

CICAD.II.2018

ARTIGO CIENTÍFICO ÁREA DE CONCENTRAÇÃO



CIÊNCIA E TECNOLOGIA

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO RUÍDO AERONÁUTICO NO ENTORNO DE BRASÍLIA

RAPHAELLA DE SOUZA SERAPIÃO AMORIM, PATRÍCIA DOS REIS DE MORAIS
Graduanda em Engenharia Civil, Graduanda em Engenharia Civil

RESUMO: O PRESENTE ESTUDO AVALIOU O IMPACTO DO RUÍDO AERONÁUTICO, NO ENTORNO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE BRASÍLIA, APÓS A IMPLEMENTAÇÃO DAS OPERAÇÕES SIMULTÂNEAS NAS SUAS QUATRO CABECEIRAS. TORNOU-SE, ASSIM, O PRIMEIRO AEROPORTO DA AMÉRICA DO SUL A OPERAR COM AS CABECEIRAS INDEPENDENTES. PARA TANTO, FORAM ELABORADAS CURVAS DE RUÍDO COM DADOS FORNECIDOS PELA INFRAMERICA. AS ISOFÔNICAS FORAM SIMULADAS NO SOFTWARES INM 7.0D COM BASE NA METODOLOGIA DESCRITA NO REGULAMENTO BRASILEIRO DA AVIAÇÃO CIVIL 161 (2013). A MÉTRICA ACÚSTICA ADOTADA FOI O DNL (DAY-NIGHT AVERAGE SOUND LEVEL). TAMBÉM FOI UTILIZADA UMA FERRAMENTA SIG PARA ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE RUÍDO. FORAM REALIZADAS SIMULAÇÕES PARA DOIS CENÁRIOS. O PRIMEIRO PARA MARÇO DE 2017, ONDE OCORRERAM OPERAÇÕES DE POUSO E DECOLAGEM NO FORMATO PADRÃO (COM MOVIMENTAÇÕES DE POUSO OCORRENDO PREFERENCIALMENTE EM UMA PISTA E AS DE DECOLAGEM EM OUTRA). O SEGUNDO CENÁRIO FOI PARA MARÇO DE 2018 ONDE OCORRERAM SOMENTE OPERAÇÕES SIMULTÂNEAS NAS QUATRO CABECEIRAS. O TOTAL DE MOVIMENTAÇÕES FOI DE 13.366 (2017) E 13.260 (2018) MOVIMENTAÇÕES/MÊS. COM BASE NAS CURVAS DE RUÍDO GERADAS, NÃO SE OBSERVOU MUDANÇAS EXPRESSIVAS DENTRE OS CENÁRIOS EM RELAÇÃO AO RUÍDO AERONÁUTICO NAS ÁREAS CIRCUNVIZINHAS AO AEROPORTO. TODAVIA, VERIFICOU-SE UMA POPULAÇÃO EXPOSTA SIGNIFICATIVA AO RUÍDO AEROVIÁRIO NAS DNL'S 55 E 60 (FORA DAS RESTRIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO INDICADOS NO RBAC 161) QUE ATINGEM REGIÕES DE TAGUATINGA, SAMAMBAIA, RIACHO FUNDO, SETOR DE MANSÕES DOM BOSCO E LAGO SUL. APESAR DE SEREM COMPATÍVEIS COM O USO RESIDENCIAL, O RUÍDO AERONÁUTICO NESSAS REGIÕES É PERCEBIDO PELOS MORADORES PODENDO GERAR REAÇÕES.

PALAVRAS-CHAVE: RUÍDO AERONÁUTICO. ZONEAMENTO SONORO. MAPAS DE RUÍDO. IMPACTO AMBIENTAL.

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 (BABISCH, W. 2002; JARUP et al., 2005; HARALABIDIS A. S. et al., 2008; BABISCH, W. 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 (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 e DE

BARROS A. G., 2013).

Vale ainda ressaltar que os efeitos adversos sobre o sono se tornaram uma das queixas mais comuns apontadas por populações expostas ao ruído na Europa (WHO, 2009). Também se associa ao ruído aeroaviário 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).

O Grupo de Pesquisa em Acústica e Poluição Ambiental, proponente deste projeto, ressalta que região afetada pelo ruído aeronáutico, no entorno do Aeroporto de Brasília, sofreu alterações em virtude da nova operação nesse aeroporto a partir do ano de 2016. O Departamento de Controle do Espaço aéreo (DECEA) autorizou o crescimento da capaci-



dade desse aeroporto, com intuito de aumentar a quantidade de voos por dia com as suas duas pistas e quatro cabeceiras (29R/11L e 29L/11R) operando simultaneamente de forma independente. Assim, a movimentação de aeronaves passou de 60 movimentos aéreos/hora para 80 aéreos/hora, sendo o primeiro aeroporto da América do Sul a operar com quatro cabeceiras simultaneamente.

No Brasil, os conflitos associados ao ruído aeronáutico fazem parte da realidade cotidiana de grandes cidades. Por exemplo, é o caso de as 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. Segundo Carvalho Jr, E. (2015), o Brasil ainda carece de estudos que busquem verificar os efeitos negativos do ruído aeronáutico na qualidade de vida das comunidades afetadas. É nesse ponto que reside a contribuição científica do presente projeto, ou seja, sustenta-se na necessidade do desenvolvimento de pesquisas que contribuam para uma melhor compreensão do impacto causado pelo ruído aeroviário em regiões no entorno de aeroportos. Cabe ressaltar que o estudo aqui proposto é inédito para a atual operação do Aeroporto Internacional de Brasília e servirá como parâmetro para estudos em outras cidades brasileiras.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 O RUÍDO AERONÁUTICO

O ruído aeronáutico é 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).

O ruído aeroportuário é caracterizado por ter vários picos de energia sonora, não sendo, portanto, ouvido 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 ocorre, na maioria dos casos, em baixa frequência, ocasionando os mais diversos efeitos sobre o público exposto a ele. Esse fenômeno 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).

A intensidade do ruído produzido por aeronaves a jato é muito maior do que as intensidades de ruídos provenientes de outras fontes do cotidiano das cidades. 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).

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). Geralmente, os modais de transportes no período noturno, são as principais fontes de ruído, sendo que devido à sua natureza intermitente, o ruído das aeronaves é considerado o que produz maior incômodo (JONES, 2009).

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 associado 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 a aeroportos (CLARK; STANSFELD, 2011)

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 se tornaram uma das queixas mais comuns apontadas por populações expostas ao ruído na Europa (WHO, 2009).

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 1950 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 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.

1.2 CURVAS DE RUÍDO E INDICADOR ACÚSTICO

O Regulamento Brasileiro da Aviação Civil (RBAC) N° 161 de 2013 define curvas de ruído como sendo linhas traçadas em um mapa, cada uma representando níveis iguais de exposição ao ruído. 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 (Day-night level), considerando como período noturno o período compreendido entre 22h e 7h do horário local.

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 (CARVALHO JR, E et al, 2013; FAA, 2011).

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

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



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. Já o nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}), 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 2:

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

Onde T é a duração do período de referência (tempo total de medida); $p(t)$ é a pressão sonora instantânea; p_0 é pressão sonora de referência ($2,0 \times 10^{-5}$ N/m²). A Equação 2 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.

O RBAC 161 (213) estabelece ainda que para aeródromos com média anual de movimento de aeronaves dos últimos 3 (três) anos superior a 7.000 (sete mil), deve ser elaborado um estudo com cinco curvas de ruído conforme indicado a seguir:

- 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.

2 METODOLOGIA

O método foi sustentado em simulações de curvas de ruído e elaboração de mapas de ruído. Para a simulação foi utilizada a metodologia descrita no Regulamento Brasileiro da Aviação Civil 161 de 2013 com uso da métrica acústica DNL (day-night average sound level) que representa o nível de ruído médio em um período de 24h. O software utilizado foi o Integrated Noise Model (INM), desenvolvido pelo FAA (Federal Aviation Administration – EUA).

O INM foi projetado para realizar modelagens dinâmicas e alta performance relacionadas ao ruído aeronáutico. Com relação ao ruído, o INM permite estimar os efeitos médios de longo prazo utilizando um input baseado em uma média anual de operações de um aeroporto. O output gerado foi exportado para um software SIG para elaboração dos mapas de ruído. Os dados necessários para a realização da pesquisa foram fornecidos pela operadora do aeroporto – INFRAMERICA.

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO AEROPORTO INTERNACIONAL DE BRASÍLIA

O Aeroporto Internacional de Brasília possui sigla ICAO (International Civil Aviation Organization) SBBR. Atualmente, é 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 In-

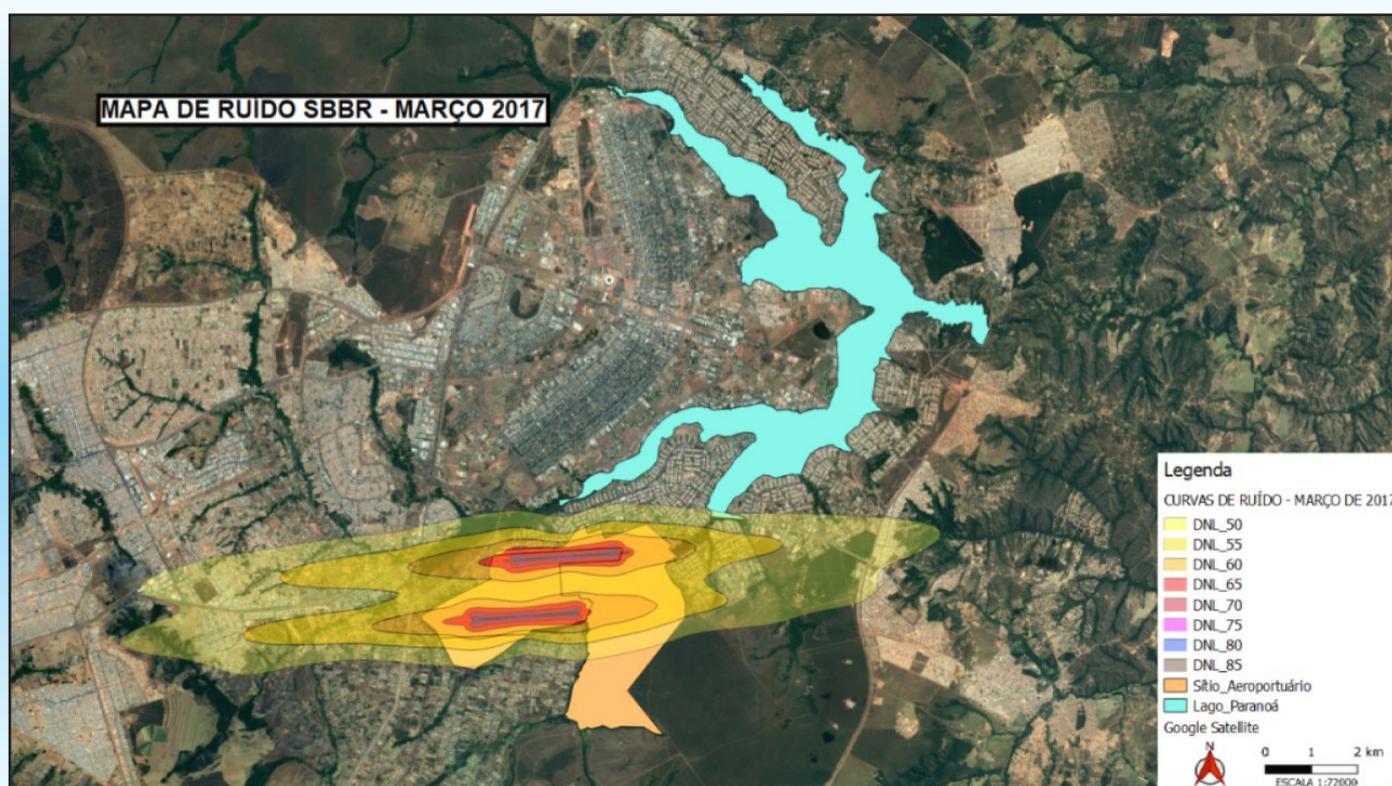


ternacional de Brasília (SBBR) possui área total de 28.930.886 m². Trata-se de um aeroporto compartilhado, isto é, com operações civis e militares. A área militar é de 18.977.685 m² e a área patrimonial civil de 9.947.559 m². Na Figura 1 é possível observar o sítio aeroportuário e as áreas destinadas 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 1 Localização do SBBR



Fonte: Carvalho Jr. E, 2015.

2.2 DADOS DE OPERAÇÃO UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES

Foram realizadas simulações para dois cenários. O primeiro para o mês de março de 2017 onde ocorreram operações de pouso e decolagem no formato padrão, ou seja, as movimentações de pouso ocorrem preferencialmente em uma pista e as de decolagem na outra pista. O segundo cenário foi para março de 2018 onde ocorreram somente operações simultâneas nas duas pistas do SBBR. O mês de março foi definido pelo operador aeroportuário (INFRAMÉRICA), por ser um mês em que

ocorreram somente operações do tipo padrão em 2017 (cenário 1) e somente operações simultâneas em 2018 (cenário 2).

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 1 apresenta esses dados obtidos no sítio do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA – AIM) e junto à INFRAMÉRICA, empresa operadora

do SBBR.

TABELA 1 Dados gerais do SBBR

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

Fonte: o autor, 2018.

Já a Tabela 2 resume os dados das pistas do SBBR que constam da Carta do Aeródromo SBBR. 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. As Tabelas 3 e 4 mostram o percentual de operações de pousos e decolagens, em cada cabeceira do SBBR, com base nos meses de março 2017 e 2018. Os dados que constam dessas tabelas foram sintetizados do histórico de operação enviado pela INFRAMERICA .

TABELA 2 Dados da pista

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

Fonte: o autor, 2018.

TABELA 3 Operações de pouso e decolagem - SBBR (março de 2017)

Cabeceira	Pouso	% Pouso	Decolagem	% Decolagem	Total	% Total
11 L	2575	39%	2164	32%	4739	35,5 %
29 R	761	11%	470	7%	1231	9,2 %
11 R	2569	39%	3132	47%	5701	42,7 %
29 L	764	11%	931	14%	1695	12,7 %
Total	6669	1	6697	1	13366	

Fonte: o autor, 2018.

TABELA 4 Operações de pouso e decolagem - SBBR (março de 2018)

Cabeceira	Pouso	% Pouso	Decolagem	% Decolagem	Total	% Total
11 L	2085	31 %	1544	24 %	3629	27,4 %
29 R	1109	16 %	953	15 %	2062	15,6 %
11 R	2121	31 %	2613	40 %	4734	35,7 %
29 L	1423	21 %	1412	22 %	2835	21,4 %
Total	6738	1	6522	1	13260	

Fonte: o autor, 2018.

As Tabelas 5 e 6 expressam os percentuais de operação para o período diurno e noturno dos meses de março de 2017 e 2018. As Tabelas 7 e 8 apresentam a frequência e os percentuais de operação (pouso e decola-

gem) de cada uma das cabeceiras para o período diurno e noturno nos meses de março de 2017 e 2018. Esses dados são essenciais para simulação das curvas de ruído no INM 7.0 d.



TABELA 5 Percentuais de operações diurno e noturno (março 2017)

Operação Noturna	Freq	% op
Pouso	764	51,0 %
Decolagem	735	49,0 %
Total Op. Noturna	1499	11,2 %
Operação Diurna	Freq	% op
Pouso	5905	49,8 %
Decolagem	5962	50,2 %
Total Op Diurna	11867	88,8 %
Total Pouso	6669	49,9 %
Total Decolagem	6697	50,1 %
Total Pouso + Decolagem	13366	

Fonte: o autor, 2018

TABELA 6 Percentuais de operações diurno e noturno (março 2018)

Operação Noturna	Freq	% op
Pouso	1302	57,3 %
Decolagem	970	42,7 %
Total Op. Noturna	2272	17,1 %
Operação Diurna	Freq	% op
Pouso	5436	49,5 %
Decolagem	5552	50,5 %
Total Op Diurna	10988	82,9 %
Total Pouso	6738	50,8 %
Total Decolagem	6522	49,2 %
Total Pouso + Decolagem	13260	

Fonte: o autor, 2018.

TABELA 7 Percentuais de operações diurno e noturno por cabeceira (março 2017)

Cabeceira	11 L		11 R		29 L		29 R	
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno
Pouso	2292	283	2286	283	680	84	677	84
	38,8 %	41,0 %	38,7 %	37,0 %	11,5 %	11,0 %	11,0 %	11,0 %
Decolagem	1926	238	2787	345	829	102	418	52
	32,3 %	32,4 %	46,8 %	46,9 %	13,9 %	13,7 %	7,0 %	7,0 %
Total	4218	521	5074	627	1509	186	1096	135

Fonte: o autor, 2018.

TABELA 8 Percentuais de operações diurno e noturno por cabeceira (março 2018)

Cabeceira	11 L		11 R		29 L		29 R	
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno
Pouso	1585	500	1937	184	931	492	983	126
	29,2%	38,4%	35,6%	14,1%	17,1%	37,8%	18,1%	9,7%
Decolagem	1436	108	2196	417	1207	205	713	240
	25,9%	11,1%	39,6%	43,0%	21,7%	21,1%	12,8%	24,7%
Total	3021	608	4133	601	2138	697	1696	366

Fonte: o autor, 2018.

Desse modo, conforme indicado nas Tabelas 5 e 6 o total de movimentações considerado foi de 13.366 (março 2017) e 13.260 (março 2018) movimentações/mês. A Tabela 9 mostra a composição da frota de aeronaves para 2017 e 2018. Cabe ressaltar, que a frota de aeronaves utilizada foi a mesma nos dois cenários variando somente os percentuais de operação das aeronaves.

TABELA 9 Composição da frota

Equipamento	mar/17	mar/18
	%	%
PA34	1,10%	1,3%
AT72	2,80%	1,4%
C-208	3,20%	1,1%
ERJ-145	4,00%	0,6%
Total	100%	100%



Equipamento	mar/17	mar/18
	%	%
ERJ-195	6,10%	5,5%
A318	2,20%	2,1%
A319	10,30%	9,7%
A320	33,10%	36,2%
A321	8,30%	9,5%
A332	0,40%	0,3%
B722	0,40%	0,2%
B737	6,00%	5,8%
B738	20,70%	24,8%
B752	1,40%	1,5%
Total	100%	100%

Fonte: o autor, 2018.

Para a elaboração das curvas de ruído foi adotada a metodologia prevista no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil - RBAC 161 (2013) - que recomenda a simulação de 5 (cinco) curvas (65, 70, 75, 80 e 85), na métrica acústica DNL. As rotas de entrada e saída,

utilizadas para os dois cenários, estão expressas em cartas do Tipo SID (Standard Departure Chart) e IAC (Instrument Approach Chart). Destaca-se que são as rotas mais recentes em uso no SBBR.

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, nesse estudo será adotada a metodologia indicada pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA). A APA 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. A Tabela 10 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.

TABELA 10 Principais pontos metodológicos - APA (2011)

	Indicador acústico*: Por exemplo: L_{den} ou L_n .
Curva de ruído	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 landing threshold (a partir do qual a aeronave pode tocar na pista) e o takeoff point (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): tipo específico de aeronave (discriminado ao tipo e número de motor(es)), complementado com informação da certificação acústica da aeronave; n.o de movimentos por: tipo específico de aeronave; período de referência (diurno, entardecer, noturno); tipo de operação (aterragem/descolagem); para cada tipo de aeronave: percentagens de utilização de cada pista e rota; categoria do voo à decolagem;
	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. A memória descritiva deve conter a explicação das condições em que foi elaborado o mapa e dos pressupostos considerados, incluindo os dados de entrada; o resumo não técnico, destinado à divulgação ao público, deve incluir os cartogramas. Os mapas acústicos devem ter uma escala igual ou superior a 1:25 000

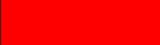
Nota: * No caso do Brasil: DNL. Fonte: o autor, 2018.

A Figura 2 foi utilizada como referência para a elaboração da relação cores/padrões-classes de níveis sonoros dos mapas de ruídos. Para obter uma melhor definição dessas, já que acima de 70 não teria uma diferenciação da cor no mapa, foi adaptado os níveis DNL

80 e 85 com RGB de 29/75/241 e 100/69/40, respectivamente.



FIGURA 2 Relação de cores e padrões para as classes de níveis sonoros.

Classe do Indicador	Cor		RGB
$L_{den} \leq 55$	ocre		255, 217, 0
$55 < L_{den} \leq 60$	laranja		255, 179, 0
$60 < L_{den} \leq 65$	vermelhão		255, 0, 0
$65 < L_{den} \leq 70$	carmim		196, 20, 37
$L_{den} > 70$	magenta		255, 0, 255
$L_n \leq 45$	verde escuro		0, 181, 0
$45 < L_n \leq 50$	amarelo		255, 255, 69
$50 < L_n \leq 55$	ocre		255, 217, 0
$55 < L_n \leq 60$	laranja		255, 179, 0
$L_n > 60$	vermelhão		255, 0, 0

Fonte: APA, 2011.

Para a elaboração dos mapas de ruído 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 2.18 onde pode-se visualizar, gerir, editar, criar mapas e analisar dados. Os dados de base utilizados foram:

- (A) Dados dos Setores Censitários do DF, em formato shape (shp) e informação para cada subsecção estatística (dados do Censo 2010, IBGE);
- (B) Dados das curvas de ruído simuladas no INM 7.0d, em formato shape (shp);
- (C) Dados matriciais (Mosaico DF 2009), em formato shape (shp);
- (D) Dados de localização e limites do sítio do SBBR, em formato shape (shp);
- (E) Dados de Edifícios do DF – Base SICAD 2010.

A Tabela 11 mostra os limites de cada curva de ruído gerada e expressas nos mapas.

TABELA 11 Indicadores acústicos das curvas de ruído

Indicador DNL
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 = $DNL > 85$

Fonte: o autor, 2018.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às pistas, a Tabela 12 mostra o percentual de movimentos, por cabeceira, nos dois cenários. Para o cenário 1 tem-se 43% de operação (pousos mais decolagens) na pista 1 e 57% na pista 2. Já para o cenário 2 tem-se 44% de operação na pista 1 e 56% na pista 2. Desse modo, foi observado um percentual maior de utilização da pista 2 (11R/29L) nos dois cenários. Essa pista está mais próxima ao Park Way e a pista 1 (11L/29R) próxima ao Lago Sul. Talvez explique essa concentração na pista 2 um número maior de voos com destino às principais cidades do Sudeste e Sul do país que decolam preferencialmente dessa pista.

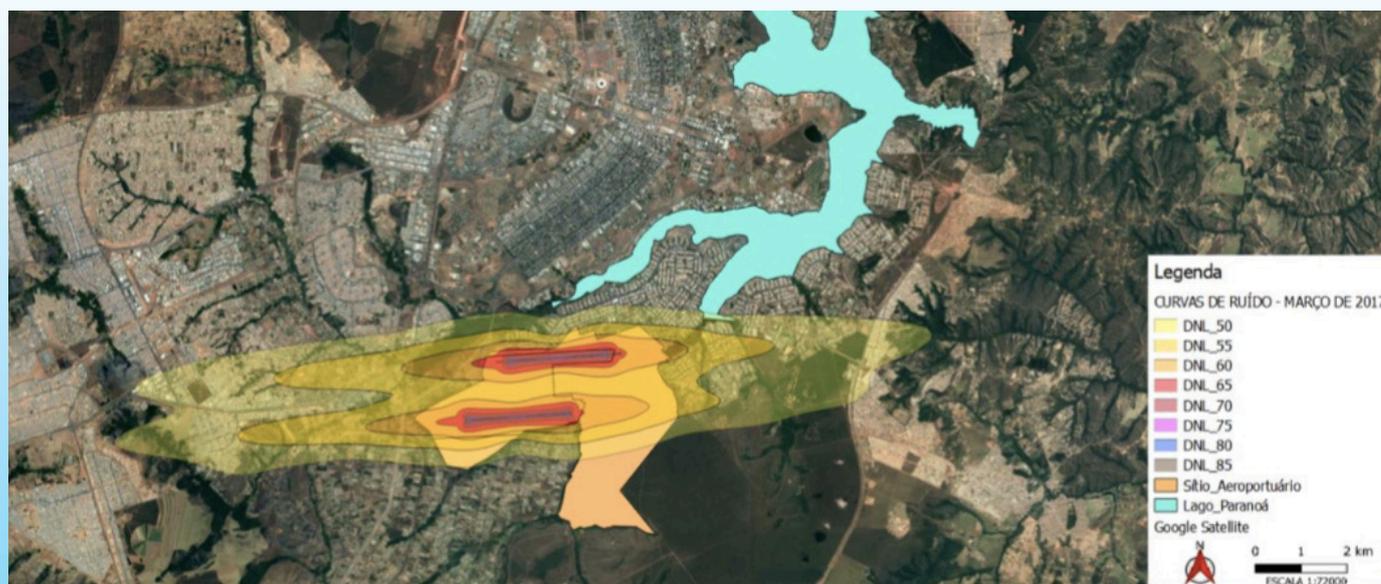
TABELA 12 Total de movimentos por cabeceira 2017 – 2018

Pista	Cabeceira	mar/18		mar/17	
		Total	% Total	Total	% Total
Pista 1	11 L	3629	27 %	4739	35 %
	29 R	2062	16 %	1231	9 %
Pista 2	11 R	4734	36 %	5701	43 %
	29 L	2835	21 %	1695	13 %
Total		13260	100%	13366	100%

Fonte: o autor, 2018.

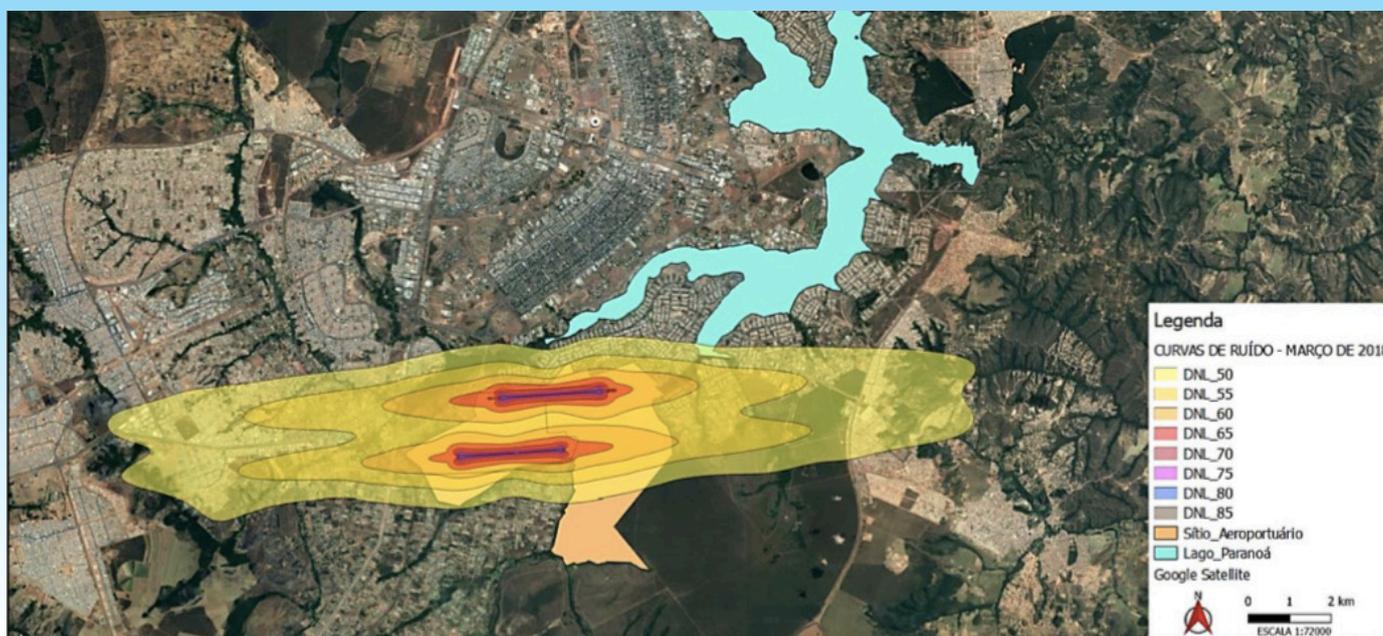
As Figuras 3 e 4 mostram os mapas de ruídos elaborados para os cenários 1 e 2, ou seja, entre o mês de março de 2017 e o mês de março de 2018.

FIGURA 3 Mapa de ruído SBBR - Março 2017



Fonte: o autor, 2018.

FIGURA 4 Mapa de ruído SBBR - Março 2018



Fonte: o autor, 2018.

Nas Figuras 3 e 4 é possível observar as regiões afetadas pelo ruído aeronáutico em ambos os cenários. Cabe ressaltar, que esses são mapas que indicam o impacto sonoro para um mês de operação e não para um ano inteiro. Para os dois cenários, considerando as curvas de ruído DNL 50 e 55, verifica-se que a leste do SBBR essas curvas estendem-se até Taguatinga e Samambaia, devido às operações na pista 1, e até o Riacho Fundo para os movimentos na pista 2. A oeste, essas curvas de ruído, considerando a pista 1, atingem regiões do Lago Sul, Setor de Mansões Dom Bosco e Jardim Botânico. Ao norte da pista 1

as curvas de ruído englobam quadras do Lago Sul e ao sul da pista 2, chegam ao Park Way (quadras 14, 19, 21, 23 e 25).

A leste, as operações na pista 1 fazem com que a curva de ruído DNL 60 chegue no Park Way (quadra 3) atingindo partes do Setor Habitacional Arniqueiras. Para a pista 2, essa curva avança para as quadras 6 e 7 do Park Way e áreas do Núcleo Bandeirante (Vila Metropolitana). A norte da pista 1 a DNL 60 passa pelas quadras 01 e 13 do Lago Sul.

Na parte Sul da pista 2, a DNL 60 chega ao Park Way (quadras 14, 19, 21, 23 e 25)

em partes mais próximas ao limite do sítio aeroportuário. A curva de ruído DNL 65 atinge uma parte do Núcleo Bandeirante, resultante da operação na pista 1 e uma pequena parte do Park Way (quadra 14) devido aos movimentos na pista 2. As demais curvas estão restritas aos limites do sítio aeroportuário não atingindo áreas de uso residencial ou misto.

Comparando os mapas, verifica-se a existência de uma pequena diferença (principalmente nas DNL's 65 – 85) entre as regiões atingidas pelo ruído, que pode ser melhor observada na Tabela 13 que compara o tamanho das áreas, em km², de cada curva nos dois cenários. Essa pequena diferença já era esperada, uma vez que a frota simulada foi a mesma para os dois anos e as diferenças percentuais de operações não foram muito significativas nos dois cenários. Além disso, o regime de vento nas cabeceiras muda muito pouco de um ano para outro.

TABELA 13 Comparação entre as áreas 2017 - 2018

DNL	ÁREA (Km ²)		
	2017	2018	Diferença
50	95,5	112,7	17,2
55	45,0	54,5	9,5
60	17,4	22,3	4,9
65	5,7	7,5	1,8
70	2,6	3,1	0,5
75	1,2	1,5	0,3
80	0,5	0,6	0,2
85	0,1	0,2	0,1

Fonte: o autor, 2018.

As Figuras de 5 a 8 mostram essa diferença das curvas de ruído em uma comparação entre o mês de março dos anos de 2017 e 2018. Nessas figuras não foram usadas o sistema de cores padronizadas para melhor visualização de comparação.

FIGURA 5 Comparação entre as curvas de ruído DNL 50 – Março 2017/2018



Fonte: o autor, 2018.

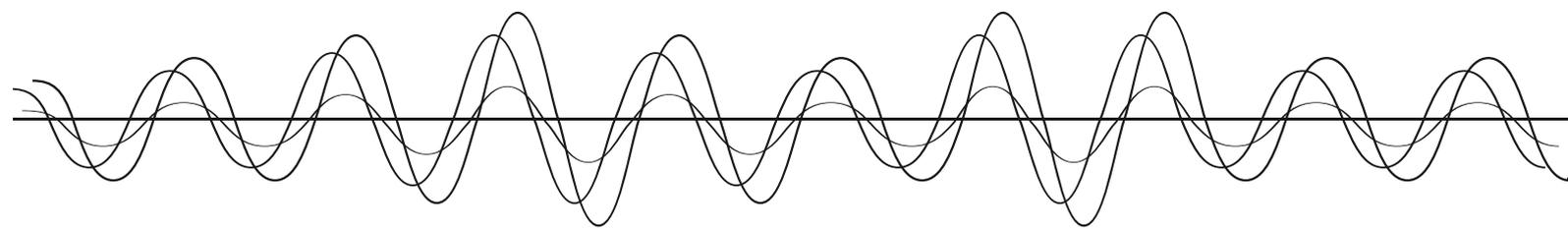


FIGURA 6 Comparação entre as curvas de ruído DNL 55 – Março 2017/2018

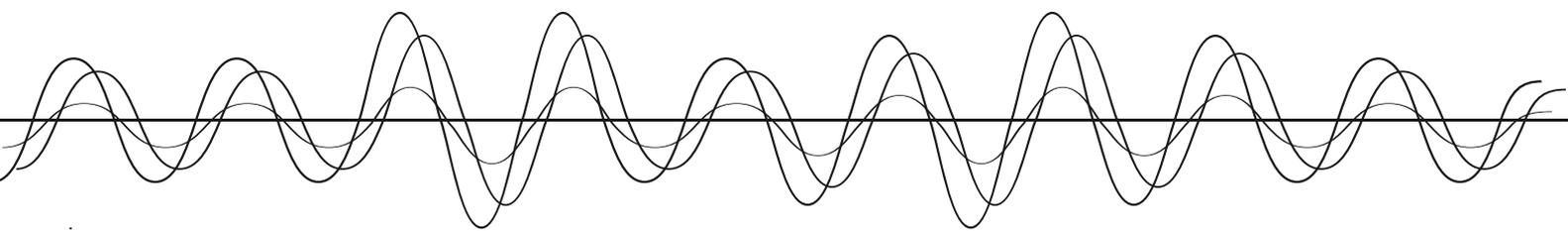


Fonte: o autor, 2018

FIGURA 7 Comparação entre as curvas de ruído DNL 60 – Março 2017/2018



Fonte: o autor, 2018





Fonte: o autor, 2018.

Dessa forma, com base na avaliação qualitativa realizada, de comparação entre os tamanhos das curvas de ruído, não se espera mudança expressiva de aumento da população exposta ao ruído aeronáutico no interior dessas curvas. O estudo desenvolvido por Carvalho Jr, E (2015) apresenta os resultados do percentual da população exposta ao ruído aeronáutico, decorrente do SBBR, para cada DNL (com dados de operação dos anos de 2014 e 2015).

A Tabela 14 resume os resultados obtidos por Carvalho Jr, E (2015), 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 po-

pulação 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 14 População exposta estimada por curva de ruído DNL

RA	Pop. RA	DNL 50		DNL 55		DNL 60		DNL 65		DNL 70	
		PE	% PE	PE	% PE	PE	% PE	PE	% PE	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	-	-	-	-	-	-	-	-
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

Fonte: Carvalho Jr, E (2015).

Carvalho Jr, E (2015) também resumiu a população total exposta em cada curva de ruído, bem como estimou o número de pessoas que estariam altamente incomodadas (AI) e incomodadas (I) com o ruído aeroviário. Para tanto, utilizou modelos matemáticos próprios desenvolvidos no âmbito de seu estudo. Esses resultados estão expressos na Tabela 15.

TABELA 15 População exposta e número estimado de I e AI

DNL	PE	% PE	AI	I
50	113.838	11	8.652	23.109
55	74.681	13	10.082	22.479
60	33.052	7	7.503	13.915
65	2.587	3	924	1.428
70	129	0,2	66	87

Fonte: Carvalho Jr, E (2015).

Da Tabela 15 observa-se um total de 8.652 indivíduos altamente incomodados (AI) e 23.109 incomodados na DNL 50. Taguatinga destaca-se com o maior número de pessoas afetadas. Na DNL 55 foi estimado um total de 10.082 pessoas altamente incomodadas e 22.479 incomodadas. Na DNL 60, tem-se um total estimado de 7.503 pessoas altamente incomodadas e 13.915 incomodadas. Já na DNL 65 924 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.

Carvalho Jr, E (2015) ressalta 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.

CONCLUSÕES

Essa pesquisa avaliou o impacto do ruído aeronáutico no entorno do Aeroporto Internacional de Brasília, após a implementação das operações simultâneas nas suas quatro cabeceiras. Foram elaboradas curvas de ruído e mapas acústicos na métrica acústica DNL para o mês de março de 2017 (operação padrão) e mês de março de 2018 (operação si-



multânea). Em seguida, comparou-se impacto sonoro no entorno do SBBR entre esses meses com diferentes tipos de operação.

A alteração da configuração de operação, baseada no cenário 1 para o cenário 2, não resultou em impactos expressivos de ruído aeronáutico nas áreas circunvizinhas ao Aeroporto de Brasília. Todavia, verificou-se uma população exposta significativa ao ruído aeroviário nas DNL's 55 e 60, ou seja, essas curvas atingem regiões de Taguatinga, Samambaia, Riacho Fundo, Setor de Mansões Dom Bosco e Lago Sul.

Essas curvas de ruído ainda estão fora das restrições de uso e ocupação do solo indicados no RBAC 161. Apesar de serem compatíveis com o uso residencial, o ruído aeronáutico nessas regiões é percebido pelos moradores podendo gerar reações. Portanto, as áreas sob essas curvas devem ser incluídas em estudos de impactos ambientais. Cabe ressaltar que a crescente demanda por operações no SBBR e sua proximidade com áreas residenciais apontam para uma situação de comprometimento do ambiente sonoro das áreas circunvizinhas no seu entorno com significativo potencial de incômodo conforme constatou a pesquisa de Carvalho Jr, E (2015).

Sugere-se para estudos futuros a simulação das curvas de ruído para um ano completo de operações simultâneas independentes. A partir dessas simulações elaborar mapas de ruído, estimar a população exposta e quantificar o incômodo sonoro, inclusive no período noturno, nas áreas circunvizinhas ao SBBR.

EVALUATION OF THE IMPACT OF AERONAUTICAL NOISE IN THE BRASÍLIA ENVIRONMENT

ABSTRACT: THE PRESENT STUDY EVALUATED THE IMPACT OF AERONAUTICAL NOISE, AROUND THE INTERNATIONAL AIRPORT OF BRASÍLIA, AFTER THE IMPLEMENTATION OF THE SIMULTANEOUS OPERATIONS IN THEIR FOUR HEADWATERS. IT BECAME, THE FIRST AIRPORT OF SOUTH AMERICA OPERATING WITH INDEPENDENT HEADWATERS. FOR THAT, NOISE CURVES WERE ELABORATED WITH DATA PROVIDED

BY INFRAMERICA. THE ISOPHONICS WERE SIMULATED IN INM 7.0D SOFTWARE BASED ON THE METHODOLOGY DESCRIBED IN THE BRAZILIAN CIVIL AVIATION REGULATION 161 (2013). THE ACOUSTIC METRIC ADOPTED WAS THE DNL (DAY-NIGHT AVERAGE SOUND LEVEL). A GIS TOOL WAS ALSO USED FOR THE ELABORATION OF NOISE MAPS. SIMULATIONS WERE PERFORMED FOR TWO SCENARIOS. THE FIRST TO MARCH 2017, WHERE LANDING AND TAKE-OFF OPERATIONS TOOK PLACE IN THE STANDARD FORMAT (WITH LANDING MOVEMENTS TAKING PLACE PREFERENTIALLY ON ONE RUNWAY AND TAKEOFF OPERATIONS ON ANOTHER). THE SECOND SCENARIO WAS FOR MARCH 2018 WHERE ONLY SIMULTANEOUS OPERATIONS TOOK PLACE IN THE FOUR HEADWATERS. THE TOTAL NUMBER OF TRANSACTIONS WAS 13,366 (2017) AND 13,260 (2018) MOVEMENTS / MONTH. BASED ON THE GENERATED NOISE CURVES, THERE WERE NO SIGNIFICANT CHANGES AMONG THE SCENARIOS IN RELATION TO AERONAUTICAL NOISE IN THE AREAS SURROUNDING THE AIRPORT. HOWEVER, THERE WAS A SIGNIFICANT POPULATION EXPOSED TO AIRBORNE NOISE IN DNL'S 55 AND 60 (OUTSIDE THE RESTRICTIONS OF LAND USE AND OCCUPATION INDICATED IN RBAC 161) THAT REACH REGIONS OF TAGUATINGA, SAMAMBAIA, RIACHO FUNDO, SETOR DE MANSÕES DON BOSCO AND LAGO SUL. DESPITE BEING COMPATIBLE WITH THE RESIDENTIAL USE, THE AERONAUTICAL NOISE IN THESE REGIONS IS PERCEIVED BY THE RESIDENTS AND CAN GENERATE REACTIONS.

KEYWORD. AERONAUTICAL NOISE. SOUND ZONING. NOISE MAPS. ENVIRONMENTAL IMPACT.

REFERÊNCIAS

ABNT (1990) NBR 11.415: Ruído Aeronáutico. 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.

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>. Data de acesso: 18 de março de 2018.

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

Bonatto, 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.

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: 12 de julho de 2018.

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 Júnior, E. B. Quantificação do incômodo gerado pelo ruído aeronáutico por meio de modelos dose-resposta(2015). Tese de Doutorado. Tese de Doutorado– Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

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.

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.

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.

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/aaaim/organizations/envir_programs/mase/media/ApxH_NoiseAndItsEffectOnPeople_122805.pdf>. Data de acesso em: 14 novembro de 2017.

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.

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.

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> Data de acesso: 10 de dezembro de 2017.>

Girvin. R (2009) Aircraft noise-abatement and mitigation strategies. *Journal of Air Transport Management*, v. 15, p. 14 – 22.

GUEDES, Margarida; LEITE, Maria João; SEQUEIRA, Nuno. Diretrizes para elaboração de mapas de ruído. Agência Portuguesa do Ambiente, 2011.

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.

Heleno, 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).



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.

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.

Jones, K (2009). Aircraft Noise and Sleep Disturbance: A Review. Environmental Research and Consultancy Department (ERCD). UK. Report 0905. England.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

Rocha, R. e Slama, J (2008) Adequação do zoneamento urbano ao zoneamento sonoro dos aeroportos. VII SITRAER, p. 629-640 – Tr. 512.

SadrMK., Nassiri P, Hosseini M, Monavari Me 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.

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.

WHO (2009) World Health Organization. Night noise guidelines for Europe. W.H.O Regional Office for Europe. Copenhagen.

Patrícia dos Reis de Moraes é graduada em Engenharia Civil. Possui cursos na área de QiBuilder elétrico, hidrossanitário, AutoCAD e QGIS 2.18. Atualmente, exerce a função de estagiário na empresa Ecta Engenharia e pode ser contactada pelo email patricia.reis@sempreceub.com.

[Raphaella de Souza Serapião Amorim, é graduada em Engenharia Civil. Possui cursos na área de Revit, Eberick, Mcalc 3D, QGIS 2.18, QiBuilder elétrico, hidrossanitário, AutoCAD. Atualmente, exerce a função de estagiário na empresa Ecta Engenharia na elaboração de projetos Estruturais de aço, concreto armado, fundação, laudo de inspeção predial e laudo de sondagem e pode ser contactada pelo email raphaella.amorim@sempreceub.com.](#)

[O orientador, Edson Benício de Carvalho Júnior, é pesquisador e professor nos cursos de Engenharia Civil da Universidade Católica de Brasília \(UCB\) e do Centro Universitário de Brasília \(UniCEUB\). Trabalho com os seguintes temas: Transporte e Meio Ambiente; Monitoramento e controle de poluentes atmosféricos de fontes de transportes; Vibração; Simulação em Acústica Ambiental \(elaboração de mapas acústicos\); Desenvolvimento de Planos de Zoneamento de Ruído \(PZR e PEZR\) para Aeroportos; Monitoramento e Controle de Ruído Ambiente; Ruído Ambiente e Relações Dose-resposta. Entre 2013 e 2014 cursei doutorado sanduíche na Universidade de Calgary - Canadá.](#)

