

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA O CÁLCULO DE POPULAÇÃO EXPOSTA AO RUÍDO AERONÁUTICO

E. B. Carvalho Jr, S. L. Garavelli, A. de Barros, A. M. Maroja, J. M. Shimoishi, W. C. Melo, C. A. Costa

RESUMO

No Brasil, poucos são os estudos que buscam verificar os impactos sonoros causados pelo ruído aeronáutico em comunidades expostas. Para melhor compreender esses impactos, esse trabalho apresenta uma proposta metodológica para o cálculo da população exposta ao ruído aeronáutico no entorno de aeroportos. Foi escolhido para o estudo o Aeroporto Internacional de Brasília (SBBR) e a população exposta foi estimada tendo por base diretrizes indicadas pela Comunidade Europeia. No estudo, foram utilizados dados censitários e elaborados mapas acústicos. Como resultado, os mapas acústicos auxiliaram na identificação de áreas sensíveis ao ruído aeronáutico. Também foi possível estimar e evitar a superestimação do tamanho da população exposta ao ruído aeroviário. Chama-se a atenção para a ocupação de áreas muito próximas aos limites do sítio aeroportuário.

INTRODUÇÃO

Atualmente, os centros urbanos estão num processo acelerado de desenvolvimento, tanto do ponto de vista econômico como social. Atrelados a este desenvolvimento, surgem os problemas e os impactos dos mais diversos tipos que afetam a integridade ambiental. Por isso, apesar da importância da aquisição e da manutenção de hábitos saudáveis para a melhoria da qualidade de vida da população, as cidades muitas vezes apresentam características ambientais que comprometem o desenvolvimento dessas atividades. Uma dessas questões diz respeito à poluição sonora e seu poder de interferir no meio ambiente e na saúde da população (Suriano *et al.*, 2014).

Uma das principais fontes de ruído nos ambientes urbanos são o ruído proveniente do tráfego aeroviário. Segundo Stevens *et al.* (2010), os aeroportos tornaram-se um componente vital da infraestrutura de transporte das cidades modernas, exercendo cada vez mais influência no zoneamento urbano. Entretanto, 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 caso, o ruído aeroviário produz efeitos nocivos para a saúde humana, contribuindo diretamente para o desenvolvimento de problemas cardíacos, estresse e distúrbios no sono (Babisch, 2002; WHO, 2011). Em virtude do potencial de incômodo, e de prejuízos à saúde, tornou-se necessário desenvolver metodologias para melhor avaliar o impacto do ruído aeronáutico nas áreas habitadas no entorno de um aeródromo.

A Comunidade Europeia (CE), por exemplo, recomenda 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). Além do uso de relações dose-resposta, a CE também estabelece a elaboração obrigatória de mapas acústicos e a determinação do número estimado de pessoas afetadas em diferentes faixas de ruído (EC, 2002; Diretiva 2002/49/CE, 2002, WHO, 2011).

Não há apontamentos na legislação brasileira de como conduzir, metodologicamente, a elaboração de mapas acústicos e o cálculo da população exposta. Por isso, o presente trabalho apresenta uma proposta metodológica para o cálculo da população exposta ao ruído aeronáutico a partir de mapas acústicos.

2. MÉTODO

Nesse estudo foi considerado o Aeroporto Internacional de Brasília (Figura 1), 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; Carvalho Jr, 2015).

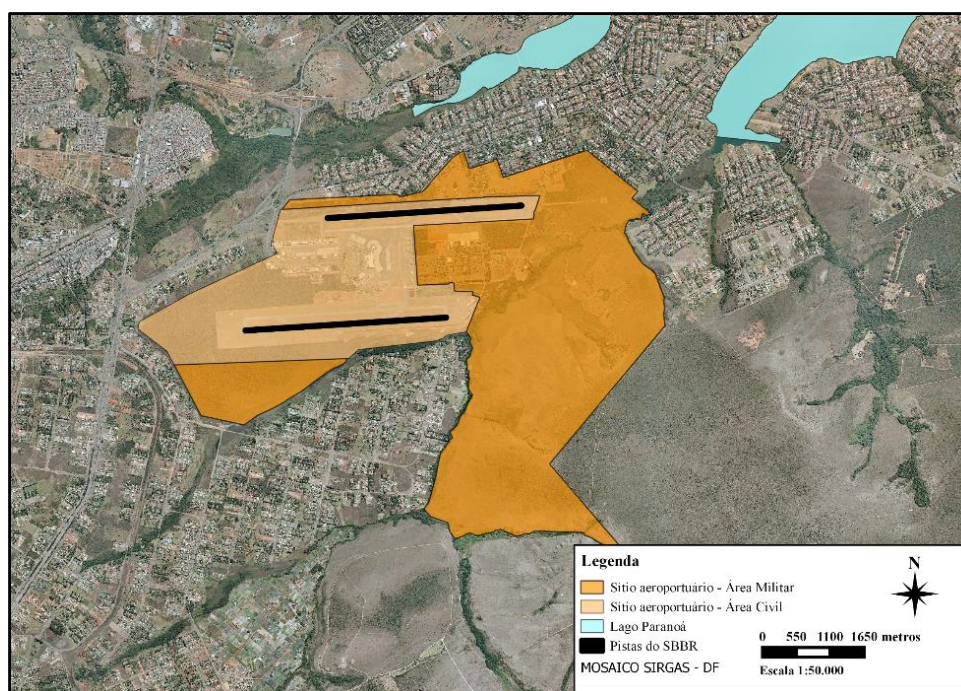


Fig. 1. Localização do SBBR

2.2 Mapas acústicos

Foram realizadas simulações para a elaboração das curvas de ruído, na métrica acústica *DNL* (*day-night level*), com uso do software INM 7.0d. Após essas simulações, o *output* gerado foi exportado, para um *software* de Sistema de Informação Geográfica onde os mapas acústicos foram elaborados seguindo a metodologia descrita no RBAC 161 (2013).

Para a simulação, vários dados de entradas foram considerados, entre eles: elevação, velocidade média anual do vento, temperatura média anual de referência etc. Esses dados foram obtidos em fontes oficiais do governo ou com a própria empresa operadora do SBBR. 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.

2.3 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 o cálculo deve ser realizado a partir dos mapas acústicos. Foram calculadas as populações expostas para o ano de 2014 e para as métricas *DNL*. Os seguintes *softwares*, e base de dados, foram utilizados para o cálculo da população exposta ao ruído aeronáutico:

- *Software* de Informação Geográfica (QGIS)
- *Software* Pacote Office: Plataforma Excel;
- Dados geométricos das subseções estatísticas dos Setores Censitários, em formato *shape (shp)* e informação para cada subseção estatística (dados do Censo 2010 do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística);
- Dados geométricos dos mapas acústicos para o indicador acústico *DNL* em formato *shape (shp)*;
- Extração de dados populacionais dos arquivos, em formato *shape (shp)*;
- 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 não sendo necessária a preocupação de identificar a fachada mais exposta das edificações (Figura 2A).

Entretanto, 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 2B).

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. Esse procedimento também foi adotado por Licitra *et al.* (2012).



Fig. 2 (A). Setores censitários no interior das curvas de ruído aeronáutico (B) Setores censitários no interior de curvas de ruído de tráfego rodoviário

3. RESULTADOS

A Figura 3 mostra o mapa acústico para a DNL 50 até 85 ($50 < DNL \leq 85$) e as principais rotas de pousos e decolagens de aeronaves no SBBR. Para auxílio na interpretação dos mapas de ruído deve-se observar a Tabela 1 que expressa os limites e as áreas, de cada curva de ruído.

Tabela 1: Área das curvas de ruído DNL

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

Tendo por base o método apresentado na Seção 2.3, primeiro foi calculada a população total da área de abrangência da maior curva de ruído (DNL 50). A Figura 4 mostra o

resultado da intersecção de todas as curvas de ruído, a partir da *DNL* 50, com a base censitária do IBGE 2010.

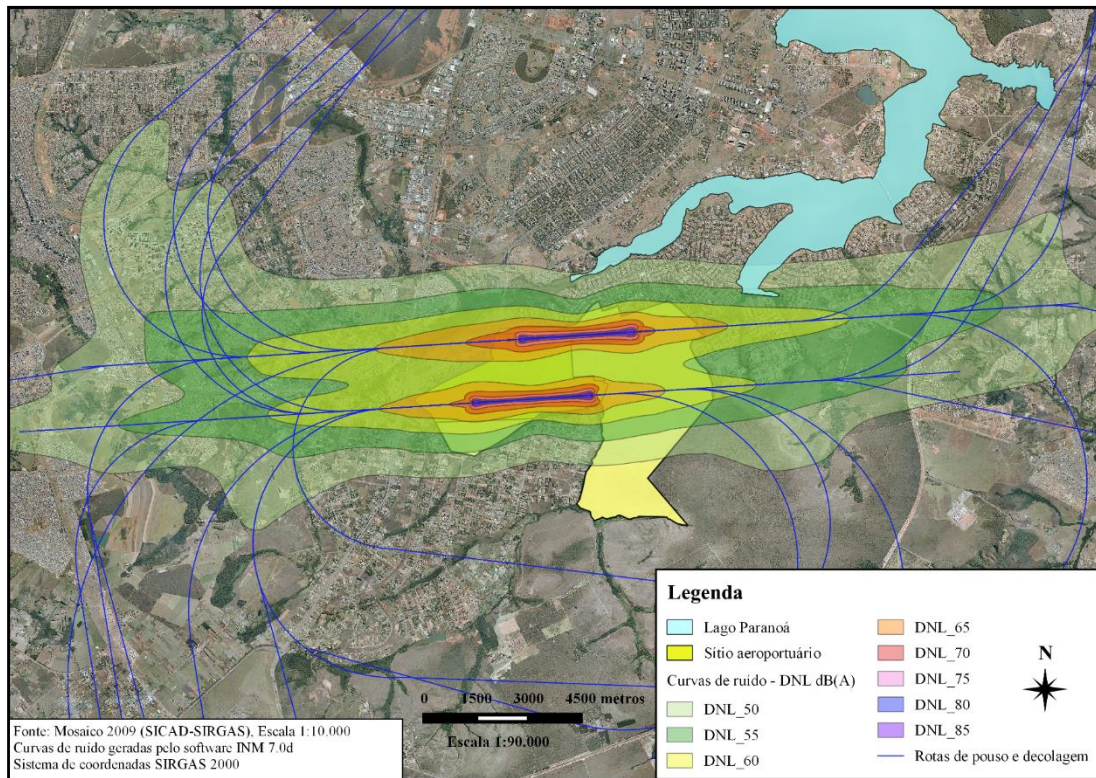


Fig. 3 Curvas de ruído DNL e rotas de pousos e decolagens no SBBR

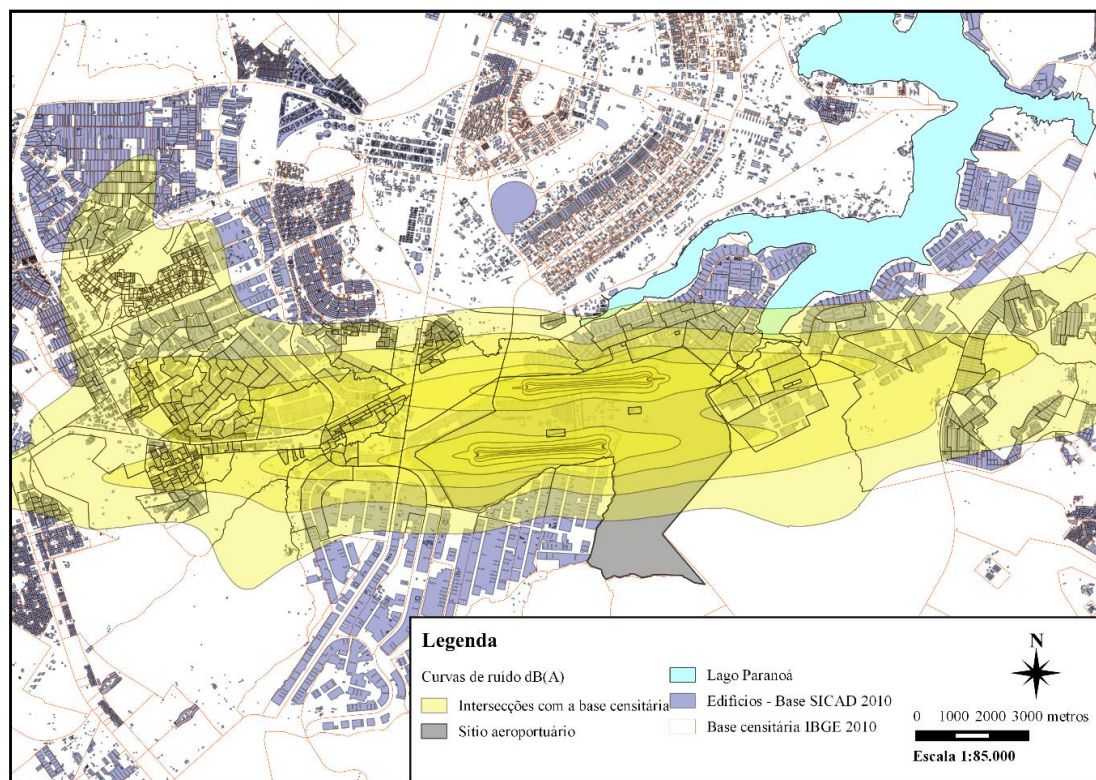


Fig. 4 Intersecção das curvas de ruído como a base censitária do IBGE 2010

A Tabela 2 apresenta a população exposta (PE) e o percentual da população exposta (%PE) determinados. Para a obtenção dos valores expressos nas colunas PE e %PE foram adotados 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. A partir dessa intersecção, com o arquivo gerado em (1) e mostrado na Figura 4, 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 em Excel, determinou-se a população total por RA (Região Administrativa de Brasília - DF) no interior dessas curvas.
3. A Tabela 2 apresenta a população total de cada RA (Pop. RA). Já a coluna PTC¹ 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;
4. Foi realizada a subtração do resultado da população total exposta ao ruído (577.124) e o valor calculado da população exposta somente da *DNL 50* (316.741), que engloba todas as demais curvas. O valor obtido foi de 260.383. Aqui cabe ressaltar, que grande parte da população na *DNL 50*, que é de 1.054.465 indivíduos, não se encontra em nenhuma curva de ruído.
5. O percentual superestimado foi de 45,12% (260.383/577.124). Deduzindo esse percentual da população total de cada RA (coluna PTC¹) obtêm-se a coluna PTC² com a primeira correção do cálculo da população total estimada por RA e por *DNL*. O total geral na coluna PTC² é 260.383 que corresponde à diferença realizada em (4).
6. 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).
7. A coluna PE, na Tabela 2, mostra o resultado final para o cálculo da população exposta.

Tabela 2: População exposta ao ruído aeronáutico

<i>DNL 50</i>						
RA	Pop. RA	MMPD	PTC ¹	PTC ²	PE	% PE
I	221.223	2,81	3.623	1.635	1.635	1%
XIX	16.799	3,66	15.858	7.155	7.155	43%
X	125.808	3,09	19.595	8.841	8.841	7%
XVI	31.206	3,57	20.918	9.438	9.438	30%
VIII	23.714	3,24	37.397	16.873	0	0%
VII	45.613	3,65	5.413	2.442	2.442	5%
XXIV	19.759	3,65	13.683	6.173	6.173	31%
XVII	37.278	3,34	46.858	21.141	8.946	24%
XII	220.806	3,59	7.084	3.196	3.196	1%
XIV	97.977	3,58	12.153	5.483	5.483	6%
III	214.282	3,19	134.159	60.529	60.529	28%
Total	1.054.465		316.741	142.905	113.838	11%

<i>DNL 55</i>						
RA	Pop. RA	MMPD	PTC ¹	PTC ²	PE	% PE
XIX	16.799	3,66	10.202	4.603	4.603	27%
X*	125.808	3,09	3.070	1.385	1.385	1%
XVI	31.206	3,57	15.020	6.777	6.777	22%
VIII	23.714	3,24	32.733	14.768	2.609	11%
XXIV	19.759	3,65	9.019	4.069	4.069	21%
XVII	37.278	3,34	59.931	27.039	27.039	73%
XIV	97.977	3,58	5.362	2.419	2.419	2%
III	214.282	3,19	57.139	25.780	25.780	12%
Total	566.823		192.476	86.840	74.681	13%
<i>DNL 60</i>						
RA	Pop. RA	MMPD	PTC ¹	PTC ²	PE	% PE
XIX	16.799	3,66	4.924	2.222	1.428	9%
X*	125.808	3,09	1.203	543	834	1%
XVI	31.206	3,57	8.746	3.946	3.946	13%
VIII	23.714	3,24	21.180	9.556	21.180	89%
XXIV	19.759	3,65	10.141	4.575	3.975	20%
XVII	37.278	3,34	2.380	1.074	1.074	2,9%
III**	214.282	3,19	887	400	615	0%
Total	468.846		49.461	22.315	33.052	7%
<i>DNL 65</i>						
RA	Pop. RA	MMPD	PTC ¹	PTC ²	PE	% PE
XIX	16.799	3,66	712	321	0	0%
XVI	31.206	3,57	5.870	2.648	714	2.3%
VIII	23.714	3,24	2.610	1.178	1.172	5%
XXIV	19.759	3,65	9.254	4.175	701	4%
Total	91.478		18.446	8322	2.587	4%
<i>DNL 70</i>						
RA	Pop. RA	MMPD	PTC ¹	PTC ²	PE	% PE
XIX	16.799	3,66	712	321	0	0.0%
XVI	31.206	3,57	1.024	462	89	0.3%
XXIV	19.759	3,65	1.882	849	40	0.2%
Total	67.764		3.618	1.632	129	0.2%
Total Geral			577.124	260.383	224.157	

Notas: Pop. RA (População total de cada RA. Fonte: PDAD 2013/2014) / MMPD (Média de Moradores por Domicílio. Fonte: PDAD 2013/2014) / PTC¹ = População Total Calculada / PTC² = 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 / I – Brasília / XIX – Candangolândia / X – Guará / XVI - Lago Sul / VIII - Núcleo Bandeirante / VII – Paranoá / XXIV - Park Way / XVII - Riacho Fundo / XII – Samambaia / XIV - São Sebastião / III - Taguatinga

A Tabela 3 resume os resultados obtidos onde pode-se destacar para as curvas mais ruidosas:

- *DNL 60*: Nessa *DNL* o total da população exposta é de 33.052 indivíduos. As RA's do Núcleo Bandeirante, Park Way e Lago Sul são as com o maior número de pessoas expostas;

- *DNL 65*: Nessa *DNL* o total da população exposta é de 2.587 indivíduos. A RA do 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*: Nessa *DNL* o total da população exposta é de 129 indivíduos. 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 3: População exposta estimada por curva de ruído *DNL*

RA	Pop. RA	<i>DNL 50</i>		<i>DNL 55</i>		<i>DNL 60</i>		<i>DNL 65</i>		<i>DNL 70</i>	
		PE	% PE	PE	% PE	PE	% PE	PE	% PE	PE	% PE
I	221.223	1.635	1,0	----	----	----	----	----	----	----	----
XIX	16.799	7.155	43,0	4.603	27,0	1.428	9,0	----	----	----	----
X	125.808	8.841	7,0	1.385	1,0	834*	1,0	----	----	----	----
XVI	31.206	9.438	30,0	6.777	22,0	3.946	13,0	714	2,3	89	0,3
VIII	23.714	----	----	2.609	11,0	21.180	89,0	1.172	5,0	----	----
VII	45.613	2.442	5,0	----	----	----	----	----	----	----	----
XXIV	19.759	6.173	31,0	4.069	21,0	3.975	20,0	701	4,0	40	0,2
XVII	37.278	8.946	24,0	27.039	73,0	1.074	2,9	----	----	----	----
XII	220.806	3.196	1,0	----	----	----	----	----	----	----	----
XIV	97.977	5.483	6,0	2.419	2,0	----	----	----	----	----	----
III	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 / I – Brasília / XIX – Candangolândia / X – Guará / XVI - Lago Sul / VIII - Núcleo Bandeirante / VII – Paranoá / XXIV - Park Way / XVII - Riacho Fundo / XII – Samambaia / XIV - São Sebastião / III - Taguatinga

4. CONCLUSÃO

Com a aplicação da proposta metodológica foi possível evitar a superestimação do número de populações expostas ao ruído aeronáutico. Também foi verificado que nas *DNL's* 60 e 65 as RA's mais afetadas, com o maior número de pessoas expostas, são o Núcleo Bandeirante, Park Way e Lago Sul. Chama-se a atenção para a ocupação de áreas muito próximas aos limites do sítio aeroportuário.

Cabe ressaltar, que no Brasil não existem diretrizes e orientações previstas para a determinação da população exposta. A proposta metodológica aqui apresentada pode ser adotada em outras pesquisas, pois auxilia na identificação de áreas sensíveis ao ruído, orienta o zoneamento sonoro e evita a superestimação dos dados relacionados à população

exposta. Dessa forma, contribui para uma melhor análise do impacto provocado pelo ruído aeronáutico em comunidades residentes no entorno de aeroportos.

5. REFERÊNCIAS

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 . Data de acesso: 28 de março de 2016.

Babisch, W (2002). **The Noise/Stress Concept, Risk Assessment and Research Needs**. Noise Health, v. 4, n. 16, p. 1-11.

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.; 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 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.

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.

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 Data de acesso: 09 de abril de 2016.

Licitra, G., Ascari, E., Brambilla, G (2012) **Comparative Analysis of Methods to Estimate Urban Noise Exposure of Inhabitants**. Acta Acustica United with Acustica. v. 98. p. 659 – 666.

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.

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.

Suriano, T. M, Souza, L. C. L., Silva, A. N. R (2015). **Ferramenta de apoio à decisão para o controle da poluição urbana**. Ciência & Saúde Coletiva, v. 20 (7).

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.