

# RELAÇÕES DOSE-RESPOSTA ENTRE O INCÔMODO SONORO E O RUÍDO AERONÁUTICO NO ENTORNO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE BRASÍLIA

**Edson Benício de Carvalho Júnior**

Departamento de Engenharia Civil  
Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) / Universidade Católica de Brasília (UCB)

**Wanderley Akita Shiguti**

Universidade Católica de Brasília (UCB)

**Alexandre Gomes de Barros**

University of Calgary (UofC)

**Armando de Mendonça Maroja**

Faculdade de Planaltina - Universidade de Brasília (UnB)

**José Matsuo Shimoishi**

Departamento de Engenharia Civil - Pós-graduação em Transportes (PPGT)  
Universidade de Brasília (UnB)

**Sérgio Luiz Garavelli**

Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) / Departamento de Engenharia Civil

## RESUMO

O presente trabalho avaliou o incômodo sonoro percebido por comunidades expostas ao ruído aeronáutico, por meio de relações dose-respostas, no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília. Foram realizadas simulações acústicas e aplicou-se questionários enviados por e-mail. A amostra válida foi de 402 indivíduos. As relações dose-respostas foram geradas com uso de Regressão Logística. Os resultados indicam que o ruído aeronáutico interfere significativamente na realização de atividades cotidianas dos pesquisados, tais como estudar, dormir, assistir TV, falar ao telefone e meditar. Com as relações dose-resposta geradas verificou-se que o percentual de incomodados e altamente incomodados dos respondentes mostrou-se superior aos percentuais preditos pelas relações dose-resposta atualmente utilizadas na Comunidade Europeia (CE). Os percentuais de altamente incomodados, obtidos com a relação dose-resposta gerada nesse estudo, chegam a ser 22% maior na *DNL* 65 e 25% maior na *DNL* 70 do que os percentuais indicados obtidos com os modelos da CE.

## ABSTRACT

The purpose of this study is to assess the exposure-effect relationship for aircraft noise around of the Brasília International Airport. The percentages of people who felt annoyed and highly annoyed have been used to assess the dose-response and both were obtained using a survey that was sent by e-mail. In total, 402 participants responded. Logistic and polynomial approximations of the exposure-annoyance relationships are presented. Results indicate that the aircraft noise interferes significantly in performing daily activities of the respondents, such as studying, sleeping, watching TV, talking on the phone and meditate. Besides that, the results show that for the same noise exposure, the aircraft noise annoyance in Brasília is higher than those reported in the European Community (EC). The highly annoyed people percentages, were obtained with the dose-response generated in this study, are up to 22% higher in the *DNL* 65 and 25% higher in the *DNL* 70 than the indicated percentages obtained with EC models.

## 1. INTRODUÇÃO

Os aeroportos tornaram-se um componente vital da infraestrutura de transporte das cidades modernas, exercendo cada vez mais influência no zoneamento urbano. Entretanto, aeroportos também são responsáveis por importantes externalidades ambientais destacando-se os efeitos nocivos à saúde humana causados pelo ruído, tais como: incômodo, hipertensão, problemas cardíacos, psicológicos, emocionais, estresse e males associados a distúrbios no sono (Jarup *et al.*, 2005; Haralabidis *et al.*, 2008 e Babisch *et al.*, 2009).

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 contribuindo, assim,

para desenvolvimento de conflitos entre os principais atores envolvidos em áreas de aeroportos, ou seja, operadores, agentes governamentais e comunidade (Faburel, 2005 e WHO, 2011). Esses conflitos podem ocasionar importantes restrições à capacidade operacional, à expansão e até à construção de novos aeroportos (De Barros, 2013; Sadr MK *et al.*, 2014). Sendo assim, fica destacada a importância de se realizar estudos que busquem avaliar os efeitos adversos do ruído aeroviário nas comunidades expostas.

Para a Organização Mundial da Saúde (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. Todavia, dentre esses efeitos, o incômodo sonoro destaca-se como o efeito adverso mais importante para se avaliar a reação de comunidades expostas, não só ao ruído aeronáutico, mas a qualquer ruído ambiente. Já o principal efeito da exposição ao ruído ambiente, durante a noite, é a perturbação do sono (WHO, 2011).

O 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; Fidell *et al.*, 1991; Fields *et al.*, 1997; Fields *et al.*, 2001; Miedema e Vos, 1998; Miedema e Oudshoorn, 2001). Este indicador permite, no longo prazo, avaliar a reação comunitária ao ruído das aeronaves (WHO, 2011).

Para a obtenção desse indicador, a 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 dessas relações permitem quantificar o percentual de pessoas incomodadas (%I) e altamente incomodadas (AI%) com o ruído aeronáutico. 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 (EC, 2002).

Nesse contexto, ficou destacada a importância do desenvolvimento de modelos dose-resposta para a realidade brasileira onde as condições climáticas e as técnicas de construção civil são diferentes dos padrões estabelecidos em países da CE, por exemplo. Desse modo, o presente trabalho avaliou o incômodo sonoro percebido por comunidades expostas ao ruído aeronáutico, por meio de relações dose-respostas, no entorno de um aeroporto brasileiro. O aeroporto objeto de estudo foi o Aeroporto Internacional de Brasília, cuja sigla ICAO (*International Civil Aviation Organization*) é SBBR. Atualmente, o SBBR é o segundo aeroporto em movimentação de aeronaves e de passageiros no Brasil.

## **2. MATERIAIS E MÉTODO**

Neste estudo, foram realizadas modelagens, com elaboração de mapas acústicos, e avaliação do incômodo sonoro com a aplicação de questionários.

### **2.1 Curvas de Ruído e Mapas acústicos**

Foram realizadas simulações para a elaboração das curvas de ruído com uso do *software* INM 7.0d. As curvas de ruído geradas representam a operação do SBBR para 2014 onde foram estimadas 202.000 operações anuais, de pousos e decolagens, e uma média de 553 movimentos diários. Para auxílio na interpretação dos mapas de ruído deve-se observar a Tabela 1. Essa

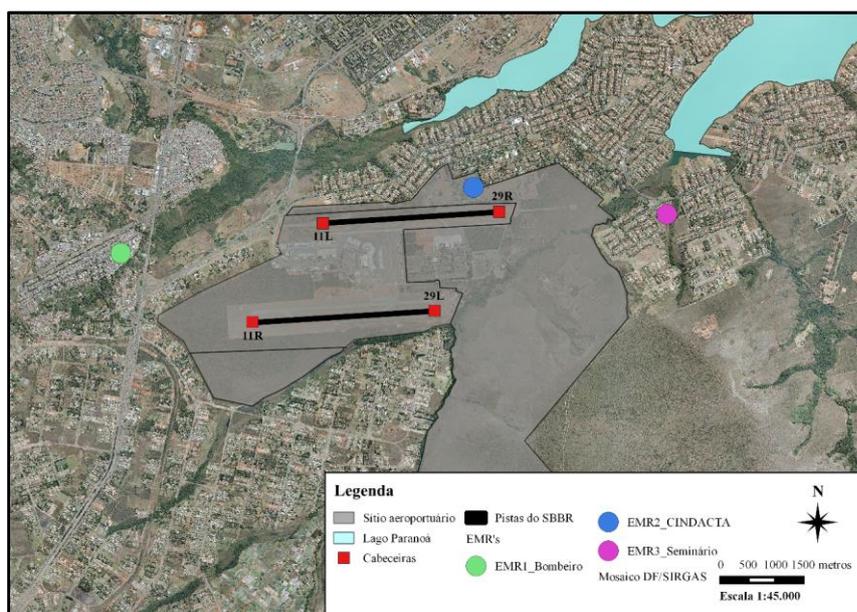
tabela indica os limites para cada indicador de ruído. Foi considerado que 85% dos movimentos acontecem no período diurno e 15% no período noturno. Para a elaboração do mapa acústico foi utilizado um *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

**Tabela 1.** Limites das curvas de ruído

Indicador de ruído - <i>DNL</i>
$DNL\ 50 = 50 < DNL \leq 55$
$DNL\ 55 = 55 < DNL \leq 60$
$DNL\ 60 = 60 < DNL \leq 65$
$DNL\ 65 = 65 < DNL \leq 70$
$DNL\ 70 = 70 < DNL \leq 75$
$DNL\ 75 = 75 < DNL \leq 80$
$DNL\ 80 = 80 < DNL \leq 85$
$DNL\ 85 = DNL > 85$

A validação das curvas é essencial para conferir a precisão e garantir confiabilidade às curvas simuladas. Nesse estudo, a validação ocorreu por meio de medidas físicas de longa duração (24h). Essas medidas foram provenientes das Estações de Monitoramento de Ruído (EMR's) instaladas em pontos que representam as principais áreas afetadas pela operação do SBBR. As EMR's estão equipadas com sonômetros do tipo CUBE *Smart Noise Terminal* da 01 dB. Os dados obtidos pelas EMR's foram processados com uso do *software* dBTRAIT, da 01 dB. 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 Associação Portuguesa do Ambiente (APA, 2011).

Os dados utilizados das EMR's foram obtidos durante os meses de fevereiro e março de 2015. A Figura 1 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.



**Figura 1:** Localização dos pontos de medidas

## 2.2 Métrica Acústica DNL

O *DNL* (*day-night level*) é uma medida cumulativa da energia total do som, geralmente compilada em uma base anual, e representa uma média logarítmica dos níveis sonoros no local 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). De acordo com a NBR 11.415 (ABNT, 1990), é determinado pelo nível de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ) para 24h, sendo que no período das 22h às 7h, somam-se 10 dB a todos os níveis medidos, sendo definido como:

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

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.

## 2.3 Questionários

Para a aplicação dos questionários foram escolhidas dez áreas residenciais (RA's – Regiões Administrativas) no entorno do SBBR. Na elaboração dos questionários foi adotada a metodologia internacional de avaliação da reação das comunidades expostas a uma determinada fonte de ruído ambiente conforme indicado no *The International Commission on Biological Effects of Noise* (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 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

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). 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)”.

O questionário também continha perguntas sobre dados pessoais, incômodo percebido e interferência do ruído aeronáutico na vida diária. Com o *software SurveyMonkey* um *link* com acesso ao questionário foi criado. Esse *link* foi enviado aos respondentes por e-mail. Depois de redigido o questionário, foi realizado um pré-teste com a aplicação de 50 instrumentos. Os dados desses questionários foram analisados, questões foram corrigidas e outras foram eliminadas. O tamanho final da amostra de respondentes foi de 402 indivíduos.

Para a análise dos dados foi utilizado o *software* estatístico SPSS v.20 (*Statistical Package for the Social Sciences*). Primeiramente, Correlações de Pearson ( $r$ ) e Spearman ( $\rho$ ), foram realizadas entre as variáveis. Também foi obtido o nível de significância de cada correlação ( $p$ ), e tabelas de distribuição de frequências foram elaboradas.

A regressão logística (RL) foi utilizada na geração dos modelos dose-resposta. As variáveis “altamente incomodado” (AI) e “incomodado” (I) foram calculadas como dado binário e como variável dependente. Os valores preditos, nos mapas acústicos, para o  $DNL$  e o  $L_{den}$  foram escolhidos como variáveis independentes. As curvas dose-resposta foram geradas com uso do *software* Gnuplot 5.0.

### 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 3.1 Mapa Acústico

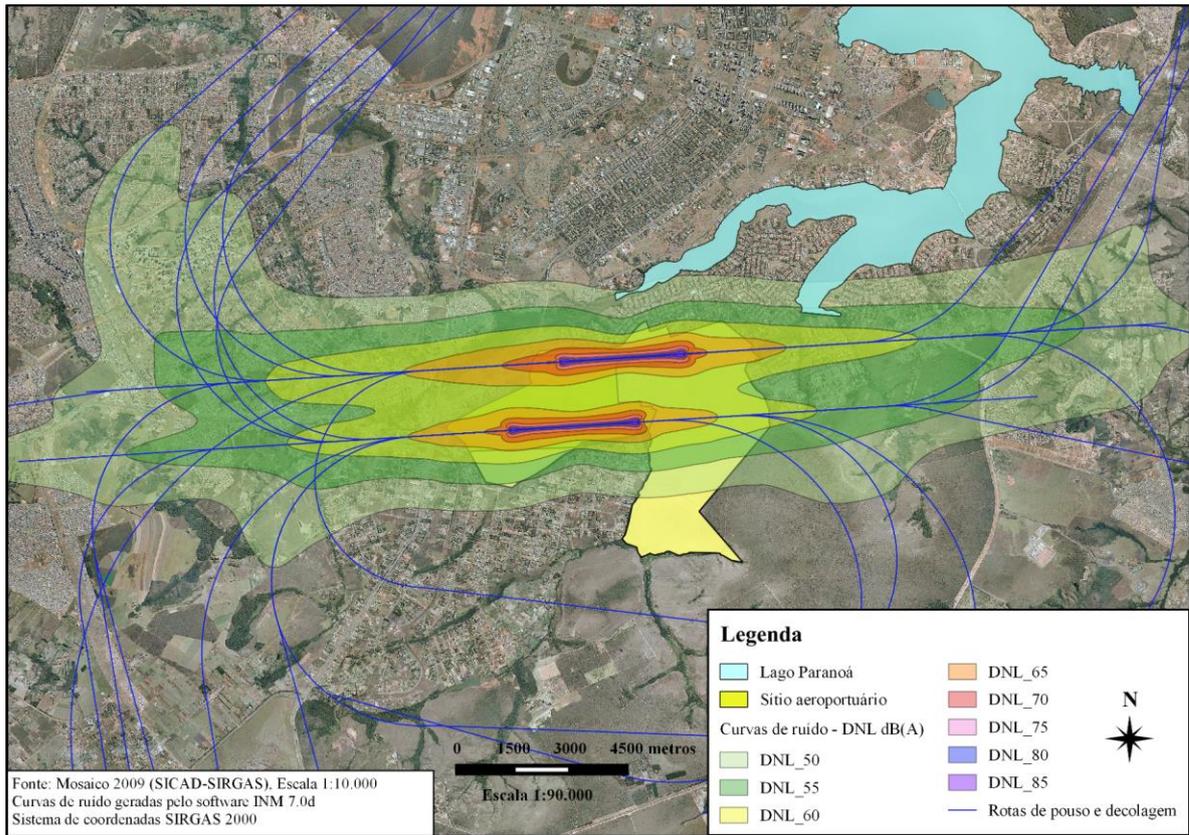
A Figura 1 mostra as curvas de ruído  $DNL$  50 até 85 ( $50 < DNL \leq 85$ ) sendo possível visualizar um grande adensamento populacional no interior das curvas compreendidas nos limites  $50 < DNL \leq 60$ . Cabe destacar, que as curvas  $DNL$  50, 55 e 60 não são exigidas pelo Regulamento Brasileiro da Aviação Civil n. 161 de 2013 (RBAC, 2013) para a elaboração do zoneamento sonoro de um aeroporto no Brasil. No entanto, pesquisas recentes mostram que residentes no interior dessas 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; Schreckenber *et al.*, 2010; Yokoshima *et al.*, 2012; Carvalho Jr *et al.*, 2012 e Carvalho Jr, 2015). A Figura 2 mostra a localização das RA's/Cidades, entre as curvas de ruído simuladas, de onde foi selecionada a amostra de respondentes.

Para a validação das curvas de ruído foram utilizados dados provenientes das EMR's do SBBR. A Tabela 2 expressa os valores medidos para o  $L_d$ ,  $L_n$  e  $DNL$  e também mostra os valores simulados no INM. Nessa tabela, a comparação realizada entre os valores medidos e os simulados é possível constatar que a diferença não ultrapassou  $\pm 2\text{dB(A)}$ , conforme indica a APA (2011). Desse modo, as curvas de ruído foram validadas conferindo confiabilidade ao mapa acústico.

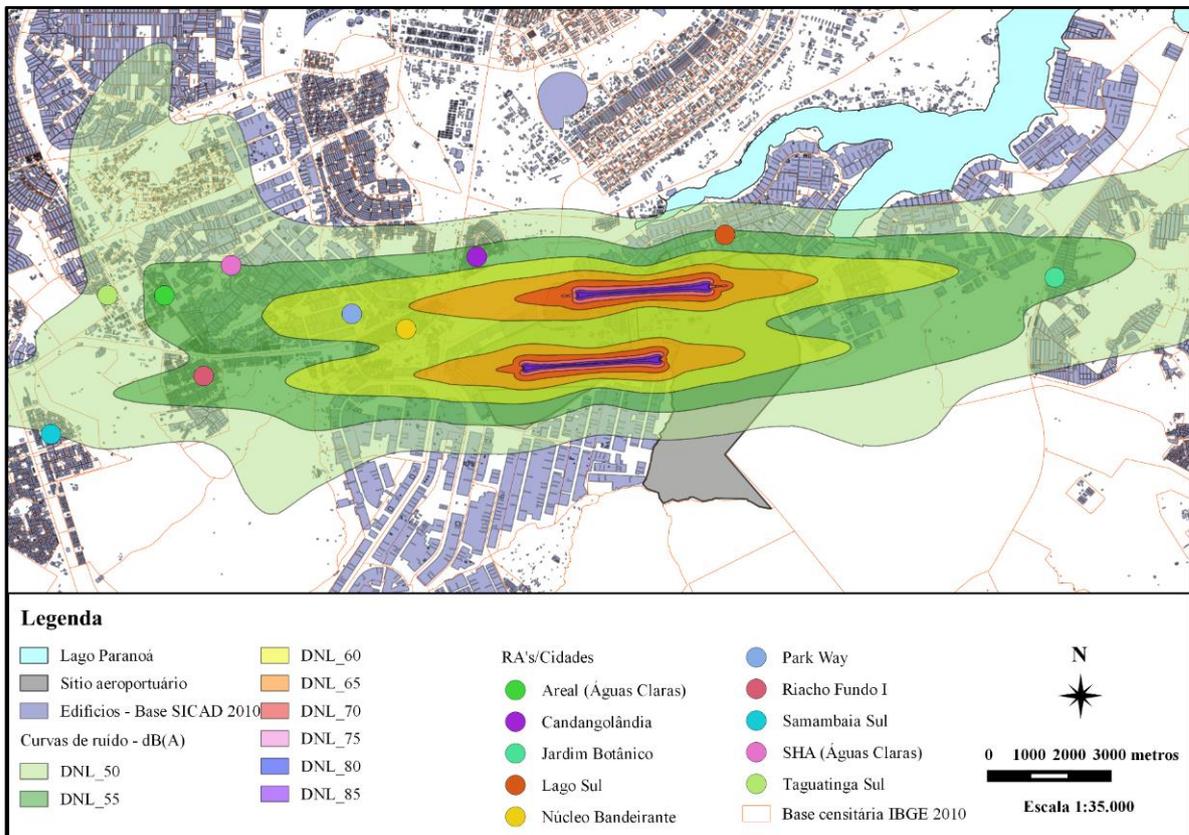
**Tabela 1** Indicadores acústicos calculados para a validação dos mapas acústicos

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 /  $DNL^c$ :  $DNL^b - DNL^a$



**Figura 1.** Mapa acústico com as rotas de pousos e decolagens no SBBR



**Figura 2:** Localização das RA's entre as Curvas de Ruído Simuladas

### 3.1 Resultados dos questionários

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. No caso, o alfa de Cronbach obtido foi de 0,902, ou seja, indica adequada confiabilidade para a análise dos resultados.

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.

A Tabela 3 mostra o percentual do nível de incômodo por RA/Cidade e também apresenta o resultado do  $\chi^2$  e a soma ( $\Sigma$ ) dos I (incomodados) com os AI (altamente incomodados).

**Tabela 3.** 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>

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 3, verifica-se 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%). Também foi observada 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.

A Tabela 4 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). Ainda nessa tabela, 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 *DNL*'s.

**Tabela 4:** 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

A Tabela 5 mostra os resultados do nível de incômodo causado pelo ruído aeronáutico, em algumas atividades cotidianas. Na Tabela 4, verifica-se 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. Assim, se os níveis de ruído aeronáutico aumentam o nível de incômodo também se eleva na realização dessas atividades do dia-a-dia.

**Tabela 5:** Nível de incômodo com o ruído aeronáutico em atividades cotidianas

Atividades cotidianas	NII	Ruído aeronáutico		
		<i>DNL</i> 50-55 n = 288	<i>DNL</i> 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*	4440,567 / 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

### 3.2 Relações dose-respostas

A Tabela 6 expressa as equações logísticas adotadas na CE e as geradas nesse estudo para a relação dose-resposta entre %I, %AI e a métrica *DNL*.

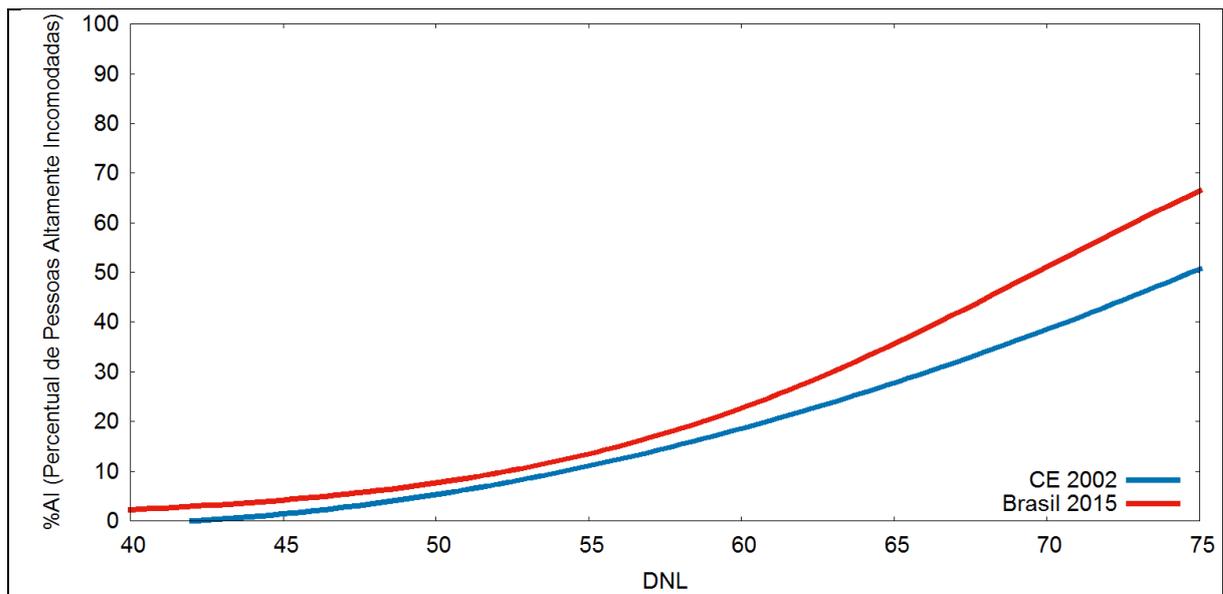
**Tabela 6:** Funções adotadas para comparação entre %I, %AI e *DNL*

<i>DNL</i>	
CE (2002) <sup>a</sup>	$\%I = 1,460 \times 10^{-5} (DNL - 37)^3 + 1,511 \times 10^{-2} (DNL - 37)^2 + 1,346(DNL - 37)$ $\%AI = -1,395 \times 10^{-4} (DNL - 42)^3 + 4,081 \times 10^{-2} (DNL - 42)^2 + 0,342(DNL - 42)$
Brasil (2015) <sup>b</sup>	$\%I = \frac{100}{1 + e^{(6,617 - 0,105DNL)}} \quad \%AI = \frac{100}{1 + e^{(8,845 - 0,127DNL)}}$

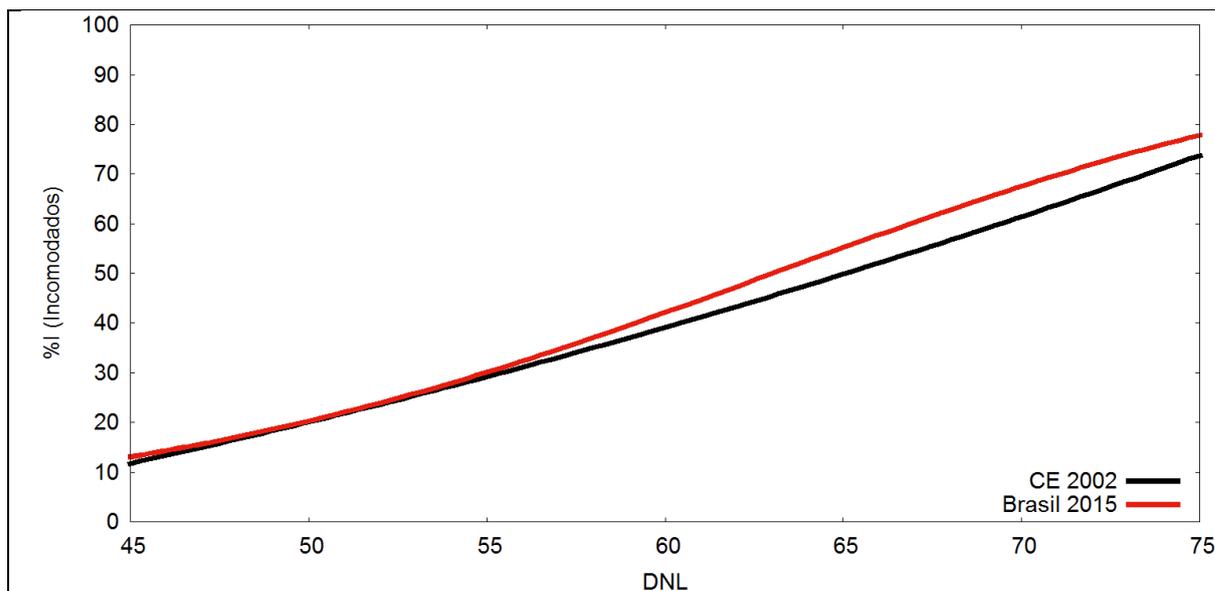
a: Comunidade Europeia (estudos desenvolvidos por Miedema e Oudshoorn (2001) na Holanda); b: Resultado desse estudo

Com base nas equações indicadas na Tabela 6 foram elaboradas curvas dose-respostas. A Figura 2 expressa a comparação da curva “Brasil (2015)” e a curva da CE (2002) para o %AI e a métrica *DNL*. Observa-se que a curva “Brasil (2015)” indica um nível de incômodo maior do que a curva preditiva pela CE. Já a Figura 3 mostra a comparação das curvas %I em função do *DNL*. Nessa figura, verifica-se que a curva %I é superior à curva preditiva da CE após o limite *DNL* 55.

Nas Figuras 3 e 4 observa-se que o modelo dose-resposta, encontrado nesse estudo, possui comportamento semelhante ao adotado na CE até o limite *DNL* 55. Após esse limite, o percentual de incomodados (%I) e altamente incomodados (%AI) mostrou-se superior aos percentuais preditos pelas relações dose-resposta atualmente utilizadas na Europa. Também verifica-se que moderados níveis de ruído geram acentuados níveis de incômodo devido ao ruído aeronáutico. Além disso, mostram que os modelos dose-respostas adotados pela CE não são adequados para expressar o nível de incômodo sonoro sentido por populações expostas ao ruído aeronáutico no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília. Esses resultados vão de encontro com os obtidos por Guski (1997) que destaca que mesmo com iguais níveis de ruído, provenientes de uma mesma fonte sonora, 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.



**Figura 3.** Comparação das curvas dose-respostas para %AI e *DNL*



**Figura 4.** Comparação das curvas dose-respostas %I e DNL

Com base nas funções mostradas na Tabela 6, foi possível estimar o percentual de pessoas altamente incomodadas (%AI) e pessoas incomodadas (%I) em cada curva de ruído. A Tabela 7 expressa os resultados dos percentuais calculados e também quantifica a diferença percentual entre os resultados obtidos nesse estudo (RE) 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 7.** %AI e %I determinados para cada curva de ruído

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

RE = resultado desse estudo / CE = Comunidade Europeia / Dif% = Diferença percentual

#### 4. CONCLUSÃO

A avaliação do incômodo sonoro mostrou que os pesquisados residentes sob as curvas de ruído DNL 50, 55, 60 e 65, indicaram um nível de incômodo elevado com o ruído aeronáutico. Também foi possível verificar que o ruído aeronáutico 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.

Com os modelos dose-reposta, foi possível concluir que o percentual de respondentes incomodados (%I) e altamente incomodados (%AI), no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília, mostrou-se superior aos percentuais preditos pelas curvas dose-resposta atualmente utilizadas na Europa, ou seja, em países com climas e culturas diferentes do Brasil. Os percentuais de altamente incomodados, obtidos com as relações dose-respostas geradas, 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.

Por fim, recomenda-se que os modelos dose-resposta gerados nesse estudo 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 no Brasil.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1990) *NBR 11.415: Ruído Aeronáutico*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- 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\\_EstudosReferencia/DirectrizesMapasDez2011\\_todo\\_2.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/NotasTecnicas_EstudosReferencia/DirectrizesMapasDez2011_todo_2.pdf). Acesso: 10 mar 2015.
- 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.
- Bisqueria, R., Sarriera, J. C e Francesc, M (2004) *Introdução à estatística: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS*. Porto Alegre. Artmed.
- 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.
- Carvalho Júnior, E. B.; Garavelli, S. L.; Maroja, A. M. Analysis of the effects of aircraft noise in residential areas surrounding the Brasilia International Airport. *Journal of Transport Literature*; v. 6, n. 4, 2012, pp 59 – 81.
- Carvalho Júnior, E. B (2015) Quantificação do incômodo gerado pelo ruído aeronáutico por meio de modelos dose-resposta. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 182 p.
- De Barros A. G. (2013) Sustainable integration of airports into urban planning – a review. *International Journal of Urban Sciences*, v.17, n. 2, pp 226 – 238.
- Diretiva 2002/49/CE (2002). Diretiva do Parlamento europeu e conselho da União Européia relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L 189/12, p. 48.
- EC – European Commission (2002). *Position paper on dose-response relationships between transportation noise and annoyance - EU's Future Noise Policy*, WG2 – Dose/Effect.
- EEA - European Environmental Agency (2010). *Good practice guide on dose exposure and potencial health effects*. 2010. Copenhagen: EEA.
- 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.
- 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, pp 221 - 233.
- 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; *et al.* (2001) Standardized General-Purpose Noise Reaction Questions for Community Noise Surveys: Research and a Recommendation. *Journal of Sound and Vibration*, v. 242, n. 4, pp 641 – 679.
- 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, pp 25 - 30.

- Guski, R (1997) Conceptual, methodological and dose–response problems related to annoyance and disturbance, *Inter-noise*. 1997, pp 1077 – 1082.
- Haralabidis A. S., Dimakopoulou K, Vigna-Taglianti F, Giampaolo M, Borgini A, Dudley ML, Pershagen G, Bluhm G, Houthuijs D, Babisch W, Velonakis M, 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.
- ISO (2003) Acoustics – Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys. *International Organization for Standardization*. ISO/TS 15.666.
- 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., Hatfield, J., Carter, N. L., Peploe, 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.
- 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.
- 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.
- 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, 1998, pp 3432 – 3445.
- 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, 2001, pp 409 - 416.
- 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.
- 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.
- 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., 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, pp 377 - 405.
- WHO - World Health Organization (2011). *Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe*. W.H.O. Regional Office for Europe: Denmark.
- 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.