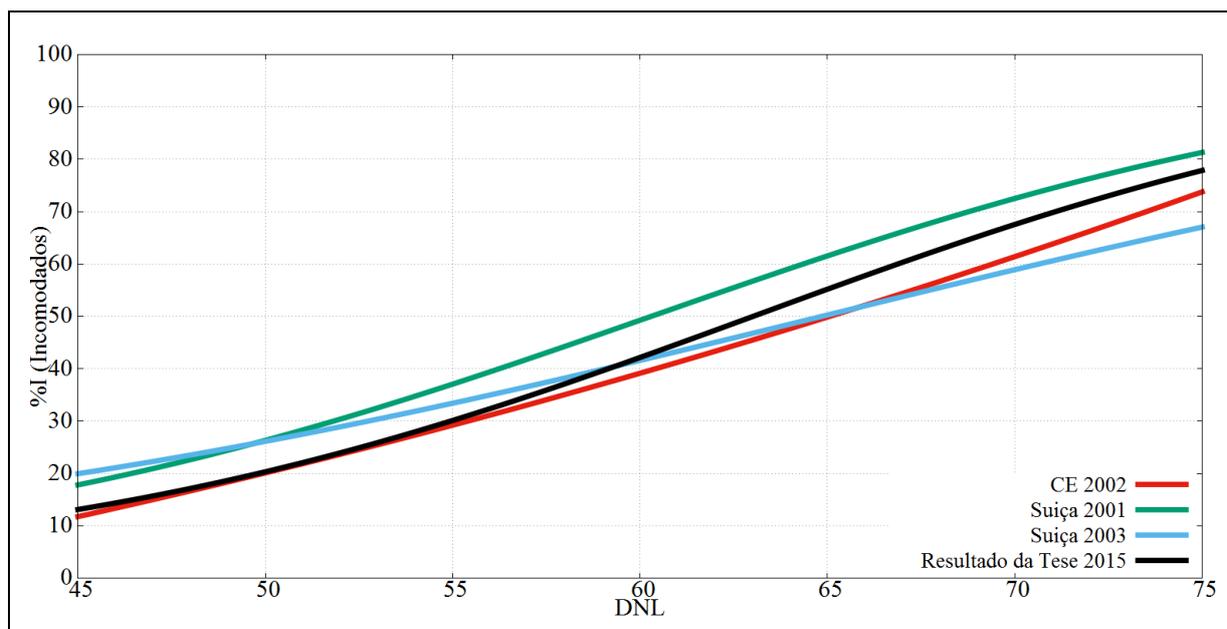


Figura 30. Comparação das curvas dose-respostas %I

A Tabela 40 mostra as funções, provenientes de diferentes pesquisas e o resultado obtido nesta Tese, que relacionam o %I e %AI com a métrica acústica  $L_{den}$ .

Tabela 40. Funções adotadas para comparações entre %I, %AI e  $L_{den}$

<b>Europa</b>	
EC (2002) <sup>a</sup>	$\% A = 8,588 \times 10^{-6} (L_{den} - 37)^3 + 1,777 \times 10^{-2} (L_{den} - 37)^2 + 1,221 (L_{den} - 37)$ $\% AI = -9,199 \times 10^{-5} (L_{den} - 42)^3 + 3,932 \times 10^{-2} (L_{den} - 42)^2 + 0,2939 (L_{den} - 42)$
Suíça (2001) <sup>b</sup>	$\% I = \frac{100}{1 + e^{(5,78 - 0,09 L_{den})}} \quad e \quad \% AI = \frac{100}{1 + e^{(6,93 - 0,10 L_{den})}}$
Suíça (2003) <sup>b</sup>	$\% I = \frac{100}{1 + e^{(4,64 - 0,08 L_{den})}} \quad e \quad \% AI = \frac{100}{1 + e^{(5,52 - 0,07 L_{den})}}$
<b>Ásia</b>	
Vietnam (2011) <sup>c</sup>	$\% AI = \frac{100}{1 + e^{(7,741 - 0,107 L_{den})}}$
<b>Resultados da Tese</b>	
Brasil (2015) <sup>d</sup>	$\% I = \frac{100}{1 + e^{(6,039 - 0,093 L_{den})}} \quad e \quad \% AI = \frac{100}{1 + e^{(8,862 - 0,125 L_{den})}}$

a: Comunidade Europeia (estudos desenvolvidos por Miedema e Oudshoorn (2001) na Holanda) / b: Brink *et al.* (2008) c: Nguyen *et al.* (2011) / d: Resultado da Tese

A Figura 31 mostra as curvas sínteses da CE, da Suíça, Vietnã e a curva obtida nesta Tese, para a métrica  $L_{den}$ . Observa-se que as curvas obtidas na Suíça, Vietnã e nesta Tese expressam um nível de incômodo superior ao predito na curva da CE. Até a DNL 60 as curvas do Vietnã, Suíça

2003 e “Resultado da Tese” se aproximam e a partir da *DNL* 65 os níveis de incômodo dos respondentes no entorno do Aeroporto de Brasília mostram-se superiores aos dos respondentes das pesquisas do Vietnã e da Suíça 2003 sendo superado somente pelo resultado da curva Suíça 2001.

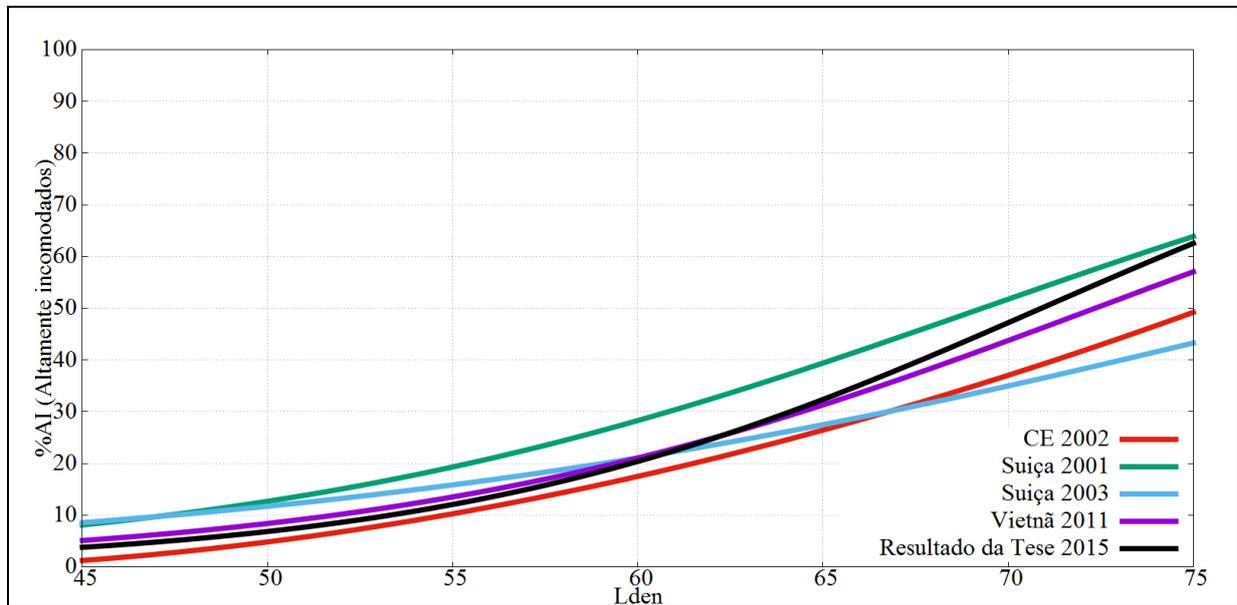


Figura 31. Comparação das curvas dose-respostas na métrica  $L_{den}$

Das comparações efetuadas entre os diferentes estudos, pode ser observado que moderados níveis de ruído geram acentuados níveis de incômodo devido ao ruído aeronáutico. Existe um aumento no nível de incômodo proveniente da exposição ao ruído aeronáutico que indica uma tendência das pessoas perceberem o ruído aeroviário de forma mais intensa, nas últimas décadas, bem como mostra a necessidade das curvas sínteses, adotadas na CE, serem atualizadas (Van Kempen e Van Kamp, 2005; Guski, 2004; Babisch *et al.*, 2009 e Schreckenberg *et al.*, 2010).

O percentual de pessoas altamente incomodadas e incomodadas pelo ruído aeronáutico, obtido nesta Tese, mostrou-se superior ao nível de incômodo predito por curvas dose-respostas utilizadas para o ruído de fontes de tráfego em geral (Schultz, 1978; Fidell *et al.*, 1991; Finegold *et al.*, 1992) e também para o ruído específico da operação de aeronaves, tais como as curvas utilizadas pela CE e OMS (CE, 2002).

## 5.6 PERCENTUAL DE ALTAMENTE INCOMODADOS E INCOMODADOS

Com base nas funções geradas neste estudo e nas funções estabelecidas na Comunidade Europeia (CE), mostradas na Tabela 41, foi possível estimar o percentual de pessoas altamente incomodadas (%AI) e pessoas incomodadas (%I) em cada curva de ruído.

Tabela 41. Funções geradas na tese e funções da CE (2002)

CE (2002)	$\%AI = -1,395 \times 10^{-4} (DNL - 42)^3 + 4,081 \times 10^{-2} (DNL - 42)^2 + 0,342(DNL - 42)$ $\%I = 1,460 \times 10^{-5} (DNL - 37)^3 + 1,511 \times 10^{-2} (DNL - 37)^2 + 1,346(DNL - 37)$
Resultado da Tese	$\%AI = \frac{100}{1 + e^{(8,845 - 0,127 DNL)}}$ $\%I = \frac{100}{1 + e^{(6,617 - 0,105 DNL)}}$

Na Tabela 42, estão expressos os resultados dos percentuais calculados e também quantifica a diferença percentual entre os resultados, obtidos com as funções logísticas geradas na Tese, e os percentuais determinados com as funções da CE. Dessa tabela, nota-se que o percentual de altamente incomodados (%AI), no entorno do SBBR, é significativamente superior aos percentuais preditos na CE. Por exemplo, é 30% maior para a *DNL* 50 e 25% a mais na *DNL* 70. Para o percentual de incomodados (%I), essa diferença é menor sendo de 10% na *DNL* 65 e 9% na *DNL* 70.

Tabela 42. %AI e %I determinados para cada curva de ruído

Curva de Ruído	%AI		Dif%	%I		Dif%
	RT	CE		RT	CE	
<i>DNL</i> 50	7,6	5,3	30%	20,3	20,0	1%
<i>DNL</i> 55	13,5	11,0	19%	30,1	29,2	3%
<i>DNL</i> 60	22,7	18,6	18%	42,1	39,1	7%
<i>DNL</i> 65	35,7	27,8	22%	55,2	49,8	10%
<i>DNL</i> 70	51,1	38,5	25%	67,5	61,3	9%

RT = resultado da tese / CE = Comunidade Europeia / Dif% = Diferença percentual

A Tabela 43 indica a população total e exposta, por RA. Além disso, essa tabela também apresenta os números estimados de pessoas altamente incomodadas e incomodadas, para as curvas menos ruidosas (*DNL* 50 – 55), obtidos com os percentuais determinados nessa Tese e os adotados na CE, ambos indicados na Tabela 42. Ainda cabe ressaltar que a Tabela 43 foi

elaborada tendo por base a Tabela 29 que expressa a população exposta estimada para cada curva de ruído.

Tabela 43. População exposta e número estimado de I e AI

DNL	PE	%PE	%AI		%I	
			RT	CE	RT	CE
50	113.838	11	8.652	6.033	23.109	22.768
55	74.681	13	10.082	8.215	22.479	21.807
60	33.052	7	7.503	6.148	13.915	12.923
65	2.587	3	924	719	1.428	1.288
70	129	0,2	66	50	87	79

Notas: PE = população exposta / %PE = percentual da população exposta / RT = resultado da tese / CE = Comunidade Europeia

Na Tabela 43 foram estimados um total de 8.652 indivíduos altamente incomodados (AI) e 23.109 incomodados na *DNL* 50. Taguatinga destaca-se como a RA com o maior número de pessoas afetadas. Na *DNL* 55 foi estimado um total de 10.082 pessoas altamente incomodadas e 22.479 incomodados. Riacho Fundo e Taguatinga são as RA's que apresentam o maior número estimado de pessoas com incômodo. Ainda na *DNL* 55, as RA's de Candangolândia, Lago Sul e Park Way apresentam um total de 6.736 indivíduos estimados como altamente incomodados mais incomodados. Essas RA's, juntamente com Taguatinga e Riacho Fundo, apresentam consideráveis percentuais de populações expostas ao ruído aeronáutico e estão sob a principal rota de pouso, pista 1, do SBBR. Além do mais, os pesquisados residentes sob as curvas *DNL* 50 e 55 apresentaram um nível de incômodo elevado com relação ao ruído aeroviário.

Na *DNL* 60, a RA do Núcleo Bandeirante destaca-se com 4.808 pessoas sendo estimadas como altamente incomodadas e 8.917 como incomodadas. Já na *DNL* 65 as RA's do Lago Sul, Núcleo Bandeirante e Park Way são as mais afetadas onde 924 indivíduos estariam altamente incomodados e 1.428 incomodados. Na *DNL* 70 a população exposta é muito pequena, porém indica a ocupação de áreas nos limites do sítio aeroportuário. Esses indivíduos podem desencadear uma série de ações contrárias à operação de aeronaves em algumas rotas e horários. Essas ações podem levar ao desenvolvimento de conflitos, entre a comunidade e o operador do SBBR, devido ao incômodo sonoro induzido pelo ruído aeroviário

Da análise da Tabela 43 constata-se que estimar o percentual de pessoas incomodadas ou altamente incomodadas, colabora para uma melhor compreensão dos impactos causados pelo

ruído aeroviário na população exposta. Com essas informações o operador do SBBR, as autoridades públicas e a comunidade local podem trabalhar em estratégias capazes de satisfazer não só a demanda pelo transporte aéreo, mas também viabilizar o desenvolvimento de medidas que minimizem a exposição das comunidades ao ruído das aeronaves.

## 5.7 AVALIAÇÃO DO IMPACTO SONORO NOTURNO<sup>21</sup>

No Brasil, poucos são os estudos que buscam verificar os impactos sonoros provenientes de fontes de transportes, em especial do transporte aéreo, no período da noite. No intuito de melhor compreender os efeitos adversos causados pelo ruído aeroviário, principalmente em um contexto brasileiro, neste trabalho realizou-se uma avaliação do impacto sonoro causado pelo ruído aeronáutico, no período noturno, em áreas no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília.

Para tanto, foram adotados os procedimentos indicados no Método (Capítulo 4), Tabela 19. As curvas de ruído  $L_n$  simuladas estão expostas na Figura 32 e a Tabela 44 apresenta as áreas e os limites das curvas de ruído. Na Figura 32, nota-se que a  $L_n 60$  atinge regiões habitadas e as curvas  $L_n 65$  e  $70$  estão limitadas ao sítio aeroportuário. Tendo por base o método apresentado na Seção 4.4, foi calculada a população total exposta no limite  $45 < L_n \leq 60$ .

Tabela 44. Áreas e limites das curvas de ruído  $L_n$

$L_n$	Limites	Área (km <sup>2</sup> )
$L_n 45$	$L_n 45 = 45 < L_n \leq 50$	158,47
$L_n 50$	$L_n 50 = 50 < L_n \leq 55$	72,69
$L_n 55$	$L_n 55 = 55 < L_n \leq 60$	33,08
$L_n 60$	$L_n 60 = 60 < L_n \leq 65$	11,69
$L_n 65$	$L_n 65 = 65 < L_n \leq 70$	3,97
$L_n 70$	$L_n 70 = L_n > 70$	1,92

A Tabela 45 apresenta o número de pessoas expostas calculado e também expressa o número estimado de pessoas com distúrbios no sono (PDS) e o número de pessoas estimadas com o sono altamente perturbado (PADS), induzidas pelo ruído aeronáutico. No intervalo  $45 < L_n \leq 60$ , tem-

<sup>21</sup> Parte desta seção foi publicada em artigo completo apresentado no Congresso PLURIS 2014. Referência: Carvalho Jr E.B., Garavelli S. L., de Barro A.G., Maroja A.M., Melo W; Shimoishi J.M (2014c). Impacto sonoro provocado pelo ruído aeronáutico no período noturno: estudo de caso do Aeroporto Internacional de Brasília. PLURIS. 2014.

se que 17.184 estariam com o sono altamente perturbado. Segundo a NBR 13.368 (ABNT, 1995) não espera-se reclamações ou reações por parte das comunidades afetadas nas curvas 45 e 50.

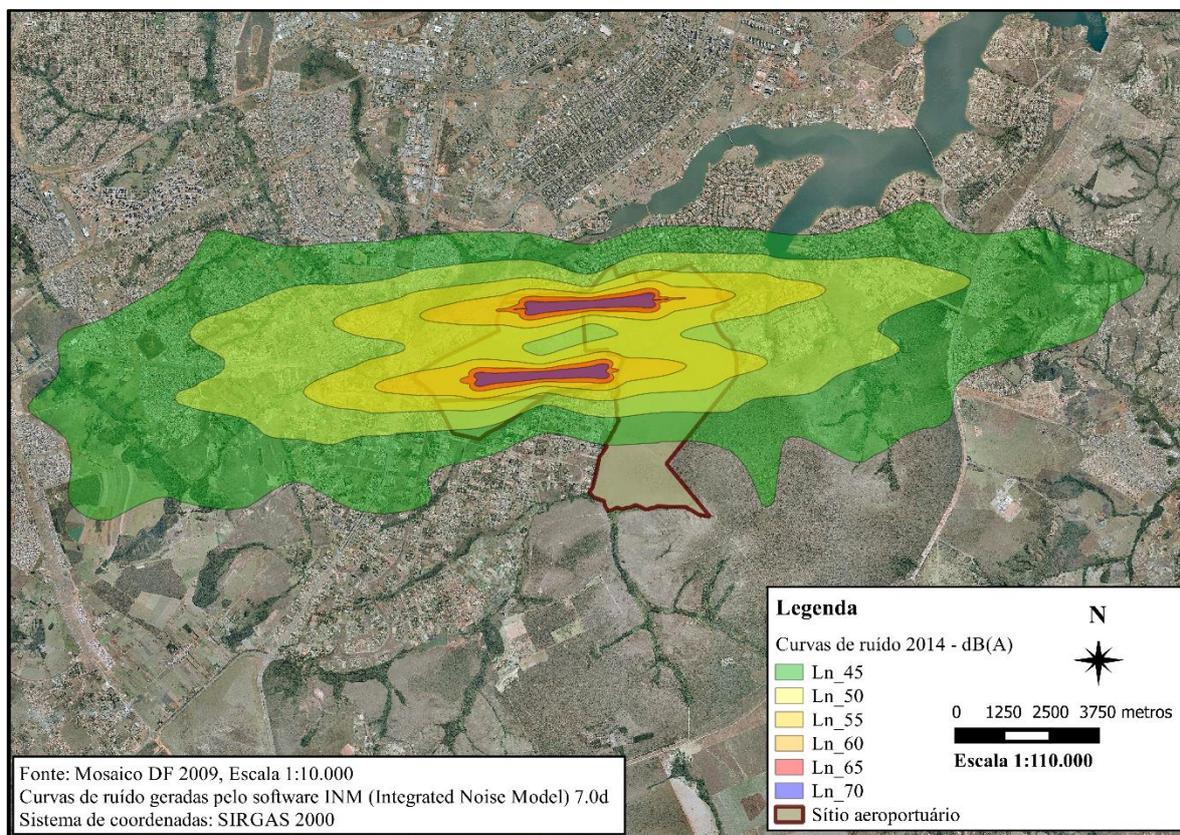


Figura 32. Curvas de ruído  $L_n$  com base na operação de 2012 do SBBR

Tabela 45. Número de pessoas com distúrbios no sono

$L_n$	População Exposta	%PSAP*	%PDS*	PSAP	PDS
$L_n$ 45	149.968	5,14	8,89	5.429	9.463
$L_n$ 50	98.576	7,40	12,24	7.295	12.066
$L_n$ 55	42.271	10,40	16,37	4.396	6.920
$L_n$ 60	452	14,14	21,27	64	96
Total	291.266			17.184	28.545

Nota: %PDS = Percentual de pessoas com distúrbio no sono / % PSAP = Percentual de pessoas com o sono altamente perturbado

Cabe destacar, que o %PSAP e %PSD foram obtidos com as seguintes equações (EC, 2004):

$$\% PSAP = 18,147 - 0,956L_n + 0,01482(L_n)^2 \quad (37)$$

$$\% PDS = 13,714 - 0,807L_n + 0,01555(L_n)^2 \quad (38)$$

Considerando o limite  $45 < L_n \leq 60$  para instalação de edificações residenciais, tem-se uma população exposta de 290.814 em 2014. Como as curvas superiores à  $L_n > 65$  estão limitadas ao sítio aeroportuário as curvas de ruído  $L_n$  55 e 60 tornam-se as mais críticas. A  $L_n$  60 é a curva mais próxima aos limites do sítio aeroportuário e nessa curva, aproximadamente, 452 indivíduos apresentariam distúrbio no sono, sendo que 64 (14,2%) teriam o sono gravemente perturbado. Segundo a NBR 13.368 (ABNT, 1995), as pessoas expostas nas curvas 55 e 60, no período noturno, podem desencadear uma série de ações contrárias à operação de aeronaves e queixas generalizadas são esperadas por parte da comunidade.

Até o limite  $50 < L_n \leq 60$  (curvas  $L_n$  55 e 60) as áreas afetadas apresentam alta densidade urbana e uma pesquisa realizada por Carvalho Jr *et al.* (2012), mostrou que 60% de uma amostra de residentes na região sentem-se altamente incomodados com o ruído aeronáutico. Desses, 44% sentiam-se incomodados das 19 às 23h e 32% das 23 às 6h, ou seja, consideraram-se mais incomodados no período do entardecer e à noite, horários em que estão em casa e querem descansar.

Além disso, 26% relacionaram o ruído ambiente, destacadamente o ruído aeroviário, com problemas na saúde. Quando encontram-se em casa, 4% associaram a exposição ao ruído com dores de cabeça, 8,4% com distúrbios no sono, 9,2% estresse e 5,2% dificuldade de concentração (Carvalho Jr, *et al.*, 2012). Ao se realizar a média dos valores mostrados na Tabela 47, para a estimativa das pessoas com o sono altamente perturbado (%PSAP) para o limite  $50 < L_n \leq 60$ , obtêm-se 8,9%. Dessa forma, o percentual obtido por Carvalho Jr *et al.* (2012), de 8,4%, é condizente com os valores estimados com uso dos algoritmos adotados na CE.

Por fim, cabe ressaltar que a exposição ao ruído aeronáutico pode causar mudanças na estrutura do sono e aumento da frequência cardíaca das pessoas, mesmo quando estão dormindo (Jarup *et al.*, 2005; Haralabidis *et al.*, 2008; Babisch *et al.*, 2009; Hume *et al.*, 2012). Especificamente, o efeito do ruído aeronáutico no sono é uma preocupação há muito tempo reconhecida pelos estudiosos interessados em determinar o impacto do ruído sobre as pessoas (FICAN, 1997). Miyakawa *et al.* (2008) concluíram que distúrbios no sono, devido à exposição ao ruído aeronáutico, pode ser a causa primária de efeitos adversos na saúde.

## **6. CONCLUSÕES**

### **6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Nessa Tese, foi apresentado um problema relevante e pouco estudado no Brasil e para sustentar e contextualizar esse problema de pesquisa, foi necessário, nos capítulos iniciais, realizar uma revisão bibliográfica de estudos internacionais e nacionais. A revisão teórica internacional permitiu identificar que a avaliação dos efeitos adversos causados pelo ruído aeronáutico, em populações expostas, ocorre com a integração de mapas acústicos e avaliações dose-respostas para a determinação do nível de incômodo e do nível de distúrbio no sono. Além disso, destaca que significativos esforços têm sido conduzidos para estudar o ruído aeronáutico e seus impactos nas comunidades expostas no entorno de aeroportos. Os métodos adotados, em quase todos os estudos avaliados, integram a aplicação de questionários, elaboração de mapas acústicos, cálculo de populações expostas e a determinação do percentual de pessoas altamente incomodadas.

A revisão da literatura nacional permitiu posicionar os estudos realizados no Brasil em relação às atuais pesquisas internacionais. Desse modo, foi possível verificar a existência de uma lacuna a ser preenchida no país referente às pesquisas que relacionam os efeitos adversos do ruído aeroviário e o incômodo por meio das relações dose-resposta, como indica a OMS. Nesse sentido, essa a presente Tese partiu do pressuposto de que os modelos dose-resposta adotados pela CE e OMS não se aplicam para o expressar o nível de incômodo sonoro sentido por populações expostas ao ruído aeronáutico no Brasil.

Para tanto, foi utilizado um método para quantificar a relação entre níveis de ruído aeronáutico e incômodo sonoro percebido por comunidades expostas no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília. Esse método foi baseado em simulações de curvas de ruído, mapas acústicos, determinação da população exposta ao ruído aeroviário, avaliação do incômodo sonoro por meio de questionários, elaboração de curvas dose-resposta e avaliação do impacto sonoro causado pelo ruído aeronáutico no período noturno.

### **6.2 CONCLUSÕES**

O método utilizado permitiu avaliar o incômodo sonoro, percebido por comunidades expostas ao ruído aeronáutico, por meio de relações dose-respostas. Apesar do modelo dose-resposta

encontrado nessa Tese ter comportamento semelhante ao adotado na CE, foi constatado que o percentual de incomodados e altamente incomodados dos respondentes no entorno do Aeroporto de Brasília mostrou-se superior aos percentuais preditos pelas curvas dose-resposta atualmente utilizadas em países da América do Norte e da Europa, ou seja, países com climas e culturas diferentes do Brasil. Os percentuais de altamente incomodados, obtidos com as relações dose-respostas geradas na Tese, chegam a ser 25% maior para a *DNL* 70 do que os percentuais determinados com os modelos adotados na CE. Para o percentual de incomodados, essa diferença é menor chegando a 10% na *DNL* 65 e 9% na *DNL* 70. Assim, a hipótese proposta, de que os modelos dose-respostas adotados pela CE e OMS não se aplicam para expressar o nível de incômodo sonoro sentido por populações expostas ao ruído aeronáutico no Brasil, foi confirmada.

Outra importante conclusão é que o regulamento RBAC 161 (2013), atual legislação para o zoneamento sonoro de aeroportos no Brasil, não é adequado para tratar do incômodo gerado pelo ruído aeronáutico. Esse regulamento não estabelece a elaboração de mapas acústicos, nem o cálculo da população exposta e também não exige a validação das curvas de ruído por meio de medições acústicas. Também não estabelece orientações para uma avaliação específica para o período noturno, onde ruído aeronáutico apresenta potencial de gerar graves perturbações no sono, incômodo e suscitar queixas generalizadas com possíveis ações comunitárias. Dessa forma, recomenda-se a adequação do RBAC 161 (2013) para permitir a avaliação do incômodo sonoro, por meio da determinação do percentual de incomodados e altamente incomodados.

Como uma contribuição desse trabalho, sugere-se que o *DNL* seja complementado com as seguintes métricas: nível de exposição sonora (SEL) e nível de pressão sonora equivalente noturno ( $L_n$ ). O *DNL* representa um nível de pressão sonora médio nas 24h do dia não caracterizando a proteção efetiva da população ao ruído noturno. Já os indicadores acústicos SEL e  $L_n$  são mundialmente adotados para predizer os efeitos crônicos da exposição ao ruído noturno, tal como o distúrbio do sono.

O RBAC 161 (2013) estabelece a realização de estudos e planos de zoneamentos sonoros dos aeroportos a partir da *DNL* 65. Todavia, os pesquisados residentes sob as curvas de ruído *DNL* 50, 55 e 60, indicaram um nível de incômodo elevado com o ruído aeroviário. Esse resultado alerta para a necessidade do zoneamento sonoro contemplar curvas além da *DNL* 65, incluindo,

principalmente, a *DNL* 60 onde 23% dos respondentes encontram-se altamente incomodados e 13% incomodados com o ruído aeroviário.

Também foi possível concluir que o ruído aeronáutico e rodoviário interfere significativamente na realização de atividades cotidianas dos pesquisados, tais como estudar, dormir, assistir TV, falar ao telefone e meditar. Essa interferência ocorre tanto no período diurno quanto no noturno. Os pesquisados, em todas as faixas etárias, apresentaram consideráveis níveis de incômodo com o ruído aeronáutico sendo que quanto maior a faixa etária maior o nível de incômodo. Além disso, quando o respondente é despertado durante à noite o nível de incômodo é elevado sendo os pesquisados do sexo feminino mais incomodados que os do sexo masculino.

Cabe destacar, que no Brasil não existem diretrizes e orientações previstas para a determinação da população exposta e nem para a elaboração de mapas acústicos. Entretanto, nesse estudo foram apresentados subsídios metodológicos para a elaboração de mapas acústicos e o cálculo da população exposta, com base nas diretrizes europeias. Dessa forma, essas metodologias podem ser adotadas em outras pesquisas, pois auxiliam na identificação de áreas sensíveis ao ruído, orientam o zoneamento sonoro e evitam a superestimação dos dados relacionados à população exposta.

Por último, ressalta-se que a abordagem apresentada nesta tese é complexa e nenhuma legislação que faz referência à análise do incômodo sonoro, presente em normas brasileiras, prevê essa estrutura metodológica. Os modelos dose-reposta, desenvolvidos neste estudo, podem ser utilizados como indicadores necessários para avaliação dos efeitos adversos do ruído aeronáutico sobre a saúde. Também se recomenda que sejam adotados para fins de planejamento, como ferramentas de gestão de longo prazo, colaborando para uma melhor compreensão do impacto do ruído aeronáutico nas áreas habitadas no entorno de aeroportos.

### **6.3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO**

Como fator limitante destaca-se o método de aplicação do instrumento de pesquisa. Neste estudo optou-se pela aplicação *on-line*, pois foi possível obter bancos de dados de e-mails. Para a aplicação em outras localidades, caso não seja possível a utilização dessa metodologia, a aplicação do questionário pode ser realizada por telefone, correio ou entrevista (*face-to-face*).

Outro aspecto limitante, é a necessidade de validação dos mapas acústicos gerados por meio de medidas físicas. A validação é essencial para conferir a precisão e garantir confiabilidade às curvas de ruído simuladas. Nesta Tese, os dados necessários foram obtidos por Estações de Monitoramento Remotas (EMR's) do Aeroporto de Brasília. No entanto, poucos são os aeroportos no país que possuem um sistema de monitoramento e controle do ruído aeronáutico. Para estudos em aeroportos que não possuem EMR's, a validação pode ser realizada por medidas físicas de longa duração (24h), *in situ*, nas diversas curvas de ruído.

Para a realização das medidas *in situ* pode-se adotar a metodologia indicada pela APA (2011), ou seja, em relação aos tempos de medições recomenda-se, pelo menos, 2 dias em contínuo, consecutivos ou não, de forma a poder ser considerado um intervalo de tempo de longa duração. Devem ser escolhidos dias típicos, em que as condições de operação do aeroporto se aproximam das condições médias anuais utilizadas para a simulação das curvas de ruído. Para a validação dos mapas acústicos é necessário que a diferença entre os valores calculados (retirados dos mapas acústicos elaborados) e os valores medidos não ultrapasse  $\pm 2\text{dB(A)}$ . Ainda para as medidas *in situ* tem-se que a velocidade do vento deve ser menor que 5 km/h, e em dias sem atividades como trovões ou chuva.

#### **6.4 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- Essa pesquisa foi realizada em regiões no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília com uma amostra composta de respondentes com elevado nível de escolaridade. Além do mais, as regiões pesquisadas nesse estudo apresentam características socioeconômicas bastante diferenciadas do restante do país, inclusive com algumas RA's apresentando renda e índice de desenvolvimento humano superiores a de países europeus. Dessa forma, recomenda-se elaborar modelos dose-respostas para aeroportos civis e militares em diferentes regiões do Brasil.
- O ruído aeronáutico é uma das principais externalidades ambientais da operação noturna de aeronaves com potencial expressivo de impactar a qualidade do sono de residentes no entorno de aeroportos. Desse modo, recomenda-se elaborar modelos dose-repostas para

predizer o percentual estimado da população com distúrbios no sono em função da exposição ao ruído aeroviário.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdala, P. J. P (2005) *Método para dimensionar curvas de ruído para zoneamento no entorno de pequenos aeródromos*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
- Ambrósio, P e Geib, L. T. C (2008) Sonolência excessiva diurna em condutores de ambulância da Macroregião Norte do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*. v. 17, n. 1, p. 21 – 31.
- ABNT (1989) *NBR 10.856: Determinação do Nível Efetivo de Ruído Percebido (EPNL) de Sobrevoos de Aeronaves*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1990) *NBR 11.415: Ruído Aeronáutico*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1993) *NBR 12.859: Avaliação do Impacto Sonoro Gerado por Operações Aeronáuticas*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (1995) *NBR 13.368: Ruído Gerado por Aeronaves - Monitoração*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2000) *NBR 10.151 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, Visando o Conforto da Comunidade*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (2012) *NBR 10.151 (ABNT, 2000) - Proposta de alteração - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- APA (2004) Agência Portuguesa do Ambiente. *Directrizes para elaboração de mapas de ruído versão 03*. Disponível em: [http://www.apambiente.pt/zdata/DAR/Ruido/NotasTecnicas\\_EstudiosReferencia/Proj\\_Pil\\_Map\\_Ruido.pdf](http://www.apambiente.pt/zdata/DAR/Ruido/NotasTecnicas_EstudiosReferencia/Proj_Pil_Map_Ruido.pdf) Data de acesso: 12 de março de 2011.
- APA (2011) Agência Portuguesa do Ambiente. *Directrizes para elaboração de mapas de ruído versão 3*. Disponível em: [http://www.apambiente.pt/zdata/DAR/Ruido/NotasTecnicas\\_EstudiosReferencia/DirectrizesMapasDez2011\\_todo\\_2.pdf](http://www.apambiente.pt/zdata/DAR/Ruido/NotasTecnicas_EstudiosReferencia/DirectrizesMapasDez2011_todo_2.pdf) . Data de acesso: 28 de março de 2014.
- Babisch, W (2002). The Noise/Stress Concept, Risk Assessment and Research Needs. *Noise Health*, v. 4, n. 16, p. 1-11.
- Babisch, W (2003). Stress hormones in the research on cardiovascular effects of noise. *Noise Health*, v. 5, p. 1-11.
- Babisch W., Houthuijs D., Pershagen G., Cadum E., Katsouyanni K., Velonakis M., Dudley M.L., Marohn H.D., Swart W., Breugelmans O., Bluhm G., Selander J., Vigna-Taglianti F., Pisani S., Haralabidis A., Dimakopoulou K., Zachos I., Jarup L (2009). Annoyance due to aircraft noise has increased over the years- results of the HYENA study. *Environment International*, v. 35, n. 8, p. 1169 - 1176.
- Babisch, W., Houthuijs, D., Pershagen, G., Cadum, E., Velonakis, M., Katsouyanni, K., e Jarup, L (2007) Associations between road traffic noise, aircraft noise and noise annoyance. Preliminary results of the HYENA study. *19th International Congress on Acoustics ICA*, Madrid, Spain.
- Banks S e Dinges D. F (2007) Behavioral and physiological consequences of sleep restriction. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, v. 3, p. 519 – 528.
- Barbosa, A. R (2011) *Influência do ruído aeronáutico na população que reside nas imediações da base aérea de Santa Maria*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Rio Grande do Sul, RS.
- Bell, P. A, Greene, T. C, Fisher, J. D e Baum, A. (2001). *Environmental Psychology*. Lawrence Erlbaum Associates. Londres.

- Bento, E. F. M (2011) A incomodidade do ruído: relações com o nível de exposição sonora e identidade de lugar. Dissertação de Mestrado Integrado em Psicologia. Universidade de Lisboa. Lisboa, Portugal.
- Bertolazi, A. N., Fagundes, S. C., Hoff, L. S., Pedro, V. D., Barreto, S. S. M e Johns, M. W (2009) Validação da escala de sonolência Epworth em português para uso no Brasil. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. v. 35, n. 9, p. 877 – 883.
- Bisqueria, R., Sarriera, J. C e Francesc, M (2004) *Introdução à estatística: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS*. Porto Alegre. Artmed.
- Bhawan, P e Nagar, E. A (2008) *Requirement and Procedure for Monitoring Ambient Noise Level due to Aircrafts*. Delhi.
- Bistafa, S (2006) *Acústica Aplicada ao Controle de Ruído*. Ed. Edgard Blucher. São Paulo, SP.
- Boari, L., Cavalcanti, C. M., Bannwart, S. R. F. D., Sofia, O. B e Dolci J. E (2004) Avaliação da Escala de Epworth em pacientes com síndrome de apnéia e hipopnéia obstrutiva do sono. *Revista Brasileira de Otorrinolaringologia*. v. 70, n.6, p. 752 – 756.
- Bonato, A. S (2013) *Caracterização e simulação do ruído aerodinâmico gerado por “slats”*. Dissertação mestrado – Escola politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica. São Paulo. SP.
- Bradley, J.S (1996) *NEF Validation Study: Final report (3)*. NRC Contract Report to Transport Canada, A1505.6.
- BRASIL (1987) *Dispõem sobre zonas de proteção e aprova o Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos, o Plano Básico de Zoneamento de Ruído, o Plano Básico de Proteção de Helipontos e o Plano de Zona de Proteção de Auxílios à Navegação Aérea e dá outras providências*. Portaria MAer. n. 1.141/GM5.
- BRASIL (1990) *Dispõe sobre a Emissão de Ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, determinando padrões, critérios e diretrizes*. Resolução Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente). n. 1.
- BRASIL (2009) *Aprova a Política Nacional de Aviação Civil (PNAC) e dá outras providências*. Decreto nº 6.780/2009.
- Brink, M., Wirth, K. E e Schierz, C (2008) Annoyance responses to stable and changing aircraft noise exposure. *Journal of the Acoustical Society of America*. v. 124, n. 5, p. 2930 – 2941.
- Bristow, A., Wardman, M., Heaver, C., Murphy, P., Hume, K., Dimitriu, D., Plachinski, E., Hullah, P., Elliff, T (2003) *Attitudes Towards and Values of Aircraft Annoyance and Noise Nuisance*. Bretigny sur Orge, France.
- Brooker, P. (2006) Aircraft Noise: Annoyance, House Prices and Valuation. *Acoustics Bulletin*, may/june, IOA. P. 29-32.
- BSBAERO (2013), Aeroporto Internacional de Brasília. Disponível em: <http://www.bsb.aero/institucional> Data de acesso: 14 de julho de 2013.
- Caldas, T. C. M (2013) *Elementos para uma política de gestão integrada dos impactos do ruído aeronáutico*. Tese de doutorado. Universidade do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ.
- Carballo - Cruz, F. (2008) Taxas ambientais aeroportuárias baseadas na valoração de externalidades : o caso do Aeroporto da Portela. *1º Congresso de desenvolvimento regional de Cabo Verde*. p. 1043-1072.
- Carvalho Júnior, E. B (2008). *Ruído ambiental e seus efeitos: o ruído aeronáutico no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília*. Dissertação de mestrado. Universidade Católica de Brasília (UCB). Brasília, DF.
- Carvalho Júnior, E. B.; Garavelli, S. L.; Maroja, A. M (2012) Analysis of the effects of aircraft noise in residential areas surrounding the Brasilia International Airport. *Journal of Transport Literature*; v. 6, n. 4, p. 59 – 81.

- Carvalho Jr, E. B., Garavelli, S. L., Smozinski, F. V., Maroja, A. M. e Melo, W. C. (2013) Análise das principais métricas utilizadas no zoneamento acústico de áreas próximas a aeródromos. *Journal of Transport Literature*, vol. 7, n. 4, p. 175 - 198.
- Carvalho Júnior, E. B.; Garavelli, S. L., Barros, A. G., Araújo, R. B., Maroja, A. M e Shimoishi, J. M (2014a) Análise do efeito do ruído aeronáutico sobre o preço de imóveis residenciais: estudo de caso do Aeroporto Internacional de Brasília. *XXV Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC*. Campinas - SP. v. 01.
- Carvalho Júnior, E. B., Garavelli, S. L., Barros, A. G., Maroja, A. M., Melo, W. C e Shimoishi, J. M (2014b) Ruído Aeronáutico: Análise Comparativa das Metodologias Adotadas no Brasil e na Comunidade Europeia. *6º PLURIS - Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional Integrado e Sustentável*. Lisboa. Livro de Actas, 2014. v. 01. p. 69 – 80
- Carvalho, L. A (2010) *Ferramentas de auxílio à aplicação da abordagem equilibrada em aeroportos brasileiros*. Dissertação de mestrado. Universidade do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ.
- Clark, C e Stansfeld, S. A (2011) The Effect of Nocturnal Aircraft Noise on Health : a Review of Recent Evidence. Report prepared for the London Borough of Hounslow. London.
- Corra, L. J., Paulo, E e Filho, J. M. D (2012) *Análise multivariada para os cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia*. Editora Atlas. São Paulo, SP.
- Davies, H. e Kamp, I van (2012) Noise and cardiovascular disease: A review of the literature 2008-2011. *Noise & Health*. v. 14, n. 61, p. 287 – 291.
- De Barros A. G (2013) Sustainable integration of airports into urban planning – a review, *International Journal of Urban Sciences*, v.17, n. 2, p. 226 – 238.
- DF (2008) *Dispõe sobre o controle da poluição sonora e os limites máximos de intensidade da emissão de sons e ruídos resultantes de atividades urbanas e rurais do Distrito Federal*. Lei nº 4.092, de 30 de janeiro de 2008, Distrito Federal (DF).
- Dekkers, J.E.C. e Straaten, J.W. (2009). Monetary valuation of aircraft noise: a hedonic analysis around Amsterdam airport. *Ecological Economics*. v. 68, p. 2850 – 2858.
- Diretiva 2002/49/CE (2002) Diretiva do Parlamento europeu e do conselho da União Européia relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, v. L 189/12, p. 48.
- Dinato, A. C (2011) *Ruído sonoro no entorno de aeroportos. Um estudo de caso no Aeroporto de Ribeirão Preto*. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, SP.
- EEA (2010) European Environmental Agency (2010). *Good practice guide on dose exposure and potencial health effects*. Copenhag: EEA.
- EC (2002) *Position paper on dose-response relationships between transportation noise and annoyance*. European Commission - EU's Future Noise Policy, WG2 – Dose/Effect. Disponível em: [http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/noise\\_expert\\_network.pdf](http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/noise_expert_network.pdf) Data de acesso: 09 de abril de 2011.
- EC (2004) *Position paper on dose-effect relationships for night time noise*. European Commission Working Group on Health and Socio-Economic Aspects Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/positionpaper.pdf> Data de acesso: 12 de abril de 2011.
- EIAGM (2010) *Environmental Impact Assessment Guidance Manual for building, construction, townships and area development projects*. Ministry of Environmental & Forests, Government of India.

- Eller, R. D. A. G (2000) *O ruído aeronáutico como fator de perda do valor dos imóveis residenciais: o caso do Aeroporto Internacional de São Paulo*. Dissertação de mestrado. Curso de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica na Área de Transporte Aéreo e Aeroportos. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. SP.
- Elmehdi, H. M (2008) The relationship between civil aircraft noise and community annoyance near Dubai International Airport (UAE). *Acoustics and Sustainability Conference Proceedings*. Australian.
- FAA (2011) *Noise and its Effect on People*. Federal Aviation Administration. Disponível em: [http://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/ato/service\\_units/systemops/aaim/organizations/envir\\_programs/mase/media/ApxH\\_NoiseAndItsEffectOnPeople\\_122805.pdf](http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/ato/service_units/systemops/aaim/organizations/envir_programs/mase/media/ApxH_NoiseAndItsEffectOnPeople_122805.pdf). Data de acesso em: 1 novembro de 2011.
- Feitelson, E.I., Hurd, R.E. e Mudge R.R. (1996) The impact of airport noise on willingness to pay for residences, *Transportation Research Part D*, v. 1, p. 1–14.
- Faburel, G. (2005). Properties value depreciation, social segregation and environmental injustice caused by aircraft noise. The 2005. Congress and Exposition on Noise Control Engineering. Rio de Janeiro - Brazil: Inter-noise.
- FICAN (1997) Federal Interagency Committee on Aviation Noise - *Effects of Aviation Noise on Awakenings from Sleep*. Disponível em: [http://www.fican.org/pdf/Effects\\_AviationNoise\\_Sleep.pdf](http://www.fican.org/pdf/Effects_AviationNoise_Sleep.pdf) Data de acesso: 10 de dezembro de 2011.
- FICON (1992) Federal Interagency Committee on Noise - Federal Agency Review of Selected Airport Noise Analysis Issues. *Report for the Department of Defense*. Washington, DC.
- Field, A (2009) *Descobrendo a estatística usando o SPSS*. Artmed. Porto Alegre. Rio Grande do Sul (RS).
- Fields, J. M (1993) Effect of personal and situational variables on noise annoyance in residential areas. *Journal of the Acoustical Society of America*. v. 93, n. 5, p. 2753-2763.
- Fields, J. M., Jong, R., Brown, A.L., Flindell, I.H., Gjestland, T., Job, R. F. S., Kurra, S., Lercher, P., Shuemer-Kohrs, A., Vallet, M. e Yano, T (1997) Guidelines for reporting core information from community noise reaction surveys. *Journal of Sound and Vibration*, v. 206, n. 5, p. 685 – 695.
- Fields, J. M., Jong, R., Brown, A.L., Flindell, I.H., Gjestland, T., Job, R. F. S., Kurra, S., Lercher, P., Vallet, M., Yano, T., Guski, R., Felscher-Suhr, U e Schumer, R (2001) Standardized General-Purpose Noise Reaction Questions for Community Noise Surveys: Research and a Recommendation. *Journal of Sound and Vibration*, v. 242, n. 4, p. 641 – 679.
- Fidell, S., Barber D.S. e Schultz, T.J. (1989) *Updating a dosage–effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise*. Noise and Sonic Boom Impact Technology – Human Systems Division, Final Report for Period May 1987 – July 1989 (HSD – TR – 89 – 009). Disponível em: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a219416.pdf> Data de acesso: 14 de julho de 2012.
- Fidell, S., Barber D.S. e Schultz, T.J. (1991) Updating a dosage–effect relationship for the prevalence of annoyance due to general transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 89, n. 1, 221 - 233.
- Finegold, L. S.; Harris, C. S.; Gierke, H. E (1994) Community annoyance and sleep disturbance: updated criteria for assessing the impacts of general transportation noise on people. *Noise Control Engineering Journal*. v. 42, n. 1, p. 25 - 30.
- Finegold, L. S e Finegold, M. S (2003) Community annoyance due to transportation noise. *Congress International commission on biological effects of noise (ICBEN)*, Rotterdam – The Netherlands.

- Flindell, I.H e Stallen, P.J (1999) Non-acoustical factors in environmental noise. *Noise & Health*. v. 1, n. 3, p. 11–16.
- Garavelli, S. L., Maroja, A. M., Costa, C.A e Carvalho Júnior, E. B (2014) O projeto de Lúcio Costa para Brasília (DF) e a contaminação acústica. *6º PLURIS - Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional Integrado e Sustentável*. Lisboa. Livro de Actas, 2014.
- Garavelli, S. L e Oliveira, R. C (2007) Ruído ambiental causado pelo metrô em Águas Claras – DF. *24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (CBESA)*. Belo Horizonte. Livro de Atas.
- Garcia, A., Faus, L. J e Garcia, A. M (1993) The Community Response to Aircraft Noise around Six Spanish Airports. *Journal of Sound and Vibration*. v. 164, p. 45 – 52.
- Gil, A. C (2008) *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. Atlas. São Paulo, SP.
- Girvin, R (2009) Aircraft noise-abatement and mitigation strategies. *Journal of Air Transport Management*, v. 15, p. 14 – 22.
- Goldschagg, P (2007) *Airport noise in South Africa – Prediction models and their effect on land-use planning*. University of Stellenbosch. South Africa.
- GPG – 2 (2006) *Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, version 2, 2006.*” (GPG-2) Disponível em: [http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/wg\\_aen.pdf](http://ec.europa.eu/environment/noise/pdf/wg_aen.pdf)  
Data de acesso: 28 de março de 2014
- Guoqing, D., Xiaoyi, L., Xiang, S., Zhenquang, L e Qili, L (2012) Investigation of the relationship between aircraft noise and community annoyance in China. *Noise & health*, v. 14, n. 57, p. 52 - 57.
- Gunther, H.; Iglesias, F e de Sousa, J. M (2007) Note on the development of a Brazilian version of a noise annoyance scale. *Journal of Sound and Vibration*, v. 308, n. 1 - 2, p. 343 – 347.
- Guski, R (1997) Conceptual, methodological and dose–response problems related to annoyance and disturbance, *Inter-noise*. p. 1077 – 1082.
- Guski, R., Felscher-Suhr, U. e Schuemer, R (1999) The concept of noise annoyance: how international experts see it. *Journal of Sound and Vibration*. n. 223, p. 513–527.
- Guski, R. (1999). Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance. *Noise & Health*, v. 1, n. 3, p. 45-56.
- Halliday, D e Resnick, R (2009) *Fundamentos de Física*. Volume 2. 8ª ed. LTC Editora. Rio de Janeiro, RJ.
- Haralabidis A. S., Dimakopoulou K, Vigna-Taglianti F, Giampaolo M, Borgini A, Dudley ML, Pershagen G, Bluhm G, Houthuijs D, Babisch W, VelonakisM, Katsouyanni K, Jarup L (2008). Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports. *European Heart Journal*, v. 29, n. 5, 658 - 64.
- Helena, T. A (2010) *Uma nova metodologia de zoneamento aeroportuário com o objetivo de reduzir o encroachment e os efeitos adversos do ruído*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).
- Hewitt, P (2008) *Física Conceitual*. 9ª ed. Artmed Editora. São Paulo, SP.
- Hong, J., Kim, Jaehwan., Kim, Kyutae., Jo, Yoonho e Lee, S (2009) Annoyance caused by single and combined noise exposure from aircraft and road traffic. *Journal of Temporal Design in Architecture and the Environment*. v. 9, n. 1, p. 137 – 140.
- HUD, U.S (2011) *Department of Housing and Urban Development*. Disponível em:

[http://portal.hud.gov/hudportal/HUD?src=/program\\_offices/comm\\_planning/environment/training/guidebooks/noise](http://portal.hud.gov/hudportal/HUD?src=/program_offices/comm_planning/environment/training/guidebooks/noise) Data de acesso: 10 de dezembro de 2011.

- Hume K. I., Brink, M e Basner, M (2012) Effects of environmental noise on sleep. *Noise & Health*. v. 14, n. 61, p. 297 – 302.
- IAC 4102 (1981) *Métodos de avaliação dos níveis de ruído e de incômodo gerados pela operação de aeronaves em aeroportos*. Instituto de Aviação Civil. Ministério da Aeronáutica. Rio de Janeiro.
- ICAO (2002) *Airport Planning Manual, Part 2, Land Use and Environmental Protection – Doc 1984*. International Civil Aviation Organization.
- ISO (1973) *Guide to the Measurement of Acoustical Noise and Evaluation of its Effect on man*. International Organization for Standardization. R 2204.
- ISO (1978) *Acoustics – Procedure for describing aircraft noise heard on the ground*. International Organization for Standardization. ISO 3891.
- ISO (2003) *Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys*. International Organization for Standardization. ISO/TS 15.666.
- Janssen, S. A., Vos, H., van Kempen., Breugelmans, O.R e Miedema H. M. E (2011) Trends in aircraft noise annoyance: the role of study and sample characteristics. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 129, n. 4, p. 1953-1962, 2011.
- Jarup L., Dudley ML., Babisch W., Houthuijs D., Swart W., Pershagen G., Bluhm G., Katsouyanni K., Velonakis M., Cadum E. e Vigna-Taglianti F (2005) Hypertension and Exposure to Noise near Airports (HYENA): Study Design and Noise Exposure Assessment. *Environmental Health Perspectives*. n. 113, p. 1473-1478.
- Job, R. F. S. (1996) The influence of subjective reactions to noise on health effects of the noise. *Environment International*. v. 22, p. 93 – 104.
- Job, R. F. S., Hatfield, J., Carter, N. L., Peplow, P., Taylor, R e Morrell, S (2001) General scales of community reaction to noise (dissatisfaction and perceived affectedness) are more reliable than scales of annoyance. *Journal of the Acoustical Society of America*. v. 110, p. 939 – 946.
- Jones, K (2009). Aircraft Noise and Sleep Disturbance: A Review. *Environmental Research and Consultancy Department (ERCD)*. UK. Report 0905. England.
- Kamp, I van, Job, R. F. S., Hatfield, J., Haines, M., Stellato, R. K., Stansfeld, S. A (2004) The role of noise sensitivity in the noise–response relation: a comparison of three international airport studies. *Journal of the Acoustical Society of America*. v. 116, n. 6.
- Kempen, E.E.M.M. van e Kamp, I. van (2005). *Annoyance from air traffic noise. Possible trends in exposure-response relationships*. Report Nr. 01/2005 MGO.
- Klaeboe, R (2011) Noise and health: Annoyance and interference. Nriagu JO, editor. *Encyclopedia of Environmental Health*. Burlington: Elsevier; p. 152 – 63.
- Kroesen, M., Molin E.J.E e Wee, B van (2008) Testing a theory of aircraft noise annoyance: a structural equation analysis. *Journal of the Acoustical Society of America*. v. 123, n. 6, p. 4250 – 4260.
- Kroesen, M., Molin E.J.E., Miedema H.M.E., Vos H., Janssen S.A e Wee B (2010) Estimation of the effects of aircraft noise on residential satisfaction. *Transportation Research Part D*. v. 15, 144 – 153.
- Kroesen, M e Schreckenberg, D. (2011) A measurement model for general noise reaction in response to aircraft noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*. v. 133, n. 1, p. 200 – 210.

- Kroesen, M., Molin E.J.E e Wee, B van (2013) Measuring subjective response to aircraft noise: The effects of survey context. *Journal of the Acoustical Society of America*. v. 123, n. 6, p. 238 – 246.
- Kryter K. D (1982) Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise. *Journal of the Acoustical Society of America*. v. 72, p. 1222 – 42.
- Lam, K., Chan, P-K., Chan, T-C., Au W-H e Hui W-C (2009) Annoyance response to mixed transportation noise in Hong Kong. *Applied Acoustics*. v. 70, p. 1 - 10.
- Laszlo, H.E., McRobie, E.S., Stansfeld, S.A e Hansell A.L (2012) Annoyance and other reaction measures to changes in noise exposure — A review. *Science of the Total Environment*. v. 435 – 436, p. 551 – 562.
- Lee, S., Hong, J., Kim, J., Lim., C e Kim, K (2008) Exposure-response relationships on community annoyance to transportation noise. *9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2008*, Foxwood.
- Lekaviciute, J e Argalasova-Sobotova, L (2013) Environmental noise and annoyance in adults: Research in central, eastern and south-eastern Europe and newly independent states. *Noise & Health*. v. 15, n. 62, p. 42 – 54.
- Lim, C., Kim, J., Hong, J., Lee, S (2007) The relationship between civil aircraft noise and community annoyance in Korea. *Journal of Sound and Vibration*. v. 299, n. 3, p. 575 - 586.
- Lim, C., Kim, J e Lee S (2008) Effect of background noise levels on community annoyance from aircraft noise. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 123, n. 2, p. 766 - 771.
- LUOS/DF (2013) Lei Complementar de Uso e Ocupação do Solo do Distrito Federal. Disponível em: <http://www.luos.df.gov.br/> Data de acesso: 16 de dezembro de 2013.
- Maekawa, Z e Lord, P (2004) *Environmental and architectural acoustics*. E & FN Spon. London.
- Maroja, A. M e Garavelli, S. L (2011) Emissão de ruídos de uma obra na construção civil. *XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC) e VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído (ELACAC)*. Búzios, Rio de Janeiro. Livro de Atas, 2011.
- Matos, J.C.B., Flindell, I., Masurier, P e Pownall, C (2013) A comparison of hedonic price and stated preference methods to derive monetary values for aircraft noise disturbance and annoyance. *Transportation Research Part D*. v. 20, p. 40 – 47.
- Miedema, H.M.E e Vos, H. (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America*. v. 104, n. 6, p. 3432 – 3445.
- Miedema, H.M.E e Vos, H. (1999). Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise. *Journal of the Acoustical Society of America*. v. 105, n. 6, p. 3336 – 3334.
- Miedema H.M.E, (2001) Noise and Health: How does noise affect us? *Proceedings of Inter-Noise 2001*, Haia: Holanda.
- Miedema, H. M.E e Oudshoorn, C. G (2001) Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental Health Perspectives*. v. 109, n. 4, p. 409 - 416.
- Miedema, H.M.E, Passchier-Vermeer, W e Vos, H (2002) *Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance*. TNO-INRO, Delft.
- Miedema, H.M.E, Passchier-Vermeer W e Vos, H (2003). *Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance*. TNO Inro, Delft, 2002-59.
- Miedema, H.M.E. (2007). Annoyance Caused by Environmental Noise: Elements for Evidence-Based Noise

- Policies. *Journal of Social Issues*, v. 63, n. 1, p. 41 - 58.
- Miedema, H.M.E e Vos, H. (2007). Associations Between Self-Reported Sleep Disturbance and Environmental Noise Based on Reanalyses of Pooled Data From 24 Studies. *Behavioral Sleep Medicine*, v. 5, n. 1, p. 1 - 20.
- Miller, N., Sizov, N., Lohr, S e Cantor D (2014) New Research on Community Reaction to Aircraft Noise in the United States. *11 th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN)*. Nara. Japan.
- Miyakawa, M., Matsui, T., Uchiyama, I., Hiramatsu, K., Hayachi, N., Morita, I., Morio, K., Yamashita, K e Ohashi, S (2008) Relationship between subjective health and disturbances of daily life due to aircraft noise exposure – Questionnaire study conducted around Narita International Airport. *9 th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN)*. Foxwoods.
- Morais, L. R (2008) *Estudo de barreiras acústicas no controle do ruído aeroportuário*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.
- Morrell P e Lu C.H. –Y (2000) Aircraft noise social cost and charge mechanisms – a case study of Amsterdam Airport Schiphol. *Transport Research Part D*. v. 5, n. 4, p. 305–20.
- Murphy, E e King, A. E (2014) *Environmental noise pollution – Noise mapping, public health and policy*. Elsevier.
- Nabinger, L. B (2005) *Medições de ruído aeronáutico dentro da área II do plano específico de zoneamento de ruído do Aeroporto Salgado Filho, Porto Alegre / RS*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).
- Navrud, S (2002) The State-Of-The-Art on Economic Valuation of Noise. Final Report to European Commission DG Environment, Department of Economics and Social Sciences. *Agricultural University of Norway*. <<http://europa.eu.int/comm/environment/noise/pdf/020414noisereport.pdf>>
- Nelson, J. P (2004) Meta-Analysis of Airport Noise and Hedonic Property Values: Problems and Prospects. *Journal of Transport Economics and Policy*, v. 38, n. 1, p. 1-28.
- Neto, A. G (2010). *Análise do ruído aeronáutico no entorno do aeroporto de são josé dos campos*. Dissertação de mestrado. Universidade de Taubaté.
- Neto, C e Souza, F (2011) *Airports in Brazil: Recent Investments, perspectives and concerns*. Technical Note 5. IPEA (Institute of Applied Economic Research). p. 1 – 24.
- Nguyen, T. L., Yano, T., Nguyen, H. Q., Nishimura, T., Fukushima, H., Sato, T., Morihara, T e Hashimoto, Y (2011) Community response to aircraft noise in Ho Chi Minh City and Hanoi. *Applied Acoustics*, v. 72, n. 11, p. 814 - 822.
- Nguyen, T. L., Yano, T., Nguyen, H. Q., Nishimura, T., Fukushima, H., Sato, T., Morihara, T (2013) Community response to aircraft noise around three airports in Vietnam. *Acoustical Society of America*. v. 15.
- Nunes, M. F (2005) *Avaliação da percepção do ruído aeronáutico em escolas*. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), RS.
- Nunes, M e Ribeiro, H (2008) Interferências do ruído do tráfego urbano na qualidade de vida: zona residencial de Brasília/DF. *Cadernos Metrôpoles*. v. 19, p. 319 - 338.
- Okuno, E., Caldas, I. L., Chow, C (1982) *Física para Ciências Biológicas e Biomédicas*. Ed. Harbra. São Paulo, SP.
- Ozkurt, N., Sari, D., Akdag, A., Kutukoglu, M e Gurarslan, A (2014) Modeling of noise pollution and estimated human exposure around Istanbul Ataturk in Turkey. *Science of the Total Environment*. 482 – 483, p. 486 – 492.

- Paul, S (2010) Som e ruído - releituras críticas de textos. *XXIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC*. p. 9.
- Paunović, K.; Jakovljević, B.; Belojević, G (2009) Predictors of noise annoyance in noisy and quiet urban streets. *The Science of the total environment*. v. 407, n. 12, p. 3707 – 3711.
- Paunović, K e Belojević, G (2014) Burden of myocardial infarction attributable to road-traffic noise: A pilot study in Belgrade. *Noise Health*. v. 16, n. 73, p. 374 – 379.
- Pepper, C. B., Nascarella, M. A. e Kendall R.J (2003) A review of the effects or aircraft noise on wildlife na humans, current control mechanisms, and the need for further study. *Environmental Management*. v. 32: p. 418-432.
- Phan, H. Y. T., Yano, T., Phan, H. A. T., Nishimura, T., Sato, Tetsumi., Hashimoto, Y e Lan, N. T (2008) *Social surveys on community response to road traffic noise in Hanoi and Ho Chi Minh City*. 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN). Foxwoods.
- Pinheiro, J. Q e Gunther, H. e org. (2008) *Métodos de pesquisa nos estudos pessoa – ambiente*. Casa do Psicólogo. São Paulo, SP.
- Prasher, D (1999) Issue of environmental noise and annoyance. *Noise Health*. v.1, p. 1 – 2. Disponível em: <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?1999/1/3/1/31721> Data de acesso: 21 de abril de 2013.
- Phun, V. K., Terada, J., Hirata, T e Yai, T (2013) Analysis of Aircraft Noise Sensitivity for Urban Airport: A Concept of Reference Noise Level. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, v. 9.
- Püschel, R e Evangelinos, C (2012) Evaluating noise annoyance cost recovery at Düsseldorf International Airport. *Transportation Research Part D*. v. 17, n. 8, p. 598–604.
- RBAC (2013) Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (161). *Planos de Zoneamento de Ruído de Aeródromos*. Aprovado na resolução n. 281, de 10 de setembro de 2013, publicado no Diário Oficial da União de 13 de setembro de 2013, Seção 1, p. 14 – 15.
- RGR (2007) *Regulamento Geral do Ruído*. Decreto Lei n.º 9/2007, 17 de Janeiro de 2007, retificado pela Declaração de Retificação n.º 18/2007 de 16 de Março. Portugal.
- Ribas, J. R e Vieira, P. R. C (2011) *Análise multivariada com uso do SPSS*. Editora Ciência Moderna Ltda. Rio de Janeiro, RJ.
- Ribeiro, B. M. P., Madoz, K. A e Garavelli, S. L (2005) Quantificação dos níveis de ruído emitidos por carros de som no Distrito Federal. *1º PLURIS - Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional Integrado e Sustentável*. São Carlos, São Paulo. Livro de Atas, 2005.
- Rocha, R. e Slama, J (2008) Adequação do zoneamento urbano ao zoneamento sonoro dos aeroportos. *VII SITRAER*, p. 629-640 – Tr. 512.
- Rocha, R. B (2009) *Um método para adequação do zoneamento urbano à influência sonora dos aeroportos com auxílio de sistemas de informação geográfica: o caso do aeroporto de Congonhas e seu entorno*. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ.
- SAC (2014) Secretaria de Aviação Civil (SAC). *Aeroportos brasileiros têm expansão recorde*. Disponível em: <<http://www.aviacaocivil.gov.br/noticias/2014/06/aeroportos-brasileiros-tem-expansao-recorde>> Data de acesso: 07 de janeiro de 2015.
- Sadr MK., Nassiri P, Hosseini M, Monavari M e Gharagozlou A (2014) Assessment of land use compatibility and noise pollution at Imam Khomeini International Airport. *Journal of Air Transport Management*, v. 34, p. 49 – 56.

- Schreckenber, D e Meis, M (2007) Noise annoyance around an international airport planned to be extended. In: I-INCE, ed. Inter-Noise 2007, Proceedings of the 36th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, Istanbul, Turkey, August 28 – 31. Istanbul: Turkish Acoustical Society.
- Schreckenber, D., Meis, M., Kahl, C., Peschel, C e Eikmann, T (2010) Aircraft noise and quality of life around Frankfurt Airport. *International journal of environmental research and public health*, v. 7, n. 9, p. 3382 - 3405.
- Schultz, T.J. (1978). Synthesis of social surveys on noise annoyance. *Journal of the Acoustical Society of America*, v. 64, n. 2, p. 377 - 405.
- Shepherd, D., Welch, D., Dirks, K. N e Mathews, R (2010) Exploring the Relationship between Noise Sensitivity, Annoyance and Health-Related Quality of Life in a Sample of Adults Exposed to Environmental Noise. *International Journal Environmental Research and Public Health*. v. 7, p. 3579 - 3594.
- Silva, D. R e Garavelli, S. L (2012) Quantificação dos níveis de ruído emitidos por carros de som no Distrito Federal. *5º PLURIS - Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional Integrado e Sustentável*. Brasília, Distrito Federal. Livro de Actas, 2012.
- Stallen (1999) A theoretical framework for environmental noise annoyance. *Noise Health*, v. 1, n. 3, p. 69 - 80.
- Stansfeld, S.A (1992) Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: Epidemiological and psychophysiological studies. *Psychological Medicine Monograph Supplement 22*, p. 1 – 44.
- Stevens N, Baker D e Freestone, R (2010) Airports in their urban settings: towards a conceptual model of interfaces in the Australian context. *Journal of Transport Geography*. v. 18, p.276 – 284.
- Suau-Sanchez P, Pallares-Barbera, M e Paül V (2011). Incorporating annoyance in airport environmental policy: noise, societal response and community participation. *Journal of Transport Geography*. v.19, p. 275 –284.
- Thomas, C.; Hume, K.; Hooper, P (2004) Aircraft Noise, Airport Growth and Regional Development. *10th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. Disponível em: <http://arc.aiaa.org/doi/abs/10.2514/6.2004-2806> Data de acesso em: 4 junho de 2013
- Tipler, P. A e Mosca, G (2009) *Física para cientistas e engenheiros*. 5ª ed. Ed. LTC, vol. 01, São Paulo, SP.
- TC (2011a) *Transport Canada*. Disponível em: <http://www.tc.gc.ca/eng/civilaviation/standards/aerodromeairnav-standards-noise-menu-923.htm> Data de acesso em: 10 dezembro de 2011.
- TC (2011b) *Transport Canada* . Disponível em: <http://www.tc.gc.ca/eng/civilaviation/publications/tp1247-part4-part4-1-171.htm> Data de acesso em: 10 dezembro de 2011.
- Triola, M. F (2008) *Introdução à Estatística. Estimativas e Tamanhos Amostrais*. Livros Técnicos e Científicos (LTC). Rio de Janeiro, RJ.
- U.S. EPA (1974) *Information on levels of environmental noise requisite to protect public health and welfare with an adequate margin of safety*. Disponível em: [http://www.fican.org/pdf/EPA\\_Noise\\_Levels\\_Safety\\_1974.pdf](http://www.fican.org/pdf/EPA_Noise_Levels_Safety_1974.pdf) Data de acesso: 11 de março de 2011.
- Valim, F. C (2006) *Análise das diferentes formas de atenuação do ruído aeronáutico*. Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Vieira, H. C., Castro, A. E e Schuch Júnior, V. F (2010) O uso de questionários via e-mail em pesquisas acadêmicas sob a ótica dos respondentes. *XIII SemeAd Seminários em Administração*.
- Wallston, K. A., Wallston, B. S., Smith, S e Dobbins, C (1987). Perceived control and health. *Current Psychological Research and Reviews*. v. 6, p. 5 – 25.

- WHO (1999) World Health Organization. *Guidelines for Community Noise*. World Health Report – WHO.
- WHO (1994) World Health Organization. *The Copenhagen Declaration on Health Policy. The challenges to health in Europe*. World Health Report - WHO.
- WHO (2000) World Health Organization. *Environmental Health Indicators: Development of a Methodology for WHO European Region*, W.H.O. Copenhagen, Denmark.
- WHO (2001) World Health Organization. *Occupational and community noise* .World Health Report.
- WHO (2003) World Health Organization. *Protection of the Human Environment. Assessing the environmental burden of disease at national and local levels: introduction and methods*. Geneva.
- WHO (2009) World Health Organization. *Night noise guidelines for europe*. W.H.O Regional Office for Europe. Copenhagen.
- WHO (2011) World Health Organization. *Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe*. W.H.O. Regional Office for Europe: Denmark.
- Yamada, I (2012) Supplemental note for the Japanese comments on 1CD 1996-1 (ISO/TC 43/SC1 N1919). Disponível em: [http://isotctest.iso.org/livelink/livelink/fetch/-8796219/8796237/8796246/14827193/14831259/Supplemental\\_notes\\_on\\_1CD-1996-1\\_from\\_Japan%28Yamada%29.pdf?nodeid=14828325&vernum=-2](http://isotctest.iso.org/livelink/livelink/fetch/-8796219/8796237/8796246/14827193/14831259/Supplemental_notes_on_1CD-1996-1_from_Japan%28Yamada%29.pdf?nodeid=14828325&vernum=-2) Data de acesso: 23 de fevereiro de 2015.
- Yano, T.; Gjestland, T.; Lee, S (2012) Community response to noise. *Noise & health*. v. 14, n. 61, p. 303 - 306.
- Yokoshima, S., Yano, T., Morinaga, M e Ota, A (2012) Representative dose-response curves for individual transportation noises in Japan. *Inter-noise 2012*. New York. USA.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A NOÇÕES BÁSICAS DE ACÚSTICA

### A.1 SOM E RUÍDO

No Apêndice A apresenta-se uma revisão teórica dos fundamentos de acústica necessários para o entendimento desse estudo.

O som é definido como sendo uma onda mecânica<sup>22</sup> longitudinal<sup>23</sup> resultante de variações de pressão em um meio elástico (líquido, sólido ou gasoso) (Okuno *et al.*, 1982). A elasticidade de um meio é a capacidade desse meio de ter sua forma alterada, pela ação de uma força aplicada, e de retornar à sua forma original depois que a força for removida. Em líquidos e sólidos elásticos, cada átomo está próximo aos outros, respondendo facilmente à movimentação dos outros átomos e transmitindo energia com pouca perda. Desse modo, o som é considerado uma forma de energia, sendo que a maior parte dos sons são transmitidos através do ar (Hewitt, 2008, p. 351).

Os sons que provocam no ser humano sensações auditivas são chamados de “sons audíveis” e dão origem a um fenômeno psicofisiológico denominado “sensação auditiva”. Já a definição do conceito de “ruído”, de forma geral, é mais complexa sendo o “ruído” um som composto por vibrações não harmônicas, em comparação com o som musical, e é entendido, muitas vezes, como som indesejável ou desagradável onde este entendimento depende de uma variedade de fatores físicos e não físicos (Paul, 2010).

### A.2 ALTURA E INTENSIDADE SONORA

As principais características do som são: altura e intensidade. A altura de um som relaciona-se à frequência onde vibrações rápidas da fonte sonora (alta frequência) produzem um som mais alto (agudo) enquanto vibrações lentas (baixa frequência) produzem um som mais baixo (grave) (Hewitt, 2008, p.361).

O sistema auditivo humano é muito sensível e capaz de detectar sons com frequência entre 20 Hz e 20 kHz (1 kHz =  $10^3$  Hz). Esse limite permite ao ouvido humano interpretar desde o som de uma suave brisa até o lançamento de um foguete espacial. Os sons com frequências abaixo de

---

<sup>22</sup> Ondas que necessitam de meio elástico para se propagar.

<sup>23</sup> Ondas que fazem o meio oscilar paralelamente à direção de propagação da própria onda (longitudinalmente).

20 Hz são chamados de infrassom e acima de 20.000 Hz, ultrassom. A faixa de frequência audível para animais pode ser diferente da do homem. No caso dos morcegos essa faixa é de 10 kHz a 120 kHz, nos golfinhos de 10 kHz a 240 kHz, nos cães de 15 Hz a 50 kHz e nos gatos de 60 Hz a 65 kHz (Okuno *et al.*, 1982).

A intensidade sonora ( $I$ ) em meio é a taxa média por unidade de área com a qual a energia contida na onda atravessa ou é absorvido pelo meio (Halliday e Resnick, 2009, p.158). É matematicamente definida por:

$$I = \frac{W}{\text{Área}} \quad (39)$$

Onde  $W$  é a taxa de variação com o tempo da transferência de energia sonora (potência sonora). A intensidade é expressa, no SI, por  $W/m^2$  (Watts por metro quadrado) e quanto maior a potência de um determinado som, mais energia sonora é transmitida e mais alta é a percepção auditiva desse som.

### **A.3 DECIBEL (DB), NÍVEL DE INTENSIDADE SONORA ( $L_I$ ) E NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA ( $L_W$ )**

O ouvido humano é sensível a intensidades sonoras que abrangem uma faixa enorme desde, aproximadamente,  $10^{-12} W/m^2$  (o limiar da audição) até mais de  $1 W/m^2$  (o limiar da dor). Devido a esse grande intervalo, uma escala logarítmica de base dez, denominada escala decibel (dB) é adotada para definir o nível de intensidade sonora ( $L_I$ ) e o nível de potência sonora ( $L_W$ ). Desse modo, o decibel é a razão logarítmica entre duas potências ou intensidades sonoras.

O nível de intensidade sonora ( $L_I$ ) é definido pela seguinte equação:

$$L_I = 10 \times \log \left( \frac{I}{I_0} \right) dB \quad (40)$$

Com o valor de  $10^{-12} W/m^2$  sendo a intensidade sonora de referência ( $I_0$ ) (Maekawa e Lord, 2004, p.9). Da equação 2 tem-se que o limiar de audição ( $I = 10^{-12} W/m^2$ ) corresponde a um nível de intensidade sonora de 0 dB e o limiar da dor equivale a 120 dB

$\left( L_I = 10 \times \log \left( \frac{1}{10^{-12}} \right) dB = 10 \times \log (10^{12}) dB = 120 dB \right)$ . Dessa maneira, a faixa de intensidade sonora entre  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  e  $1 \text{ W/m}^2$  corresponde a níveis de intensidade entre 0 dB e 120 dB (Tipler e Mosca, 2009, p.517).

Já o nível de potência sonora ( $L_W$ ) é definido como:

$$L_W = 10 \times \log \left( \frac{W}{W_0} \right) dB \quad (41)$$

Onde  $W$  é a potência sonora de interesse e  $W_0$  ( $1 \times 10^{-12} \text{ W}$ ) é uma potência sonora de referência (Bistafa, 2006, p. 16).

#### A.4 PRESSÃO SONORA

Ao nível do mar, a pressão ambiente é de cerca de  $101.350 \text{ Pa}^{24}$ . A menor variação de pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo humano é da ordem de  $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$ . Essa pressão chama-se limiar da audibilidade e a variação da pressão ambiente capaz de provoca dor é o limiar da dor, sendo da ordem de  $60 \text{ Pa}$ . Para que a variação da pressão ambiente seja detectada como som é necessário que essa variação ocorra de forma cíclica e com a amplitude ( $A$ ) maior que o limiar da audibilidade. Desse modo, o sistema auditivo detectará o som e a variação da pressão ambiente passa a ser chamada de pressão sonora ( $p$ ), ou pressão acústica (Bistafa, 2006, p. 7).

Cabe ressaltar, que a pressão sonora é a grandeza mais importante para caracterizar os efeitos do som sobre o ser humano, podendo ser medida diretamente com a utilização de um transdutor eletroacústico, conhecido como microfone, que transforma a pressão sonora em um sinal elétrico equivalente. Esse sinal é expresso em termos de nível de pressão sonora e o instrumento que realiza essa tarefa é o medidor de nível sonoro, também denominado sonômetro, e popularmente conhecido como decibímetro (Bistafa, 2006, p. 73).

---

<sup>24</sup> Pa (Pascal) é a unidade de pressão no Sistema Internacional (SI) de unidades e medidas. Corresponde a um Newton por  $\text{m}^2$  ( $1 \text{ N/m}^2$ ).

## A.5 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

Segundo Bistafa (2006, p.12) a pressão sonora é o estímulo físico que mais se correlaciona com a sensação de som. A relação intensidade ( $I$ ), potência sonora ( $W$ ) e pressão sonora ( $p$ ) é dada por:

$$I = \frac{W}{\text{Área}} = \frac{p^2}{z} \quad (42)$$

Onde  $z$  é a impedância acústica do meio de propagação, sendo definida como a razão entre a pressão sonora e a velocidade das partículas (moléculas) de ar quando deslocam-se da posição de equilíbrio. Possui como unidade  $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  denominada “rayl”. Da equação 4, tem-se que a intensidade sonora é proporcional ao quadrado da pressão sonora. Assim, em termos de pressão sonora a equação 42 pode ser escrita da seguinte maneira:

$$L_p = 10 \times \log \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right) = 20 \times \log \left( \frac{p}{p_0} \right) \text{dB} \quad (43)$$

Sendo  $L_p$  o nível de pressão sonora e  $p_0$  uma pressão sonora de referência, normalmente tomada com o limiar da audição humana, ou seja,  $p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$  ( $20 \mu\text{Pa}$ )<sup>25</sup>. A Figura 33 mostra alguns níveis de pressão sonora associados às atividades cotidianas.

---

<sup>25</sup>  $1 \mu\text{Pa}$  (micropascal) =  $10^{-6}$  Pascal

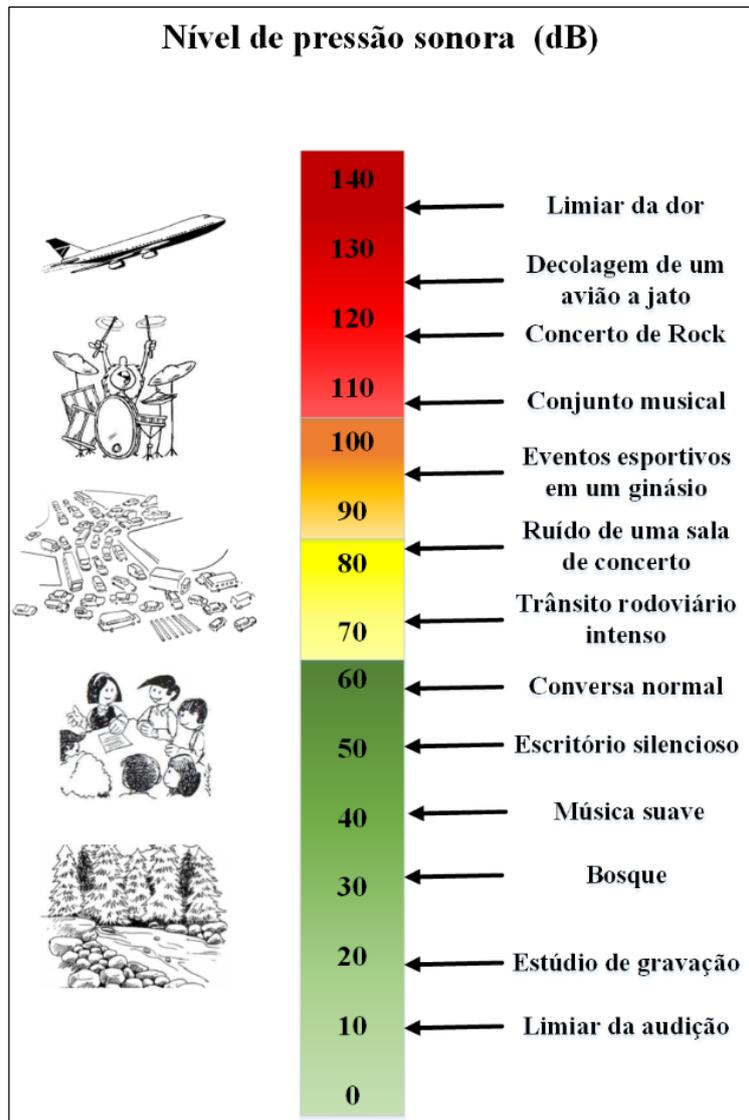


Figura 33. Nível de pressão sonora de algumas atividades cotidianas  
 Fonte: Adaptado de Murphy e King, 2014, p. 22

## A.6 MEDIDORES DE NÍVEIS SONOROS E FILTROS DE COMPENSAÇÃO

O componente básico de um instrumento para medidas acústicas é um sensor de pressão sonora. Esse sensor (microfone) transforma a pressão sonora em um sinal elétrico equivalente que é expresso em termos de nível de pressão sonora. Esse equipamento é denominado medidor de nível de pressão sonora, também conhecido como sonômetro ou decibímetro (Bistafa, 2006, p. 73).

Como o ouvido humano é menos sensível a baixas frequências do que a altas frequências, filtros de compensação para frequência precisam ser utilizados pelos medidores de nível de pressão sonora que registram, de forma direta, o nível da pressão sonora de um fenômeno acústico. Esses

aparelhos geralmente operam com dois tipos de filtros de compensação: “A” e “C” (Figura 34). Esses filtros simulam o comportamento do ouvido humano, registrando o nível de pressão sonora que chega ao ouvido, independente da faixa de frequência em que o ruído é emitido. O filtro “A” é o mais usado para medição de ruídos, pois apresenta as respostas mais próximas ao que ouvido humano percebe. Tem como expressão simbólica o dB(A). Já o filtro “C” é usado particularmente quando se deseja avaliar sons com frequências ou muito baixas ou muito altas.

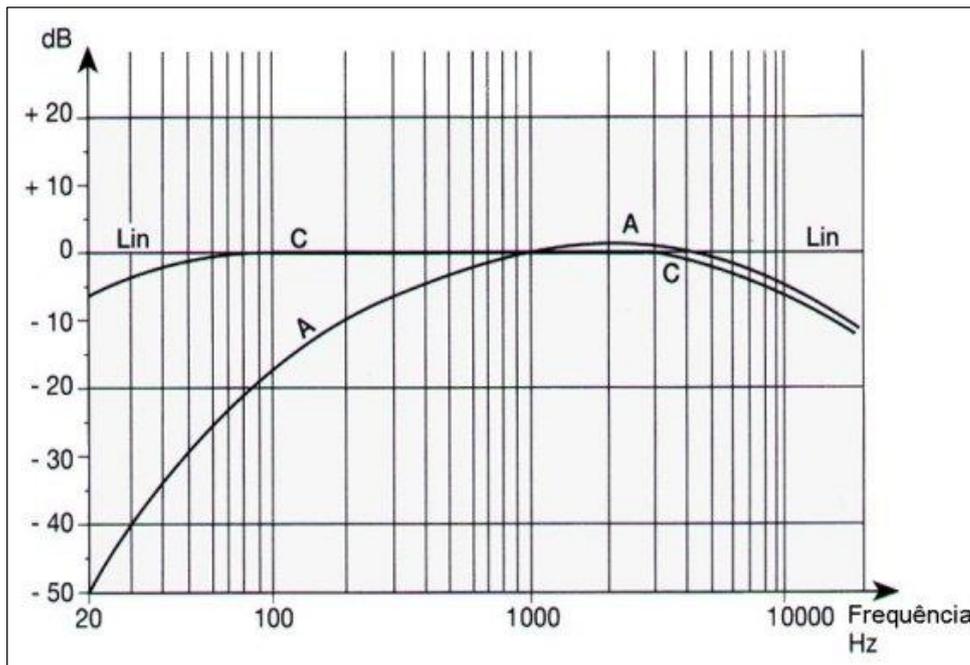


Figura 34. Curvas A e C.

Fonte da figura: <http://www.prof2000.pt/users/eta/ruído.htm>

## A.7 ESPECTRO SONORO E BANDAS DE FREQUÊNCIA

Sons em uma única frequência são chamados de tons puros, porém os sons comumente ouvidos quase nunca são tons puros. Na realidade, os sons que escutamos são quase sempre uma combinação de tons puros em diversas faixas frequências (Bistafa, 2006, p. 18). Frequentemente, em estudos referentes ao ruído ambiental, torna-se necessário examinar melhor as frequências associadas a um determinado ruído sob análise. Isso é possível por meio da avaliação do espectro de frequências, ou espectro sonoro que se refere à relação entre amplitude e frequência de um som complexo, ou ruído. Instrumentos de medição acústica (sonômetro) normalmente fornecem o espectro sonoro em bandas ou faixas de frequências.

### A.7.1 Bandas de oitavas e de 1/3 de oitavas

A medição mais elementar que qualquer medidor de nível de pressão sonora pode fazer é a do nível sonoro total em decibéis. O valor obtido, um número único, representa a energia sonora contida na faixa de frequências que o medidor pode captar. Para se obter esse tipo de informação, é necessário a utilização de filtros de análise espectral (Bistafa, 2006, p. 78).

Estes filtros se caracterizam pela frequência central da banda ( $f_{central}$ ), pela frequência de corte inferior da banda ( $f_{inf}$ ) e pela frequência de corte superior da banda ( $f_{sup}$ ). Desse modo, uma banda é caracterizada por uma distribuição contínua da pressão sonora em frequências. No caso das bandas de oitava, o espectro sonoro de 20 Hz à 20 kHz pode ser dividido em aproximadamente 11 bandas. A percentagem da largura da banda, fracionada por banda de oitava, é constante e é

expressa por:  $100 \times \left( \frac{f_{sup} - f_{inf}}{f_{central}} \right) \cong 70,7\%$  onde  $f_{inf}$  é a frequência do limite inferior da banda,

$f_{sup}$  a frequência do limite superior da banda e  $f_{central}$  a frequência central da banda larga. A Tabela 46 mostra as frequências centrais e as frequências dos limites inferiores e superiores das bandas de oitavas.

Quando se deseja analisar o espectro sonoro com mais detalhes é bastante adotada a divisão do espectro, de 20 Hz à 20 kHz, em aproximadamente 31 bandas de oitavas denominadas de 1/3 de oitavas. Nesse caso, cada banda de oitava é dividida em três partes de 1/3 oitava. A percentagem da largura da banda fracionada por 1/3 de oitava é constante é expressa por:

$100 \times \left( \frac{f_{sup} - f_{inf}}{f_{central}} \right) \cong 23,2\%$  onde  $f_{inf}$  é a largura da banda inferior,  $f_{sup}$  a frequência da banda

larga superior e  $f_{central}$  a frequência central. As bandas de 1/3 oitavas estão expressas na Tabela 46.

Tabela 46 Bandas de oitavas e de 1/3 oitavas

Oitava			1/3 oitava		
$f_{inf}$ (Hz)	$f_{central}$ (Hz)	$f_{sup}$ (Hz)	$f_{inf}$ (Hz)	$f_{central}$ (Hz)	$f_{sup}$ (Hz)
11	16	22	11,2	12,5	14,1
			14,1	16	17,8
			17,8	20	22,4
22	31	44	22,4	25	28,2
			28,2	31,5	35,5
			35,5	40	44,7
44	63	88	44,7	50	58,2
			56,2	63	70,8
			70,8	80	89,1
88	125	177	89,1	100	112
			112	125	141
			141	160	178
177	250	355	178	200	224
			224	250	282
			282	315	356
355	500	710	356	400	447
			447	500	562
			582	630	708
710	1.000	1.420	708	800	891
			891	1.000	1.122
			1.122	1.250	1.413
1.420	2.000	2.840	1.413	1.600	1.778
			1.778	2.000	2.239
			2.239	2.500	2.818
2.840	4.000	5.680	2.818	3.150	3.548
			3.548	4.000	4.467
			4.467	5.000	5.623
5.680	8.000	11.360	5.623	6.300	7.079
			7.079	8.000	8.913
			8.913	10.000	11.220
11.360	16.000	22.720	11.220	12.500	14.130
			14.130	16.000	17.780
			17.780	20.000	22.390

Fonte: Bistafa (2006, p.82)

### A.7.2 Tipos de ruído

De acordo com a norma ISO 2204/1973 (*International Standard Organization*), os ruídos podem ser classificados como:

- contínuo: cujas variações de nível de pressão sonora são desprezíveis (aproximadamente 3 dB), apresentando maior duração durante o período de observação;
- intermitente: cresce e decresce rapidamente apresentando uma variação de, aproximadamente, 3 dB no período de observação;
- impacto ou impulso: é todo ruído que contém impulsos, que são picos de energia acústica, com duração menor do que um segundo e que se repete a intervalos maiores do que um segundo.

O ruído ainda pode ter componente tonal. A NBR 10.151 (ABNT, 2000), define ruídos com componentes tonais, os ruídos que contém tons puros, como o som de apitos e zumbidos, porém não apresenta uma forma objetiva para a classificação desta componente. Neste trabalho será utilizado o método indicado na revisão da NBR 10.151 (2012). A avaliação de som tonal é realizada pela comparação do nível de pressão sonora equivalente de uma banda de 1/3 de oitava com os níveis de pressão sonora equivalentes nas duas bandas de 1/3 de oitava adjacentes.

Para identificar a presença de um som tonal é necessário que o nível de pressão sonora equivalente na banda de 1/3 de oitava de interesse exceda os níveis de pressão sonora equivalentes em ambas as bandas de 1/3 de oitava adjacentes, de acordo com os valores da Tabela 47.

Tabela 47. Critério de tonalidade

Faixa de frequência	25 Hz a 125 Hz	160 Hz a 400 Hz	500 Hz a 10k Hz
Diferença	15 dB	8 dB	5 dB

Fonte: NBR 10.151 (2012)

## APÊNDICE B DADOS DE ENTRADA DAS CURVAS DE RUÍDO

A Tabela 48 mostra o percentual de operações de pousos e decolagens, em cada cabeceira do SBBR, com base no ano de 2012. Já a Tabela 49 mostra a composição da frota de aeronaves para o ano de 2012 e a Tabela 50 resume as rotas de pouso e decolagens.

Tabela 48. Percentuais de operações nas cabeceiras

% utilização (Decolagem)	% utilização (Pouso)
16	67
60	9
20	2
4	22

Fonte: INFRAMÉRICA

Tabela 49. Composição da frota de aeronaves - 2012

Modelo aeronave	Total de movimentos (anuais)	Total de movimentos (diários)	% do total de movimentos
BEC58	4.034	11	2%
C-208	4.034	11	2%
ERJ-145	10.086	28	5%
F 100	8.069	22	4%
ERJ-190	10.086	28	5%
A319	24.206	66	12%
A320	50.429	138	25%
B737-300	8.069	22	4%
B737-700	24.206	66	12%
B737-800	50.429	138	25%
B727-200	2.017	6	1%
A321	6.051	17	3%

Tabela 50. Principais rotas de pouso e decolagem

Rotas pouso	Linha reta para todas as cabeceiras
Rotas decolagem	Cabeceira 11L: quatro rotas com curva à direita e duas rotas com curva à esquerda
	Cabeceira 11R: quatro rotas com curva à direita e duas rotas com curva à esquerda
	Cabeceira 29L: cinco rotas com curva à esquerda e três rotas com curva à direita
	Cabeceira 29R: cinco rotas com curva à esquerda e três rotas com curva à direita

Fonte: Cartas de voo SBBR. Disponível no sítio do Serviço de Informação Aeronáutica:  
<<http://www.aisweb.aer.mil.br/?i=publicacoes>>. Acesso em jan. 2014

## APÊNDICE C QUESTIONÁRIO

Prezado(a)

Me chamo Edson Benício de Carvalho Júnior, sou professor da Universidade Católica de Brasília e estudante de doutorado do Programa de Pós-graduação em Transportes – Departamento de Engenharia Civil – da Universidade de Brasília (UnB). Gostaria que você respondesse a um breve questionário, sendo sua participação muito relevante para a pesquisa que estou desenvolvendo. Caso tenha alguma dúvida, ou sugestão, você pode entrar em contato comigo no seguinte email: [edsonbenicio@gmail.com](mailto:edsonbenicio@gmail.com)

**Ressalto que suas respostas não serão usadas para qualquer outro fim e são confidenciais.**

As perguntas estão agrupadas em 3 (três) seções.

### SEÇÃO I

Nesta seção, foi adotada uma escala numérica de 0 a 10. Se você não está **nada incomodado**, escolha 0 e se você é **extremamente incomodado**, escolha 10. Se o seu nível de incômodo estiver entre esses dois valores, escolha um número entre 0 e 10.

<b>Questão 01</b>	<b>Escala</b>										
Atualmente, indique qual número melhor representa o quanto você está incomodado com o ruído (barulho):											
dos aviões (ruído aeronáutico)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
do tráfego rodoviário	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
do tráfego rodoviário e da operação de aviões no aeroporto (combinados)?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
de trens	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
de motocicletas	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
de carros de som	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
de construções	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
de restaurantes / bares / boates	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
de vizinhos durante a noite	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

<b>Questão 02</b>	<b>Escala</b>										
Quanto o ruído (barulho) proveniente dos aviões (ruído aeronáutico) o(a) incomoda nas seguintes situações:											
quando você está lendo/estudando?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
quando você está assistindo TV?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
quando você está falando ao telefone?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
quando você está dormindo?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
quando você está meditando/rezando/orando?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

<b>Questão 03</b>	<b>Escala</b>										
Quanto o ruído (barulho) proveniente dos aviões (ruído aeronáutico) o(a) incomoda:											
durante o dia (período diurno: 07h – 22h)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
durante a noite (período noturno: 22h – 07h)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

<b>Questão 04</b>	<b>Escala</b>										
Se o ruído (barulho) proveniente dos aviões (ruído aeronáutico) o(a) acorda/desperta no meio da noite, o quanto você se sente incomodado(a)?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

<b>Questão 05</b>	<b>Escala</b>										
Quanto o ruído (barulho) proveniente do tráfego rodoviário o(a) incomoda nas seguintes situações:											
quando você está lendo/estudando?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
quando você está assistindo TV?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
quando você está falando ao telefone?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
quando você está dormindo?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
quando você está meditando/rezando/orando?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

<b>Questão 06</b>	<b>Escala</b>										
Quanto o ruído (barulho) proveniente do tráfego rodoviário o(a) incomoda:											
durante o dia (período diurno: 07h – 22h)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
durante a noite (período noturno: 22h – 07h)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

<b>Questão 07</b>	<b>Escala</b>										
Se o ruído (barulho) proveniente do tráfego rodoviário o(a) acorda/desperta no meio da noite, o quanto você se sente incomodado(a)?	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

## SEÇÃO II

Nesta seção, as perguntas referem-se a alguma possibilidade de distúrbio no sono que durante a noite o(a) impede de ter um sono tranquilo, reparador e consequentemente provoca sonolência durante o dia. Procure diferenciar a chance de sentir-se simplesmente cansado.

A escala adotada nesta seção é a Escala de Sonolência de Epworth que é um método utilizado para medir os níveis de sonolência diurna, onde você atribui deve atribuir notas (de 0 a 3) para cada situação de acordo com a probabilidade de dormir frente a cada uma delas.

Por favor, utilizando a escala abaixo, escolha o número que melhor represente a sua probabilidade de “cochilar” ou dormir nas situações que se apresentam.

### Escala de Epworth:

**(0) Nunca “cochilaria”/dormiria**

**(1) Pequena probabilidade de “cochilar”/dormir**

**(2) Probabilidade média de “cochilar”/dormir**

**(3) Grande probabilidade de “cochilar”/dormir**

Qual a probabilidade de você “cochilar” ou dormir nas seguintes situações?	Escala de Epworth			
Sentado e lendo	0	1	2	3
Assistindo TV	0	1	2	3
Sentado, quieto, em lugar público (teatro, reunião)	0	1	2	3
Andando de carro por uma hora sem parar, como passageiro	0	1	2	3
Ao deitar-se à tarde, para descansar	0	1	2	3
Sentado, conversando com alguém	0	1	2	3
Sentado quieto após o almoço, sem bebida alcoólica	0	1	2	3
Em um carro parado no trânsito, por alguns minutos	0	1	2	3

## SEÇÃO III

Nesta seção, gostaria de conhecer um pouco melhor você. Por favor, responda as seguintes questões:

**Questão 01.** Sexo:

1	Masculino	2	Feminino
---	-----------	---	----------

**Questão 02.** Em qual Região Administrativa (RA) você reside: \_\_\_\_\_

**Questão 03.** Qual o seu CEP (Código de Endereçamento Postal)? \_\_\_\_\_

**Questão 04.** Qual a sua idade? \_\_\_\_\_

**Questão 05.** Qual o seu nível de escolaridade?

1	Ensino fundamental
2	Ensino médio
3	Ensino superior
4	Pós-graduação

**Questão 06.** Sua residência possui algum tipo de isolamento acústico especial, ou seja, foi construída ou reformada com uso de materiais que permitem a redução do ruído externo nos ambientes internos da residência? Exemplos de materiais utilizados em isolamentos acústicos: telhas termoacústicas, forro isolante acústico para telhados, janelas e portas acústicas, etc.

1	Sim	2	Não
---	-----	---	-----

**Questão 07.** Como você descreve o imóvel em que reside? Marque uma das opções abaixo.

Flat / Apartamento	
Casa somente com o térreo	
Casa de dois pavimentos	
Casa com mais de dois pavimentos	

## APÊNDICE D POPULAÇÃO EXPOSTA ESTIMADA

A Tabela 51 apresenta a população exposta (PE) e o percentual da população exposta (%PE) determinados. Para a obtenção dos valores expressos nas colunas PE e %PE adotou-se os seguintes passos:

- (1) inicialmente foi realizada a intersecção de todas as curvas de ruído, a partir da *DNL* 50, com a base censitária do IBGE 2010 no *software* QGIS 2.8;
- (2) com o arquivo gerado em (1), e mostrado na Figura 21, foi analisada a tabela de atributos do arquivo e identificou-se os códigos censitários pertencentes a cada curva *DNL*. Com essa informação, e com auxílio da planilha censitária, determinou-se a população total por RA no interior dessas curvas. A Tabela 51, apresenta a população total de cada RA (Pop. RA) e na coluna  $PTC^1$  expressa os valores totais calculados para cada curva sendo o total geral obtido de 577.124 pessoas. Não foram identificados domicílios e residentes no interior das *DNL*'s 75, 80 e 85. Essas curvas estão no interior do sítio aeroportuário;
- (3) foi realizada a subtração do resultado da população total (577.124) e o valor calculado para a *DNL* 50 (316.741), que engloba todas as demais curvas. O valor obtido foi de 260.383;
- (4) o percentual superestimado foi de 45,12% ( $260.383/577.124$ ). Deduzindo esse percentual da população total de cada RA (coluna  $PTC^1$ ) obtêm-se a coluna  $PTC^2$  com a primeira correção do cálculo da população total estimada por RA e por *DNL*. O total geral na coluna  $PTC^2$  é 260.383 que corresponde à diferença realizada em (3).
- (5) as curvas *DNL*'s 60, 65 e 70 são mais estreitas não abrangendo muitos setores censitários. Desse modo, fez-se necessário selecionar (com uso do QGIS) cada setor censitário sob essas curvas, individualmente, e realizar a contagem das habitações no interior de cada curva. Após esse procedimento, multiplicou-se o número de habitações, por curva de ruído, pelo valor da média do número de moradores por domicílios (MMPD).
- (6) a coluna PE, na Tabela 51, mostra o resultado final para o cálculo da população exposta.

Tabela 51. População exposta ao ruído aeronáutico

<i>DNL 50</i>						
RA	Pop. RA	MMPD	PTC <sup>1</sup>	PTC <sup>2</sup>	PE	% PE
Brasília	221.223	2,81	3.623	1.635	1.635	1%
Candangolândia	16.799	3,66	15.858	7.155	7.155	43%
Guará*	125.808	3,09	19.595	8.841	8.841	7%
Lago Sul	31.206	3,57	20.918	9.438	9.438	30%
Núcleo Bandeirante	23.714	3,24	37.397	16.873	0	0%
Paranoá	45.613	3,65	5.413	2.442	2.442	5%
Park Way	19.759	3,65	13.683	6.173	6.173	31%
Riacho Fundo	37.278	3,34	46.858	21.141	8.946	24%
Samambaia	220.806	3,59	7.084	3.196	3.196	1%
São Sebastião	97.977	3,58	12.153	5.483	5.483	6%
Taguatinga	214.282	3,19	134.159	60.529	60.529	28%
<b>Total</b>	<b>1.054.465</b>		<b>316.741</b>	<b>142.905</b>	<b>113.838</b>	11%
<i>DNL 55</i>						
RA	Pop. RA	MMPD	PTC <sup>1</sup>	PTC <sup>2</sup>	PE	% PE
Candangolândia	16.799	3,66	10.202	4.603	4.603	27%
Guará*	125.808	3,09	3.070	1.385	1.385	1%
Lago Sul	31.206	3,57	15.020	6.777	6.777	22%
Núcleo Bandeirante	23.714	3,24	32.733	14.768	2.609	11%
Park Way	19.759	3,65	9.019	4.069	4.069	21%
Riacho Fundo	37.278	3,34	59.931	27.039	27.039	73%
São Sebastião	97.977	3,58	5.362	2.419	2.419	2%
Taguatinga	214.282	3,19	57.139	25.780	25.780	12%
<b>Total</b>	<b>566.823</b>		<b>192.476</b>	<b>86.840</b>	<b>74.681</b>	13%
<i>DNL 60</i>						
RA	Pop. RA	MMPD	PTC <sup>1</sup>	PTC <sup>2</sup>	PE	% PE
Candangolândia	16.799	3,66	4.924	2.222	1.428	9%
Guará*	125.808	3,09	1.203	543	834	1%
Lago Sul	31.206	3,57	8.746	3.946	3.946	13%
Núcleo Bandeirante	23.714	3,24	21.180	9.556	21.180	89%
Park Way	19.759	3,65	10.141	4.575	3.975	20%
Riacho Fundo	37.278	3,34	2.380	1.074	1.074	2,9%
Taguatinga**	214.282	3,19	887	400	615	0%
<b>Total</b>	<b>468.846</b>		<b>49.461</b>	<b>22.315</b>	<b>33.052</b>	7%
<i>DNL 65</i>						
RA	Pop. RA	MMPD	PTC <sup>1</sup>	PTC <sup>2</sup>	PE	% PE
Candangolândia	16.799	3,66	712	321	0	0%
Lago Sul	31.206	3,57	5.870	2.648	714	2,3%
Núcleo Bandeirante	23.714	3,24	2.610	1.178	1.172	5%
Park Way	19.759	3,65	9.254	4.175	701	4%
<b>Total</b>	<b>91.478</b>		<b>18.446</b>	<b>8322</b>	<b>2.587</b>	4%
<i>DNL 70</i>						

RA	Pop. RA	MMPD	PTC <sup>1</sup>	PTC <sup>2</sup>	PE	% PE
Candangolândia	16799	3,66	712	321	0	0.0%
Lago Sul	31206	3,57	1024	462	89	0.3%
Park Way	19759	3,65	1882	849	40	0.2%
<b>Total</b>	<b>67764</b>		<b>3618</b>	<b>1632</b>	<b>129</b>	<b>0.2%</b>
<b>Total Geral</b>			<b>577.124</b>	<b>260.383</b>	<b>224.157</b>	

Notas: Pop. RA (População total de cada RA. Fonte: PDAD 2013/2014) / MMPD (Média de Moradores por Domicílio. Fonte: PDAD 2013/2014) / PTC<sup>1</sup> = População Total Calculada / PTC<sup>2</sup> = primeira correção do cálculo da população total estimada / PE = população exposta / %PE = percentual da população exposta em relação à população total (Pop. RA) / \* Região da Vila IAPI / \*\* Região da Arniqueira

## APÊNDICE E VARIÁVEIS DO QUESTIONÁRIO

Categoria da variável	Variável	N. de itens	Escala de resposta	$\alpha$ de Cronbach's
Nível de incômodo com fontes sonoras	Nível de incômodo com o ruído (barulho) das seguintes fontes sonoras:	9	Escala numérica de 11-pt.	0,800
	1. aviões / 2. tráfego rodoviário / 3. ruído combinado (aéreo e rodoviário) / 4. trens / 5. motocicletas / 6. carros de som / 7. construções / 8. restaurantes/bares/boates / 9. vizinhos durante a noite			
Nível de incômodo com ruído aeronáutico	Nível de incômodo com o ruído aeronáutico na realização de atividades diárias	8	Escala numérica de 11-pt.	0,902
	1. lendo/estudando			
	2. assistindo TV			
	3. falando ao telefone			
	4. dormindo			
	5. meditando/rezando/orando			
	Nível de incômodo com o ruído aeronáutico (período diurno e noturno)			
Nível de incômodo quando despertado no meio da noite com o ruído aeronáutico				
Nível de incômodo com ruído rodoviário	Nível de incômodo com o ruído rodoviário na realização de atividades diárias	8	Escala numérica de 11-pt.	0,919
	1. lendo/estudando			
	2. assistindo TV			
	3. falando ao telefone			
	4. dormindo			
	5. meditando/rezando/orando			
	Nível de incômodo com o ruído rodoviário (período diurno e noturno)			
Nível de incômodo quando despertado no meio da noite com o ruído rodoviário				
Sonolência diurna excessiva (SDE)	Distúrbio no sono	8	Escala numérica de 4 - pt denominada Escala de Sonolência de Epworth (ESE). Soma de escores. SED: 0 - 6 ( normal); 7 - 9 (limite); 10 - 14 (leve); 15 - 20 (moderada); > 20 (grave)	0,753

Fatores pessoais (sociodemográficos)	Sexo	2	feminino / masculino	Não se aplica
	Região da cidade em residência	1		
	CEP (Código de Endereçamento Postal)	1		
	Idade	1		
	Escolaridade	4	fundamental / médio / superior / pós-graduação	
	Residência possui isolamento acústico	1	sim / não	
	Tipo de imóvel	4	Flat / Apartamento	
			Casa somente com o térreo	
Casa de dois pavimentos				
Casa com mais de dois pavimentos				

## APÊNDICE F RL: AI (ALTAMENTE INCOMODADOS) E DNL

Inicialmente, ao se executar a RL para a VD AI e a VI *DNL*, foi observado que todos os casos incluídos na análise foram aproveitados, ou seja, a amostra continha 402 casos e nenhum deixou de ser aproveitado. Também verificou-se a manutenção da codificação inicial 0 para “não incomodado (NI)” e 1 para “altamente incomodado (AI)” sendo a amostra composta por 339 pesquisados não incomodados e 63 altamente incomodados. Em seguida, obtém-se o primeiro bloco (Bloco 0) dos resultados da RL (Tabela 52). Nesse bloco só é considerado a constante (intercepto). Sendo assim, obtém-se quão bem a variável dependente AI pode ser predita, sem o emprego da variável independente *DNL*.

Tabela 52. Tabela de classificação<sup>a,b</sup>

Observado			Previstos		Percentual correto
			pessoas altamente incomodadas		
			NI	AI	
Passo 0	pessoas altamente incomodadas	NI	339	0	100,0
		AI	63	0	0,0
	Estatísticas Gerais				84,3

Notas: *a*: constante está incluída no modelo / *b*: o valor de corte é 0,500 / NI: nada incomodado / AI: altamente incomodado

Da Tabela 52, tem-se que a amostra é composta de 339 NI e 63 AI e que o modelo com apenas o intercepto previu corretamente 84,3% [ $339/(339 + 63)$ ] das informações prestadas pelos pesquisados, mas especificamente previu corretamente as respostas de todos os respondentes classificados como NI. Ainda cabe ressaltar, que o valor da estatística -2 verossimilhança-log (-2LL) obtido foi de 349,084. Esse valor servirá de referência para verificar o impacto da entrada da VI *DNL* no modelo sendo esperado que o -2LL diminua com a entrada da VI no modelo. O principal objetivo do -2LL é verificar se a RL, como um todo, é estatisticamente significante e facilitar comparações entre modelos alternativos (Corry *et al.*, 2012, p.295).

A Tabela 53 reforça que apenas a constante foi considerada na equação do modelo e apresenta o resultado do teste de Wald para a hipótese nula de que o valor da constante é zero. Nesse caso, essa hipótese foi significativamente rejeitada, indicando a existência de significância estatística para a constante, pois a estatística Wald foi de 150,46 e  $p = 0,000$ .

Tabela 53. Variáveis na equação

	$\beta$	S.E. (Erro padrão)	Wald	gl	Sig.	Exp( $\beta$ )
Passo 0 Constante	-1,683	0,137	150,457	1	0,000	0,186

Ainda da Tabela 53, tem-se que o intercepto (constante) desse primeiro bloco ( $\beta = -1,683$ ) é o único componente da equação do *logit*. Dessa forma:

$$\text{logit}(Y) = -1,683 \Rightarrow \text{logit}(Y) = \ln\left(\frac{P(Y)}{1-P(Y)}\right) = -1,683 \Rightarrow \frac{P(Y)}{1-P(Y)} = e^{-1,683} = 0,186$$

O valor 0,186 corresponde ao valor de Exp( $\beta$ ) que expressa o impacto do coeficiente de RL sobre a chance dos respondentes encontrarem-se AI ou NI, considerando o modelo somente com a constante. A Tabela 54 mostra o escore que testa se o coeficiente da VI *DNL* é igual a zero. Caso o escore não apresente significância estatística ( $p > 0,05$ ), é aceita a hipótese de que o coeficiente é zero, sendo aconselhável o descarte dessa VI. Como pode ser observado, rejeita-se a hipótese de que o coeficiente da VI seja zero, pois para a *DNL*  $p = 0,000$  (altamente significativa)

Tabela 54. Variáveis que não estão na equação

		Escore	gl	Sig.
Passo 0	Variáveis DNL	18,425	1	0,000
	Estatísticas gerais	18,425	1	0,000

O segundo bloco (Bloco 1 – método “*Enter*”) é a última seção e é constituída de 5 tabelas. O método “*Enter*” foi o método padrão utilizado para conduzir a RL do presente estudo. Nesse método, a covariável *DNL* é colocada no mesmo modelo da regressão em único bloco e as estimativas dos parâmetros são calculadas para cada bloco (Field, 2009, p. 227). A Tabela 55 mostra os resultados quando a VI *DNL* é inserida no modelo sendo todos os passos do estudo altamente significativos ( $p = 0,000$ ).

Tabela 55. Testes em etapas dos coeficientes do modelo

		Qui-quadrado	gl	Sig.
Passo 1	Step (Passo)	17,671	1	0,000
	Block (Bloco)	17,671	1	0,000
	Model (Modelo)	17,671	1	0,000

Após esse passo, obteve-se os resultados para as seguintes estatísticas:  $-2LL$ ,  $R^2$  de Cox & Snell e  $R^2$  de Nagelkerke. Verifica-se que o valor do  $-2LL$  é igual a 331,414 que é menor do que o  $-2LL$  (349,084) para o modelo nulo. Isto indica que com a entrada da VI *DNL* o modelo é melhor para prever o nível de incômodo que antes da VI *DNL* ter sido acrescentada. O  $R^2$  de Cox & Snell e o  $R^2$  de Nagelkerke são chamados de pseudos  $R^2$  – Quadrado e procuram indicar a proporção das variações ocorridas no *log* da razão de chance em decorrência das variações na VI *DNL*. O Cox & Snell situou-se no patamar de 4,3% e o  $R^2$  de Nagelkerke ficou em 7,4%. Como era esperado, o  $R^2$  de Cox & Snell ficou aquém do  $R^2$  de Nagelkerke, pois este corrige e modifica o  $R^2$  de Cox & Snell.

Em seguida, foi obtido o indicador estatístico Teste de Hosmer e Lemeshow que é, na verdade, um teste Qui-quadrado com o objetivo de testar a hipótese de que não há diferenças significativas entre os resultados preditos pelo modelo e os observados. Desse modo, foi observado um valor Qui-quadrado igual a 0,283, com 2 graus de liberdade (gl) e um nível de significância de 0,868 indicando que os valores preditos não são significativamente diferentes dos observados. Este é mais um indício de que o modelo pode ser utilizado para estimar a probabilidade de um determinado pesquisado torna-se altamente incomodado em função da VI *DNL*.

Com a inclusão da VI *DNL*, Bloco 1, das respostas indicadas pelos respondentes foi terminado um grau de acerto de 84,3%. Assim, não houve alteração em relação ao nível de acerto previsto no Bloco 0, que também foi de 84,3%. Dessa forma, em média, obtém-se 84,3% de acurácia nas predições. Era esperado uma taxa geral de acerto superior a 84,3% a inserção da VI *DNL* no modelo. Porém, justifica-se a importância da inclusão da VI *DNL* no modelo, com base nos resultados obtidos da estatística  $-2$  verossimilhança-log ( $-2LL$ ) e do Teste de Hosmer e Lemeshow. Até esse momento, foi realizada a avaliação do modelo como um todo sendo necessário verificar se os coeficientes da equação podem ser utilizados para estimar probabilidades, ou seja, os coeficientes devem ser testados sob a hipótese nula de que um determinado coeficiente não é significativamente diferente de zero.

A Tabela 56 mostra as variáveis escolhidas para compor o modelo logístico. A respeito dessa tabela, destaca-se:

- $x$ : variável(is) incluída(s) no modelo: VI *DNL*.

- $\beta$ : coeficiente da(s) variável(is). São os coeficientes logísticos utilizados para criar a equação de logística (*logit*). Desse modo,  $\beta_1$  (*DNL*) = 0,127. Como esperado, o coeficiente dessa variável é positivo, ou seja, uma variação positiva nessa variável concorre para aumentar a probabilidade do respondente torna-se altamente incomodado com o ruído aeronáutico. Vale destacar, que o sinal do coeficiente é que vai determinar a direção da mudança que pode ser aumentativa ou diminutiva (Corrar *et al.*, 2012, p. 312)
- Constante: valor da constante (intercepto), ou seja,  $\beta_0 = - 8,845$ .
- Erro padrão (S.E): erro padrão dos coeficientes. Adotados para verificar se os parâmetros dos coeficientes são significativamente diferentes de zero e para formar um I.C (intervalo de confiança).
- Wald e Sig.: a estatística Qui-quadrado de Wald testa a hipótese nula de que um determinado coeficiente não é significativamente diferente de zero. Esta hipótese foi rejeitada, pois o p-valor (coluna Sig.) é significativamente menor ( $p = 0,000$ ) que o valor crítico  $p = 0,05$ . Sendo assim, a constante e a VI *DNL* fornecem uma contribuição significativa para o modelo.
- $\text{Exp}(\beta)$ : é um indicador da mudança de uma unidade no predictor podendo ser interpretado como uma proporção de mudança na chance (*odds*). Se o valor é maior do que 1 significa que quando a VI *DNL* (variável explicativa) aumenta, as chances do incômodo ocorrer aumentam. Já um valor menor do que 1 indica que quando a VI *DNL* aumenta, as chances do incômodo ocorrer diminuem. Se o valor for igual a 1 a chance permanece inalterada.
- Intervalo de confiança (I.C): ao nível de significância de 5% obtém-se o intervalo para o valor da razão de chance (*odds ratio*).

Tabela 56. Variáveis na equação

Passo 1 <sup>a</sup>	(x) Variáveis	$\beta$	Erro Padrao (S.E).	Wald	gl	Sig.	Exp( $\beta$ )	I.C de 95% para Exp( $\beta$ )	
								Inferior	Superior
	<i>DNL</i>	0,127	0,030	17,373	1	0,000	1,135		
	Constante	-8,845	1,749	25,586	1	0,000	0,000	1,069	1,205

a. Variável(is) adiconada(s) no passo 1: *DNL*.

A Tabela 57 resume os resultados obtidos para a RL realizada.

Tabela 57. Resumo dos dados para RL entre pessoas incomodadas e *DNL*

<b>Bloco 0</b>	
Percentual correto	o intercepto previu corretamente 84,3% das informações prestadas pelos pesquisados
- 2LL	349,084
Constante ( $\beta_0$ ) = - 1,683	Erro padrão (S.E) = 0,137 Wald: 150,457 gl (1) Sig. 0,000 Exp( $\beta$ ) = 0,186
Variáveis que não estão na equação	Variável <i>DNL</i> : Escore = 18,425 gl (1) Sig. 0,000
<b>Bloco 1</b>	
Qui-quadrado	Step (Passo): 17,671 Sig. 0,000 Block (Bloco): 17,671 Sig. 0,000 Model (Modelo): 17,671 Sig. 0,000
- 2LL	331,414 / Cox & Snell = 0,043 e Nagelkerke = 0,074
Homer e Lemeshow	Qui-quadrado = 0,283 gl (2) Sig. 0,868
Percentual correto	o intercepto previu corretamente 84,3% das informações prestadas pelos pesquisados
<i>DNL</i>	$\beta_1 = 0,127$ Erro padrão (S.E) = 0,030 Wald = 17,373 gl(1) Sig. 0,000 Exp( $\beta$ ) = 1,135
Constante	$\beta_0 = - 8,845$ Erro padrão (S.E) = 1,749 Wald = 25,586 gl(1) Sig. 0,000 Exp( $\beta$ ) = 0,000
I.C (95%)	Inferior = 1,069 / Superior = 1,205

Por fim, chega-se ao modelo para descrever a relação existente entre o nível de incômodo (AI) e a variável *DNL*. A equação logística, a partir dos coeficientes estimados, fica da seguinte forma:

$$P(Y) = \frac{1}{1 + e^{-(\beta_0 + \beta_1 x_1)}} = \frac{1}{1 + e^{-(-8,845 + 0,127 DNL)}} \quad (44)$$

Ou ainda:

$$AI = \frac{1}{1 + e^{(8,845 - 0,127 DNL)}} \quad (45)$$

Onde AI representa a probabilidade de um indivíduo assumir o *status* de altamente incomodado em decorrência da exposição ao ruído aeronáutico. Por exemplo, caso esteja-se interessado em conhecer a probabilidade de uma pessoa manifestar a condição de AI na *DNL* 65 deve proceder:

$$AI = \frac{1}{1 + e^{(8,845 - 0,127 DNL)}} = \frac{1}{1 + e^{(8,845 - 0,127 \times 65)}} \cong 0,36$$

Ao se multiplicar o resultado por 100, obtém-se que 36% é o percentual estimado de que na *DNL* 65, uma pessoa apresente alto nível de incômodo com o ruído aeroviário. Sendo assim, para um grupo de indivíduos, multiplicando *AI* por 100 determina-se o %*AI*, que nesse caso é o percentual de indivíduos que se declarariam *AI* com o ruído aeronáutico em uma determinada *DNL*. Logo, a equação 45 fica alterada para a seguinte forma:

$$\% AI = \frac{100}{1 + e^{(8,845 - 0,127 DNL)}} \quad (46)$$

Cabe ressaltar, que não foi verificada multicolinearidade capaz de distorcer os coeficientes ( $\beta$ ) estimados. O modelo logístico pode ser visualizado na chamada Curva de Regressão Logística. Essa curva descreve a relação existente entre a probabilidade associada à ocorrência de um determinado evento e uma *VI* ou um conjunto de *VI*'s (Corrar *et al.*, 2012, p. 290).

## APÊNDICE G RL: I (INCOMODADOS) E DNL

A Tabela 58 mostra o resumo dos dados obtidos para o Bloco 0 e Bloco 1 e para o Bloco 0, destaca-se que o grau de acurácia da predição é de 67,9% e rejeita-se a hipótese de que o coeficiente da VI seja zero, pois para a *DNL* o escore foi igual a 18,870 e  $p = 0,000$  (altamente significativa).

Tabela 58. Resumo dos dados para RL entre pessoas incomodadas e *DNL*

<b>Bloco 0</b>	
Percentual correto	o intercepto previu corretamente 68% das informações prestadas pelos pesquisados
- 2LL	504,544
Constante ( $\beta_0$ ) = - 0,750	Erro padrão (S.E) = 0,107 Wald: 49,233 gl (1) Sig. 0,000 Exp( $\beta$ ) = 0,473
Variáveis que não estão na equação	Variável <i>DNL</i> : Escore = 18,870 gl (1) Sig. 0,000
<b>Bloco 1</b>	
Qui-quadrado	Step (Passo): 18,729 Sig. 0,000 Block (Bloco): 18,729 Sig. 0,000 Model (Modelo): 18,729 Sig. 0,000
- 2LL	485,816 / Cox & Snell = 0,046 e Nagelkerke = 0,064
Homer e Lemeshow	Qui-quadrado = 1,826 gl (2) Sig. 0,401
Percentual correto	o intercepto previu corretamente 70,1% das informações prestadas pelos pesquisados
<i>DNL</i>	$\beta_1 = 0,105$ Erro padrão (S.E) = 0,025 Wald = 18,037 gl(1) Sig. 0,000 Exp( $\beta$ ) = 1,110
Constante	$\beta_0 = - 6,617$ Erro padrão (S.E) = 1,393 Wald = 22,570 gl(1) Sig. 0,000 Exp( $\beta$ ) = 0,001
I.C (95%)	Inferior = 1,058 / Superior = 1,165

Da Tabela 58, para o Bloco 1 tem-se como principais resultados:

- -2LL = 485,816 é menor do que o -2LL (504,544) para o modelo nulo. A entrada da VI *DNL* no modelo melhorou a previsão do nível de incômodo;
- teste de Hosmer e Lemeshow = Qui-quadrado igual a 1,826 gl(2) e Sig. 0,401 indicando que os valores preditos não são significativamente diferentes dos observados. Desse modo, o modelo pode ser utilizado para estimar a probabilidade de um determinado pesquisado torna-se altamente incomodado em função da VI *DNL*.
- grau de acurácia nas predições de 70,1%. Houve alteração em relação ao nível de acerto previsto no Bloco 0;

- $\beta_1$  (*DNL*) = 0,105. O coeficiente dessa variável é positivo indicando que uma variação positiva nessa variável concorre para aumentar a probabilidade do respondente torna-se incomodado com o ruído aeronáutico.
- Constante ( $\beta_0$ ) = - 6,617;
- Wald para  $\beta_0$  e  $\beta_1$  com Sig. 0,000 indicam que a constante e a *VI DNL* fornecem uma contribuição significativa para o modelo.

## APÊNDICE H RL: AI (ALTAMENTE INCOMODADOS) E $L_{den}$

A Tabela 59 mostra o resumo dos dados obtidos para o Bloco 0 e Bloco 1. Para o Bloco 0, o grau de acurácia da predição é de 84,3% e rejeita-se a hipótese de que o coeficiente da VI seja zero, pois para a  $DNL$  o escore foi igual a 14,375 e  $p = 0,000$  (altamente significativa).

Tabela 59. Resumo dos dados para RL entre pessoas incomodadas e  $L_{den}$

<b>Bloco 0</b>	
Percentual correto	o intercepto previu corretamente 84,3% das informações prestadas pelos pesquisados
- 2LL	349,084
Constante ( $\beta_0$ ) = - 1,683	Erro padrão (S.E) = 0,137 Wald: 150,457 gl (1) Sig. 0,000 Exp( $\beta$ ) = 0,186
Variáveis que não estão na equação	Variável $L_{den}$ : Escore = 14,375 gl (1) Sig. 0,000
<b>Bloco 1</b>	
Qui-quadrado	Step (Passo): 13,524 Sig. 0,000 Block (Bloco): 13,524 Sig. 0,000 Model (Modelo): 13,524 Sig. 0,000
- 2LL	335,560 / Cox & Snell = 0,033 e Nagelkerke = 0,057
Homer e Lemeshow	Qui-quadrado = 1,826 gl (2) Sig. 0,401
Percentual correto	o intercepto previu corretamente 84,3% das informações prestadas pelos pesquisados
$L_{den}$	$\beta_1 = 0,125$ Erro padrão (S.E) = 0,034 Wald = 13,725 gl(1) Sig. 0,000 Exp( $\beta$ ) = 1,133
Constante	$\beta_0 = - 8,862$ Erro padrão (S.E) = 1,964 Wald = 20,366 gl(1) Sig. 0,000 Exp( $\beta$ ) = 0,000
I.C (95%)	Inferior = 1,061 / Superior = 1,211

Para o Bloco 1, os principais resultados obtidos foram:

- -2LL = 335,560 é menor do que o -2LL (349,084) para o modelo nulo. A entrada da VI  $L_{den}$  no modelo melhorou a previsão do nível de incômodo;
- teste de Hosmer e Lemeshow = Qui-quadrado igual a 0,003 gl(2) e Sig. 0,999 indicando que os valores preditos não são significativamente diferentes dos observados. Assim, o modelo pode ser utilizado para estimar a probabilidade de um determinado pesquisado torna-se altamente incomodado em função da VI  $L_{den}$ .
- grau de acurácia nas predições de 84,3%. Não houve alteração em relação ao nível de acerto previsto no Bloco 0;
- $\beta_1 (L_{den}) = 0,125$ . O sinal do coeficiente indica que uma variação positiva concorre para aumentar a probabilidade do respondente torna-se incomodado com o ruído aeronáutico.

- Constante ( $\beta_0$ ) = - 8,862;
- Wald para  $\beta_0$  e  $\beta_1$  com Sig. 0,000 indicam que a constante e a VI *DNL* fornecem uma contribuição significativa para o modelo.

## APÊNDICE I RL: I (INCOMODADOS) E $L_{den}$

A Tabela 60 mostra o resumo dos dados obtidos para o Bloco 0 e Bloco 1. Para o Bloco 0, o grau de acurácia da predição é de 67,9% e rejeita-se a hipótese de que o coeficiente da VI seja zero, pois para a  $DNL$  o escore foi igual a 11,526 e  $p = 0,000$  (altamente significativa).

Tabela 60. Resumo dos dados para RL entre pessoas altamente incomodadas e  $L_{den}$

<b>Bloco 0</b>	
Percentual correto	o intercepto previu corretamente 67,9% das informações prestadas pelos pesquisados
- 2LL	504,544
Constante ( $\beta_0$ ) = - 0,750	Erro padrão (S.E) = 0,107 Wald: 49,233 gl (1) Sig. 0,000 Exp( $\beta$ ) = 0,186
Variáveis que não estão na equação	Variável $L_{den}$ : Escore = 11,526 gl (1) Sig. 0,000
<b>Bloco 1</b>	
Qui-quadrado	Step (Passo): 11,338 Sig. 0,000 Block (Bloco): 11,338 Sig. 0,000 Model (Modelo): 11,338 Sig. 0,000
- 2LL	493,206 / Cox & Snell = 0,028 e Nagelkerke = 0,039
Homer e Lemeshow	Qui-quadrado = 3,302 gl (2) Sig. 0,192
Percentual correto	o intercepto previu corretamente 67,9% das informações prestadas pelos pesquisados
$L_{den}$	$\beta_1 = 0,093$ Erro padrão (S.E) = 0,028 Wald = 11,189 gl(1) Sig. 0,000 Exp( $\beta$ ) = 1,097
Constante	$\beta_0 = - 6,039$ Erro padrão (S.E) = 1,590 Wald = 14,422 gl(1) Sig. 0,000 Exp( $\beta$ ) = 0,002
I.C (95%)	Inferior = 1,039 / Superior = 1,159

Ainda da Tabela 60, para o Bloco 1, os principais resultados obtidos foram:

- -2LL = 493,206 é menor do que o -2LL (504,544) para o modelo nulo. A entrada da VI  $L_{den}$  no modelo melhorou a previsão do nível de incômodo;
- teste de Hosmer e Lemeshow = Qui-quadrado igual a 3,302 gl(2) e Sig. 0,192 indicando que os valores preditos não são significativamente diferentes dos observados. Dessa forma, o modelo pode ser utilizado para estimar a probabilidade de um determinado pesquisado torna-se altamente incomodado em função da VI  $L_{den}$ .
- grau de acurácia nas predições de 67,9%. Não houve alteração em relação ao nível de acerto previsto no Bloco 0;

- $\beta_1 (L_{den}) = 0,093$ . O coeficiente é positivo indicando que uma variação positiva nessa variável concorre para aumentar a probabilidade do respondente torna-se incomodado com o ruído aeronáutico.
- Constante ( $\beta_0$ ) = -6,039;
- Wald para  $\beta_0$  e  $\beta_1$  com Sig. 0,000 indicam que a constante e a VI *DNL* fornecem uma contribuição significativa para o modelo.