

## **SIMULAÇÃO DE CURVAS ISOFÔNICAS PARA UM PLANO DE ZONEAMENTO DE RUÍDO DO AEROPORTO INTERNACIONAL EDUARDO GOMES, EM MANAUS, AMAZONAS**

**Clive Reis do Nascimento**

Mestre, Universidade Federal do Pará  
[clive.reis@gmail.com](mailto:clive.reis@gmail.com)

**Ronaldo Lopes Rodrigues Mendes**

Doutor, Universidade Federal do Pará  
[rmendes@ufpa.br](mailto:rmendes@ufpa.br)

**Dênio Oliveira**

Ph.D., Universidade Federal do Pará  
[denio@ufpa.br](mailto:denio@ufpa.br)

### **RESUMO**

O presente trabalho visa simular curvas isofônicas aeronáuticas para o Aeroporto Internacional de Manaus/Eduardo Gomes seguindo a metodologia determinada pelo RBAC Nº 161, assim como tecer comparações com as curvas isofônicas atualmente em vigor. O software utilizado na simulação foi o INM. Foi simulado um conjunto de cinco curvas, sendo elas as de: 85, 80, 75, 70, 65 dB(A), que se propagaram por uma área de 2.214,7 hectares sobre a cidade de Manaus. Atualmente há um conjunto de duas curvas em vigência, uma de 75 e outra de 65 dB(A) que abrangem 1.249,49 hectares. A quantidade de curvas em cada conjunto diverge devido a atualizações na legislação aeronáutica, que deu um novo cenário à problemática do ruído aeronáutico sobre as áreas no entorno dos aeroportos. O maior número delimita uma área de 1.074,75 hectares sobre a cidade de Manaus, onde as edificações necessitariam de tratamento acústico. Em trabalhos futuros seria interessante a realização de comparações de dados obtidos em estações de monitoramento de ruído das aeronaves que operam nesse aeroporto com os dados gerados pelo INM, assim como buscar conhecer como os habitantes abrangidos pelas curvas de ruído aeronáutico reagem a esse impacto ambiental.

**Palavras-Chave:** Ruído aeronáutico; INM; RBAC Nº 161; Curvas de ruído.

### **NOISE CURVES SIMULATION FOR A NOISE PLAN OF EDUARDO GOMES INTERNATIONAL AIRPORT, IN MANAUS, AMAZONAS**

### **ABSTRACT**

This paper aims to simulate aeronautical equal loudness curves for the Manaus International Airport / Eduardo Gomes following the methodology determined by RBAC Nº 161, As well as make comparisons with the equal loudness curves currently in effect. The software used in the simulation was the INM. A set of five curves were simulated, and those of them: 85, 80, 75, 70, 65 dB (A), which spread over an area of 2214.7 hectares of the city of Manaus. Currently there is a set of two curves in effect, one of 75 and another of 65 dB (A) covering 1249.49 hectares. The number of curves in each set differ due to updates in the aviation legislation, which gave a new scenario to the problem of aircraft noise on the areas surrounding airports. The largest number delimits an area of 1074.75 hectares of the city of Manaus, where buildings require acoustic treatment. In future works it would be interesting to conduct comparisons of data obtained from monitoring of noise from aircraft operating in this airport with the data generated by INM stations, as well as get to know the inhabitants covered by aircraft noise curves react to this environmental impact.

**Keywords:** Aircraft noise, INM; RBAC Nº 161; Noise curves.

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa apresentar uma simulação de curvas isofônicas para um zoneamento de ruído, utilizando como objeto de estudo o aeroporto Internacional de Manaus/Eduardo Gomes, adotando a metodologia do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil 161 (RBAC Nº 161). As curvas isofônicas, que compõem um Plano de Zoneamento de Ruído (PZR) de um aeroporto, serve de ferramenta no auxílio de tomadas de decisão para a gestão do uso e ocupação do solo no entorno do aeroporto, de forma que não sejam incrementadas possíveis incompatibilidades na área para com o ruído aeronáutico, que em situações extremas, podem inviabilizar o desenvolvimento operacional de um aeroporto.

A poluição sonora é uma perturbação ao meio ambiente presente na sociedade moderna, principalmente nas grandes áreas urbanas, onde esse tipo de fenômeno é mais estudado devido ao maior número de pessoas atingidas. A longa exposição a ruídos pode trazer uma série de malefícios à população, pois vários estudos já relacionaram o ruído à diminuição da qualidade de vida e ao surgimento ou agravamento de problemas de saúde como: dores de cabeça, hipertensão, fadigas, perturbações no sono atrapalhando, repouso e perda de concentração (FERNANDEZ *et al*, 2009; LEVAK *et al*, 2008; HYGGE *et al*, 2002; LEPORE *et al*, 2010; KIM *et al*, 2012; CLARK *et al*, 2013, STANSFELD *et al*, 2005).

A caracterização da poluição sonora se dá pelo ruído, que pode ser definido como um som indesejado no ambiente gerando incomodo às pessoas que o percebe. Essa definição é um tanto quanto subjetiva, pois um mesmo som que para uma pessoa possa ser desagradável, para outra pode ser interpretado como agradável. Do mesmo modo, sons diferentes, propagados com o mesmo nível de pressão podem ser interpretados de maneira diferentes (JANDL e ROKITANSKY, 2011; LEVAK *et al*, 2008; NUNES e SATTLER, 2004), como exemplo o som de uma cachoeira, e o acionamento de um motor a jato de uma aeronave, são percebidos de maneira diferente pelo ouvinte, apesar de poderem ter o mesmo nível de pressão sonora (NPS).

O ruído envolvendo a aviação pode ser classificado em: ruído aeroportuário, que é o ruído produzido pelas atividades rotineiras de um aeroporto, como tráfego e utilização de equipamentos de rampa e veículos de fiscalização na área operacional; e ruído aeronáutico, que é o produzido pelos motores e pela aerodinâmica das aeronaves. Enquanto que a percepção do ruído aeroportuário geralmente se restringe às áreas operacionais de um aeroporto, o ruído aeronáutico se propaga para além dessas áreas, principalmente durante os procedimentos de aproximação, aterrissagem e decolagem, gerando incomodo à população circunvizinha ao aeroporto. Ao redor mundo, vários aeroportos enfrentam limitações operacionais para pousos e decolagens em virtude de restrições originadas de conflitos com a população residente no entorno (HELENO e SLAMA, 2013; LIJESSEN *et al*, 2010; BENTES e SLAMA, 2011).

A problemática do ruído aeronáutico começou a ser trabalhada pela *International Civil Aviation Organization* (ICAO) durante a década dos anos 1940, quando a maioria das aeronaves era impulsionada por motores com hélice, porém já impactavam a população vizinha aos aeroportos. A preocupação aumentou com a disseminação dos motores a jato equipando as aeronaves durante a década dos anos 1960, aliada ao crescimento da aviação civil mundial, fato que justificaram os primeiros estudos referentes ao ruído aeronáutico ainda nessa década (BASTOS *et al*, 2007). Com relatado por Jandl e Rokitansky (2011) o ruído aeronáutico pode ser estudado de duas formas: com medição direta, obtendo o dado real do ruído; ou por meio de cálculos. A vantagem dos cálculos é a possibilidade de se analisar uma série de cenários futuros ou passados, sendo possível ainda representa-los como curvas isofônicas, também denominadas curvas de ruído, geradas por softwares através de modelos matemáticos que se utilizam dos perfis das aeronaves, dos aeroportos e das métricas de mensuração do ruído.

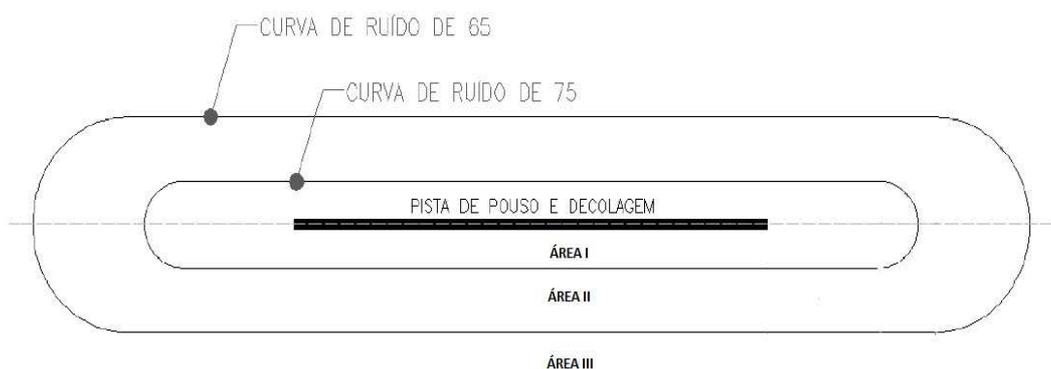
## CURVAS ISOFÔNICAS E PLANOS DE ZONEAMENTO DE RUÍDO AERONÁUTICO

Curva isofônica pode ser definida como uma linha traçada a partir da interpolação de pontos que apresentam o mesmo NPS. As curvas isofônicas são a base dos PZR (BRASIL, 2011; NUNES e SATTLER, 2004), sendo traçadas no entorno de uma Pista de Pouso e Decolagem (PPD) de um aeroporto, em virtude da movimentação de aeronaves. Conforme expõe o RBAC

Nº 161, os PZR são subdivididos em Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR), para aeroportos que possuem média anual de movimentação de aeronaves em três anos inferior a sete mil; e Plano Específico de Zoneamento de Ruído (PEZR), para os aeroportos, que possuem média anual em três anos superior a sete mil (BRASIL, 2011).

No Brasil, em 1984, o então Ministério da Aeronáutica, por meio da Portaria 629/GM5 aprovou e efetivou os PEZR de noventa aeroportos brasileiros, dentre eles o Aeroporto Internacional Eduardo Gomes, em Manaus, Amazonas. Tais planos foram regulamentados em 1987 pela portaria 1141/GM5. Esses PEZR possuíam duas curvas isofônicas, uma de 75 dB (A) e outra de 65 dB (A), as quais delimitavam respectivamente as áreas I, II e III dos PEZR, sendo que a área III era toda área além da curva de 65 dB (A), Figura 01.

**Figura 01.** Representação básica de um PZR<sup>2</sup>.



**Fonte:** Portaria 1141/GM5 (BRASIL, 1987)

Cada área do PEZR trazia uma série de restrições quanto ao uso e a ocupação do solo, sendo que na área I só eram permitidos: Produção e extração de recursos naturais, serviços públicos ou de utilidade pública (cemitérios, estação de tratamento de água e esgoto, reservatório de água e equipamentos urbanos equivalentes), atividades comerciais, recreação e lazer ao ar livre e transporte. Enquanto que na área II não eram permitidas as seguintes atividades: residencial, saúde, educacional, serviços públicos ou de utilidade pública (hotéis, templos religiosos, centros comunitários e equipamentos urbanos equivalentes) e cultural. Na área III não havia restrições. Cabia ao então Departamento de Aviação Civil (DAC) a gestão dos PZR dos aeroportos.

A portaria 1141/GM5 foi revogada pela portaria 256/CG5 do Ministério da Defesa em 2011, sendo substituída naquele mesmo ano pelo RBAC 161 cuja aplicabilidade é o estabelecimento de requisitos para a elaboração e aplicação para novos PZR. Esse RBAC foi publicado pela Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC).

Neste novo cenário, os operadores dos aeroportos são os responsáveis pela elaboração de seus PZR, sendo que o PEZR deverá ser composto pelas curvas de ruído de 85, 80, 75, 70 e 65 dB(A) seguindo metodologia descrita no próprio RBAC 161. Com o maior número de curvas de ruído, os novos PZR, quando comparado à portaria 1141/GM5, são também mais detalhistas com relação às atividades permitidas para o uso e a ocupação do solo em cada faixa de ruído.

### **MÉTRICA DAY NIGHT LEVEL (DNL) - NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE DIA E NOITE**

Conforme expõe Bistafa (2011), o DNL é uma métrica desenvolvida pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) para avaliação do ruído em comunidades, e também utilizada para mensurar o nível de exposição sonora de uma comunidade ao ruído aeronáutico.

Sendo calculada por meio da Equação (1), trata-se de uma métrica que expõe a média de NPS de um conjunto de eventos acústicos durante um período de 24 horas, sendo que para o

<sup>2</sup> Portaria Nº 629/GM5 – 1984.

período noturno, compreendido entre as 22 e 07 horas, há um acréscimo de 10 dB(A) a todos os eventos acústicos em análise. Tal penalização ocorre em virtude da maior sensibilidade das pessoas ao ruído nesse intervalo de tempo, quando a maioria está em repouso.

$$DNL = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{2600 \times 24} \left[ \int_7^{22} 10^{\frac{L_a(t)}{10}} dt + \int_{22}^7 10^{\frac{L_a(t)+10}{10}} dt \right] \right\} \quad (1)$$

No Brasil, a métrica adotada para o estudo do incômodo do ruído aeronáutico sobre a população do entorno dos aeroportos é o Índice Ponderado de Ruído - IPR, conforme define a NBR 12.859/1993, que é o mesmo cálculo do DNL.

## O AEROPORTO INTERNACIONAL DE MANAUS/EDUARDO GOMES - SBEG

Com uma área patrimonial de 14 mil hectares, o Aeroporto Internacional Eduardo Gomes (conforme denominação ICAO: SBEG), em Manaus, foi inaugurado em 1976 com uma pista de pouso e decolagem medindo 2.700 metros de comprimento por 45 metros de largura e com capacidade operacional para 1,8 mil de passageiros por ano. Naquela época, não havia áreas residenciais no bairro Tarumã, onde foi implantado o aeroporto, e nem na área que hoje é a zona norte de Manaus, conforme pode ser observado na Figura 02.

**Figura 02.** Início das obras de construção do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes<sup>3</sup>.



Fonte: Acervo Infraero.

Atualmente, o SBEG possui dois terminais de passageiros e três terminais de carga. No ano de 2008, de acordo com os registros de movimento operacional da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), expostos no Quadro 01, passaram pelos dois terminais mais de dois milhões de passageiros e houve mais de 44 mil procedimentos de pouso e decolagem, como discriminado no Quadro 02.

**Quadro 01.** Demonstrativo do movimento de passageiros entre 2008 e 2012 no aeroporto internacional Eduardo Gomes, em Manaus/AM.

Ano	Regular		Não Regular			Total
	Doméstico	Internacional	Doméstico	Internacional	Executiva	
2008	1.756.942	120.311	134.978	3.823	5.614	2.021.668
2009	2.022.597	143.762	123.062	6.567	4.034	2.300.362
2010	2.390.830	149.166	131.673	9.234	7.770	2.688.623
2011	2.692.502	153.806	149.599	6.286	17.233	3.019.426
2012	2.788.126	183.704	130.692	14.554	14.074	3.131.150
2013	2.861.166	215.911	131.578	6.495	6.851	3.222.001

Fonte: Infraero (2013).

<sup>3</sup> Foto tirada em 1971 durante o desmatamento da área para a construção do aeroporto em área de floresta e sem ocupação urbana nas proximidades.

**Quadro 02.** Demonstrativo do movimento de aeronaves entre 2008 e 2012 no aeroporto internacional Eduardo Gomes, em Manaus/AM.

Ano	Regular		Não Regular			Total
	Doméstico	Internacional	Doméstico	Internacional	Executiva	
2008	21.696	3.336	13.143	1.620	4.755	44.823
2009	24.550	3.170	11.010	1.573	5.549	45.852
2010	26.972	1.685	13.287	2.691	7.870	52.505
2011	31.535	1.722	12.699	2.189	8.153	56.298
2012	32.044	2.277	11.464	2.181	9.609	57.575
2013	36.330	4.622	12.004	2.185	8.952	64.093

Fonte: Infraero (2013)

Em 2013, esse número subiu para mais de 3,2 milhões de passageiros, representando um crescimento de 59,37% em relação a 2008; e mais de 64 mil pousos e decolagens, um crescimento de 49,99% em relação a 2008. Em 2014 está prevista a conclusão das obras de reforma e ampliação do terminal de passageiros 01, que a capacidade ampliada para 5 milhões de passageiros por ano.

Porém, hoje a realidade da ocupação do solo no entorno do aeroporto é bem diferente da década de 70. Conforme exposto por Nazareth *et al.* (2011), com a implantação da zona franca no final da década de 1960 pelo governo militar, como ação de políticas para ocupação e desenvolvimento da região, a cidade de Manaus passou a ser a grande propulsora da economia do Estado do Amazonas, e com um acentuado crescimento populacional, passando de cerca 170 mil habitantes em 1960 para 1,8 milhões em 2010. Na Figura 03 é possível identificar populacional no entorno do aeroporto.

**Figura 03.** Aeroporto Internacional Eduardo Gomes, pista de pouso e terminais<sup>4</sup>.



Fonte: Acervo Infraero.

Dentre as atuais zonas administrativas do município de Manaus o SBEG está situado na zona Oeste, no bairro Tarumã, o qual ainda mantém grandes áreas preservadas. No entanto, conforme Nogueira *et al* (2007), esse bairro está destinado a loteamentos habitacionais de alto custo financeiro, além da existência de ocupações irregulares.

Além da zona Oeste, devido o sentido de sua PPD, as aeronaves que decolam e pousam no Aeroporto Eduardo Gomes propagam ruído sobre a zona Norte de Manaus, que segundo Nogueira *et al* (2007), é a zona para onde está se concentrando o crescimento do espaço urbano do município, devido às demais zonas estarem consolidadas, no que diz respeito aos respectivos espaços urbanos em toda suas extensões (Figura 04).

Com avanço e consolidação da área urbana ao redor do aeroporto, o aumento do número de pousos e decolagens, e da mudança na legislação sobre o zoneamento de ruído aeronáutico para os aeroportos, surge a necessidade simular novas curvas isofônicas para um novo PEZR para o SBEG, o qual desde 2011 é o mais tem operado pousos e decolagens na região norte

<sup>4</sup> Foto tirada em 2010 do mesmo ângulo da Figura 02. Mostra o aeroporto Eduardo Gomes e a ocupação urbana ao fundo, no entanto, voo realizado em dia de baixa visibilidade.

do País, conforme dados operacionais da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO (2012). Além disso, também foi objetivado nesse estudo a realização de comparações entre as curvas simuladas com as do atual PERZ desse aeroporto, em vigor desde 1984, o qual está desatualizado em virtude da atual legislação.

**Figura 04.** Localização do sítio aeroportuário Eduardo Gomes em relação às zonas oeste e norte de Manaus.



Este artigo está assim subdividido: Na Seção 2, será delineado o procedimento metodológico para o alcance dos objetivos definidos; na Seção 3 são apresentadas e discutidas as curvas isofônicas simuladas para o SBEG e as comparações com as curvas isofônicas do atual PEZR desse aeroporto. Ao final, as conclusões são apresentadas.

## DELINEAMENTO METODOLÓGICO

Para simular as curvas isofônicas foi utilizada a metodologia descrita no RBAC Nº 161, item 161.31, o qual determina que a métrica a ser utilizada é a DNL para as curvas de ruído de 85, 80, 75, 70, 65 dB (A), as quais são definidas no 161.13 deste mesmo regulamento.

O software utilizado para gerar as curvas isofônicas foi o *Integrated Noise Model* (INM), versão 7.0d, desenvolvido pelo *Federal Aviation Administration* (FAA). O INM é um modelo computacional amplamente utilizado nos estudos de ruído aeronáutico para gerar curvas isofônicas para aeroportos.

Esse *software* permite a análise do ruído aeronáutico para várias situações em um aeroporto, dentre elas: a simulação do ruído resultante de uma nova PPD a ser construída, ou a ampliação de uma já existente; mudanças no *mix* de aeronaves que operam no aeroporto; avaliação de novas rotas ou procedimentos de pousos e decolagens.

Conforme FAA (2008), o desenvolvimento do INM tem como base os seguintes documentos para definição de seu modelo matemático:

- SAE-AIR-1845 – Procedimento para cálculo de ruído aeronáutico nas proximidades de aeroportos;
- SAE-AIR-5662 - Método de previsão de atenuação lateral do ruído aeronáutico;
- SAE-ARP-866A - Valores padrão de absorção atmosférica como função da temperatura e umidade;
- ICAO Circular 205 - Método Recomendado para elaboração computacional de curvas de ruído aplicada a aeroportos.

O INM possui dois bancos de dados: um com os perfis de mais de duzentas aeronaves civis e militares, incluindo informações detalhadas sobre os NPS produzidos por cada uma; e outro com algoritmos de dados espectrais de ruído e absorção sonora atmosférica em função da

temperatura e umidade. Os dois atuam em conjunto para elaboração das curvas isofônicas e estimativa dos NPS na área abrangida pelo estudo.

Para tanto, é necessário inserir no INM dados do movimento operacional, do perfil do aeroporto em análise e do NPS das curvas isofônicas a serem geradas, tais como:

- Movimento Operacional: modelos de aeronaves que operam no aeroporto, quantidade de pousos e decolagem diurnos e noturnos de cada modelo de aeronave no espaço de tempo adotado e trajetórias de pouso e decolagem de cada voo.
- Perfil do Aeroporto: Comprimento da PPD e as coordenadas geográficas de cada cabeceira, altitude do aeroporto, temperatura de referência, trajetórias de pousos e decolagens, coordenadas geográfica do aeroporto.
- Curvas de ruído: Definição dos níveis de pressão sonora a serem representados como curvas de ruído, assim como a métrica de ruído a ser utilizada.

Ao término da inserção dos dados necessários, o INM os processa e gera como resultado final os valores dos NPS em cada ponto da área em análise; e também a representação gráfica das curvas isofônicas, que reúne todos os pontos que possuem o mesmo NPS, as quais podem ser encorpadas a mapas para a avaliação da compatibilidade do uso do solo à luz da legislação aplicada.

A representação do fluxograma de entrada e processamento de dados e saída de informações é demonstrada na figura 05.



## COLETA E TRATAMENTO DE DADOS OPERACIONAIS E INFORMAÇÕES REFERENCIAIS DO AEROPORTO

Para subsidiar a elaboração das curvas de ruído por meio do INM foram utilizadas as seguintes informações:

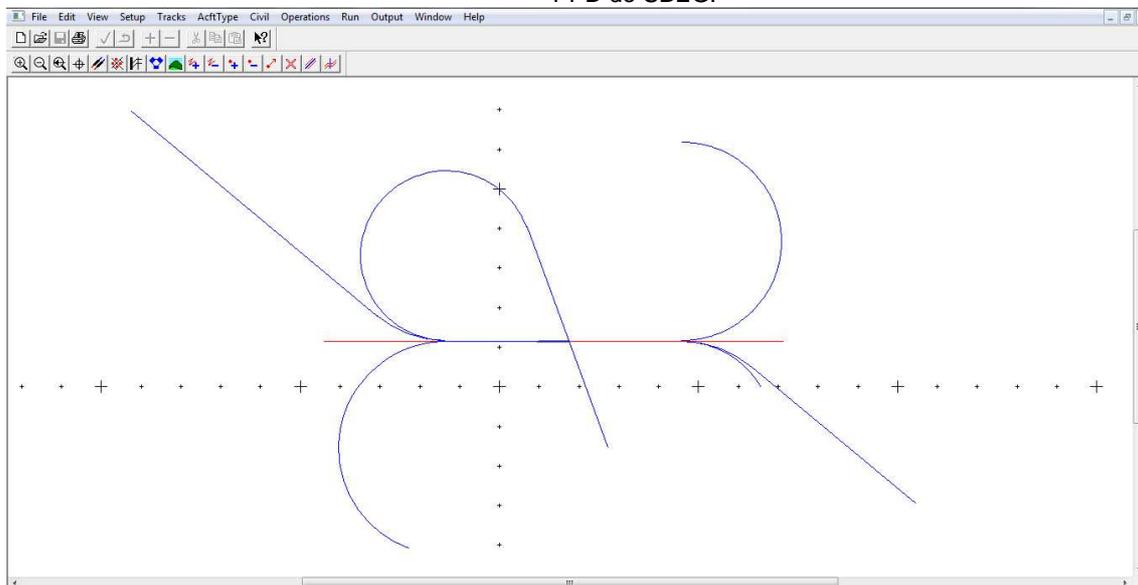
- Do aeroporto: coordenadas geográficas de referência, coordenadas geográficas das cabeceiras da PPD, comprimento e largura da PPD, temperatura, pressão atmosférica e velocidade do vento de referência. As informações mencionadas foram disponibilizadas pela INFRAERO e pela Carta Aeronáutica ADC-SBEG de 31/05/2012.
- Do movimento operacional no aeroporto: Registros dos pousos e decolagens realizados por aeronaves a jato que operaram no SBEG no período de 01/10/2011 a 01/10/2012, dados fornecidos pela INFRAERO. As trajetórias utilizadas nos pousos e decolagens de cada voo.

As trajetórias foram obtidas nas Cartas Aeronáuticas SID – SBEG (carta de saída normalizada – voo por instrumento) – SBEG de 17/11/2011. As cartas aeronáuticas são produzidas pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA).

As cabeceiras da pista de pouso do SBEG são identificadas como 10 e 28 respectivamente. Tanto no sentido 10 – 28 quanto no sentido 28 – 10, foram inseridas no INM três trajetórias de decolagem e uma de pouso, conforme expõe a Figura 06. Cada aeronave adota uma trajetória

de acordo com o destino. O *mix* de aeronaves a jato que operaram pousos e decolagens no aeroporto compõe 71 modelos distintos, de um totalizando 51.200 operações.

**Figura 06.** Tela do INM demonstrando graficamente as rotas de decolagem (azul) e pouso (vermelho) na PPD do SBEG.



Os registros dos pousos e decolagens no período supracitado foram tratados em planilha eletrônica, por meio de filtração dos modelos das aeronaves equipadas com motores *turbofan*, agrupando os voos por modelo de aeronave e quantificando o número de operações diurno e noturno.

Após a inserção dos dados no INM, foi definida a métrica DNL para gerar as curvas isofônicas de 85, 80, 75, 70 e 65 dB(A) conforme determina o RBAC N° 161. Ao selecionarmos a métrica DNL, o INM automaticamente utiliza a Equação (1) para o processamento dos NPS acordo com o turno (diurno/noturno) de cada voo.

O INM foi manipulado conforme os procedimentos descritos no *Technical Manual* (FAA, 2008).

### **TRATAMENTO E ANÁLISE DAS CURVAS ISOFÔNICAS SIMULADAS E AS DO ATUAL PEZR**

As curvas isofônicas simuladas foram exportadas em formato *dxf* como *layer* para o software *Autocad*, versão 2014, onde foram projetadas sobre mapas temáticos georreferenciados, contendo bairros da cidade Manaus. As curvas isofônicas do atual PEZR foram disponibilizadas em formato “*dwg*” pela INFRAERO, as quais também foram projetadas sobre mapas temáticos de Manaus.

Os parâmetros de comparações entre as curvas isofônicas simuladas no INM e as do atual PEZR foram a conformação e os dimensionamentos, com análise das áreas da cidade de Manaus abrangidas por ambas e diferenças na gestão de uso e ocupação do solo nessas áreas, considerando o RBAC N° 161. Conforme expõe Gonçalves (2013), ao contrário do RBAC N° 161, a Portaria 1141/GM5 expunha sobre a realização dos PZR, mas não abordava a metodologia a ser utilizada. A NBR 12.859/1993, a qual trata sobre a avaliação do impacto sonoro gerado por operações aeronáuticas, possui um item sobre a metodologia para geração de curvas de ruído. Entretanto, apenas menciona que essas curvas devem ser determinadas a partir de um gradeamento na região do aeroporto, identificando os pontos com o mesmo IPR, que equivale ao mesmo DNL. A partir desses pontos, obtêm-se as curvas de mesmo NPS.

Assim, diante da ausência de detalhamento, torna-se inviável uma comparação metodológica da elaboração das curvas de ruído atualmente em vigor e às apresentadas neste trabalho, as quais foram elaboradas conforme o RBAC N° 161. As comparações entre ambas atêm-se às dimensões e conformações.

## RESULTADOS

### CURVAS ISOFÔNICAS ATUALMENTE EM VIGOR: ÁREA ABRANGIDA E CONFORMAÇÃO

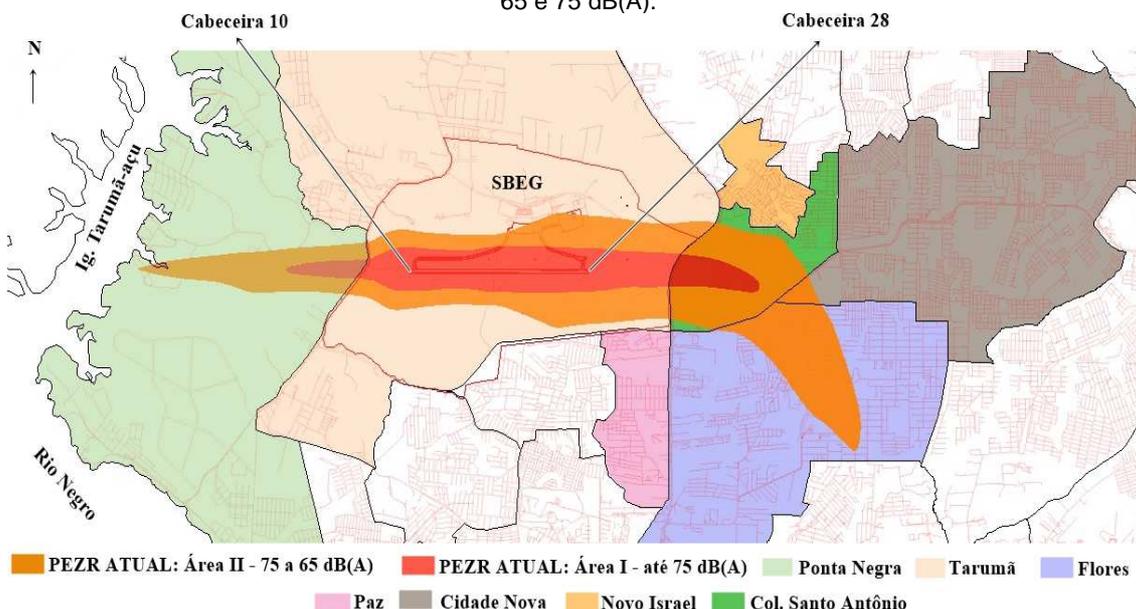
As curvas isofônicas de 75 e 65 dB(A) do atual PEZR do SBEG, que delimitam as áreas I, II e III<sup>5</sup> respectivamente, abrangem uma área total de 1.249,49 hectares sobre a cidade de Manaus. No entanto, desse total, 634,04 hectares é área patrimonial do aeroporto situado no bairro Tarumã, estando o restante dividido em mais quatro bairros, conforme demonstrado no quadro 03.

**Quadro 03.** Dimensionamento das áreas I e II, abrangidas de curvas isofônicas de 75 e 65 dB(A) do PEZR atual do SBEG.

PERZ ATUAL	ABRANGÊNCIA POR BAIRRO (Hectare)					TOTAL
	BAIRROS					
	FLORES	PONTA NEGRA	CIDADE NOVA	COL SANTO ANTONIO	TARUMÃ (SBEG)	
ÁREA I	***	24,40	***	51,98	282,80	359,18
ÁREA II	204,33	142,42	15,52	176,80	351,24	890,31

A conformação das áreas I e II, que compõem o atual PEZR do SBEG, possui uma inclinação de 45° à direita no sentido 10-28 das cabeceiras da PPD. Como não houve acesso à metodologia utilizada na elaboração dessas curvas, é inviável expor com precisão os motivos pelos quais elas possuem essa conformação. Porém, analisando-as, deduz-se que foi considerada uma trajetória com essa conformação logo após a decolagem do aeroporto, como expõe a figura 07. Fato que não ocorre na realidade atual.

**Figura 07.** Conformação das áreas I e II do atual PEZR do SBEG, delimitadas pelas curvas isofônicas de 65 e 75 dB(A).



### CURVAS ISOFÔNICAS SIMULADAS CONFORME O RBAC Nº 161: ÁREA ABRANGIDA E CONFORMAÇÃO

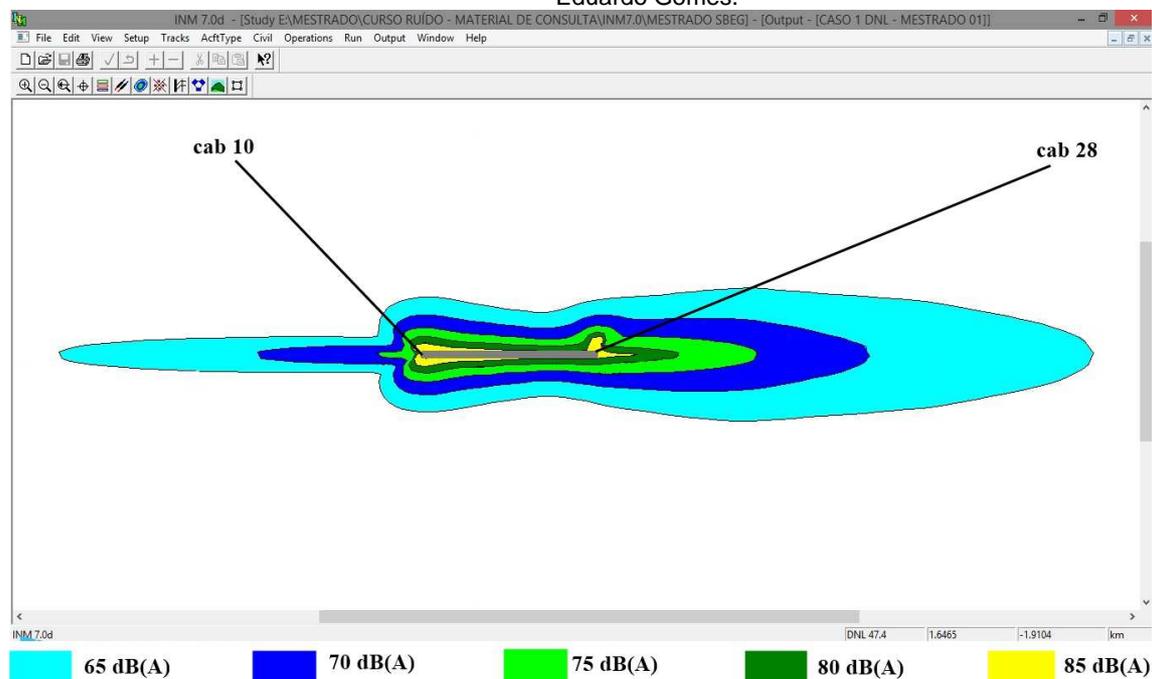
As cinco curvas simuladas no INM têm uma conformação longitudinal ao longo da PPD. O que significa dizer que as aeronaves só mudam de direção em suas trajetórias após o limite de 65 dB(A) de propagação sobre o solo, o que pode ser observado na Figura 08.

Em virtude da maioria dos procedimentos de decolagem, assim como os de pousos, ocorrer no sentido das cabeceiras 10 – 28, cujos motivos serão expostos mais adiante, as curvas têm um

<sup>5</sup> A partir da linha de 65 dB(A) em diante, constitui-se a área III, que, de acordo com a revogada Portaria 1141/GM5, não havia restrições para o uso e ocupação do solo em relação ao ruído aeronáutico.

formato de cardioide na cabeceira 10, que é onde ocorre o início da propulsão dos motores das aeronaves para a decolagem. As curvas se expandem para as laterais e para frente, depois da cabeceira 28, devido a altitude das aeronaves ao passarem pela linha mediana desse trecho. A extensão das curvas de 65 e 70 dB(A) existentes no sentido da cabeceira 10, é um perfil típico de procedimentos de pouso.

**Figura 08.** Representação das curvas isofônicas nas coordenadas geográficas do aeroporto internacional Eduardo Gomes.

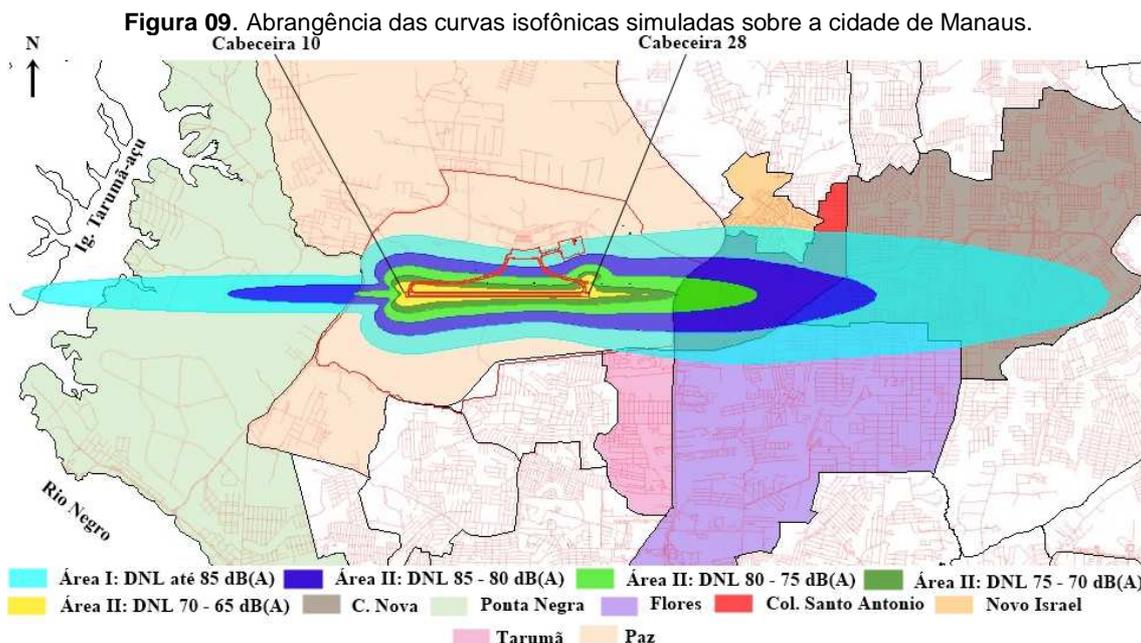


A projeção lateral da curva de 85 dB(A), e que se reflete nas demais, ocorre em virtude de teste de motores de aeronaves que são realizadas naquele ponto, próximo à cabeceira 28.

As dimensões das curvas isofônicas simuladas nesse trabalho abrangem uma área total de 2.214,7 hectares sobre a cidade de Manaus, no entanto, destes, 1.104,43 hectares condizem à própria área patrimonial do aeroporto. Das áreas I, II, III, IV e V, delimitadas em respectivamente pelas curvas de 85, 80, 75, 70 e 65 dB(A), apenas as áreas I e II não ultrapassam os limites do sítio aeroportuário perfazendo somente áreas exclusivamente operacionais do aeroporto, conforme expõe a Figura 09, não havendo portanto, população externa afetada pelas duas primeiras áreas, que as mais ruidosas. Os bairros abrangidos são: Flores, Ponta Negra, Cidades Nova, Colônia Santo Antônio, Novo Israel e Da Paz, cujas dimensões afetadas pelas curvas ruído são demonstradas no quadro 04.

**Quadro 04.** Dimensionamento das áreas abrangidas pelas curvas isofônicas, na métrica DNL, simuladas para o SBEG.

ÁREAS	ABRANGÊNCIA POR BAIRRO (Hectare)						
	BAIRROS						
	FLORES	PONTA NEGRA	CIDADE NOVA	COL SANTO ANTÔNIO	NOVO ISRAEL	DA PAZ	Tarumã (Sítio Aeroportuário)
ÁREA I	***	***	***	***	***	***	52,89
ÁREA II	***	***	***	***	***	***	71,95
ÁREA III	***	***	***	35,52	***	***	183,64
ÁREA IV	***	36,76	23,87	157,56	***	***	274,37
ÁREA V	130,03	174,32	403,60	114,86	30,48	3,27	521,58



Como já exposto, pode haver divergências entre os níveis de pressão sonora estimados pelo INM e medições realizadas em campo por meio de decibelímetros. Assim, apesar desse software ser amplamente utilizado para gerar curvas de ruído aeronáutico, e essa metodologia ser determinada pelo RBAC Nº 161, seria interessante, em trabalhos futuros, a realização de monitoramento do ruído aeronáutico das aeronaves que operam no SBEG e a comparação dos dados obtidos com os gerados pelo INM.

Na década de 1970 quando da construção do SBEG, não existiam os bairros que hoje compõem a zona norte de Manaus, dentre eles, os mencionados na tabela 03. No entanto, durante a década de 1980, além do bairro Cidade Nova, a Zona Norte de Manaus viu surgir inúmeras invasões, tais como: Novo Israel, Santa Etelvina e Terra Nova; e na década de 1990: Colônia Terra Nova e Colônia Santo Antônio. Atualmente todos considerados bairros.

Com relação à zona oeste, a qual está no sentido 28 – 10 da PPD do aeroporto, é a que possui maior extensão territorial, e possui os bairros Ponta Negra, Tarumã e Tarumã-açu. Esses dois últimos, apesar de serem também os de maior extensão, se mantêm ainda grandes áreas não urbanizadas, com presença florestal. Porém, conforme Nogueira *et al* (2007), os três estão destinados a loteamentos habitacionais de alto custo financeiro, mas também possuem áreas com ocupações irregulares.

O bairro Colônia Santo Antônio, é um dos mais afetados pelo ruído aeronáutico em virtude de estar na direção da PPD no sentido 10 – 28, o qual é o predominante das decolagens das aeronaves. Tanto no PEZR atual quanto nas áreas propostas nesse trabalho. Como já mencionado anteriormente, o bairro Colônia Santo Antônio é um dos que surgiu em meados dos anos 90, mais de 20 anos depois da construção do aeroporto. O mesmo processo ocorre na área que hoje é o bairro Novo Israel.

Em termos de restrições de uso e ocupação do solo, nas áreas abrangidas pelas curvas simuladas, na faixa de 85 a 75 dB (A), de acordo com o RBAC Nº 161, são áreas muito restritas, sendo permitidas somente atividades industriais, de mineração e equivalentes, e também, instalações urbanas como as de transporte. Na faixa de 75 a 65 dB (A), passou-se a ser permitido uma grande variedade de usos do solo, que vão desde às edificações destinadas à saúde e templos religiosos, até às residências, desde que possuam tratamento acústico para reduzir no mínimo 25 dB(A) do ruído exterior. Enquanto que a partir dos 65 dB(A), não há restrições em relação ao ruído aeronáutico.

É durante os procedimentos de decolagem que há percepção de maior intensidade de ruído propagado pelos motores das aeronaves, o que resulta em uma área de propagação de ruído

sobre o solo superior quando comparado aos procedimentos de aproximação e pouso. E, no caso do SBEG, em virtude da cabeceira 10 da PPD ser a predominante nos procedimentos de pouso e decolagem (sentido 10 – 28), representando 99,46 % das operações, as aeronaves decolam em direção da área urbana da cidade. Tal procedimento ocorre em virtude do sentido predominante dos ventos nesse aeródromo que é no sentido da cabeceira 28 para a cabeceira 10. Por motivos de segurança de voo, aeronaves não pousam nem decolam a favor do vento. Assim, é inviável nesse aeroporto, uma possível inversão no uso predominante das cabeceiras da PPD, visando à propagação dos ruídos sobre o Igarapé Tarumã-açu e posteriormente à zona rural de Manaus, com predominância florestal, durante a decolagem das aeronaves.

Considerando as curvas isofônicas simuladas verifica-se que a maioria das restrições aplicadas aos bairros seria as correspondentes às áreas IV e V, correspondentes às áreas de 75 a 65 dB(A), com tratamento acústico nas edificações, o que requereria um grande esforço do poder público, juntamente com a população, para cumprir o que determina o RBAC N° 161.

Assim, sugere-se que em trabalhos futuros seja averiguada como a população abrangida pelas curvas de ruído responde ao ruído aeronáutico, para que sejam traçadas estratégias para a melhor adequação dessas áreas à legislação aeronáutica referente ao ruído. Pois está exposta a inviabilidade de inversão do sentido predominante das decolagens a partir do SBEG, e o tratamento acústico de todas as edificações abrangidas pelas áreas de 75 a 65 dB(A) representaria um demasiado esforço.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conjunto das curvas isofônicas atuais em relação ao conjunto que foi simulado e discutido neste trabalho, as principais diferenças identificadas foram: a quantidade de curvas de ruídos, que de duas passaram para cinco curvas, sendo a primeira de 85 dB e a última 65 dB; a conformação dos dois conjuntos em relação à PPD, sendo que as aqui propostas têm uma conformação longilínea e abrange uma área 43% superior a do conjunto das atuais curvas.

Ainda diferenciando ambos os conjuntos, as curvas de ruído propostas abrangem áreas superiores dos bairros Cidade Nova e Colônia Santo Antônio, além de abranger parte dos bairros Novo Israel, o que não ocorre com as curvas atuais, assim como as curvas propostas abrangem uma área menor do bairro Flores.

Como sugestão para estudos futuros pode-se realizar aferições do ruído aeronáutico nas áreas sobrevoadas pelas aeronaves que operam no SBEG. Em complemento, fazer a comparação com os resultados com os gerados pelo INM. Também seria interessante buscar informações sobre como a população residente nas áreas delimitadas pelas curvas de ruído propostas neste trabalho, convive com impacto ambiental. O mesmo tipo de estudo também poderia ser realizado nas escolas situadas nessas áreas.

### REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12859**: Avaliação do impacto sonoro gerado por operações aeronáuticas. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- BASTOS, A.; DIAS, D. Ruídos e emissões no transporte aéreo. **Journal of Transport Literature**, v. 1, n. 1, 2007.
- BENTES, F.M.; SLAMA, J. Sensitivity analysis of airport noise using computer simulation. DOI: 10.5028/JATM. 2011.03033011. **Journal of aerospace technology and management**, v. 3, n. 3, p. 295-300, 2011.
- BISTAFA, S.R. **Acústica Aplicada do Controle de Ruído**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- BRASIL. Agência Nacional de Aviação Civil. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil – RBAC 161**: Planos de zoneamento de ruído de aeródromos. Publicado no Diário Oficial da União de 29 de setembro de 2011.
- BRASIL. Ministério de Estado da Aeronáutica. **Portaria 1141/GM5**. Publicado no Diário Oficial da União de 08 de dezembro de 1987.

BRASIL. Ministério de estado da aeronáutica. **Portaria 629/GM5**. Publicado no Diário Oficial da União de 02 de fevereiro de 1984.

BRASIL. Ministério de Estado da Defesa. **Portaria 256/GC5**. Publicado no Diário Oficial da União de 13 de maio de 2011.

CLARK, C.; HEAD, J.; STANSFELD, S. Longitudinal effects of aircraft noise exposure on children's health and cognition: A six-year follow-up of the UK RANCH cohort. **Journal of Environmental Psychology**, v. 35, p. 1–9, 2013.

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo. **Carta de Saída Normalizada - SID. Voo por instrumento. SBEG**. 17/11/2011, 2011. Disponível em <www.aisweb.aer.mil.br/?i=cartas>. Acesso em 10 de novembro de 2013.

FERNANDEZ, L.; LUIS, A.; POGREBNIYAK, O. Noise monitoring of aircrafts taking off based on neural model. In: 14<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE EMERGING TECHNOLOGIES & FACTORY AUTOMATION, **Anais...** Palma de Mallorca, Spain, 2009. p. 1-8.

GONÇALVES, L.R.G.C. **Análise do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil N°161 com Aplicação no Caso do Aeroporto de Curitiba**. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

HELENO, T.; SLAMA, J. Fuzzy Modeling of Annoyance Caused by Aircraft Noise Using LAeqD and LAeqN MetricsD and LAeqN metrics. **Journal of Aerospace Technology and Management**, v. 5, n. 1, p. 103-110, 2013.

HYGGE, S.; EVANS, G.; BULLINGER, M. A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in schoolchildren. **Psychological Science**, v. 13, n. 5, p. 469-474, 2012.

INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. **Anuário Estatístico Operacional 2012**. Disponível em <www.infraero.gov.br>. Acesso em 22 de agosto de 2013.

JANDL, B.; ROKITANSKY, C. Prediction of noise exposure levels using simulated flight trajectories. In: 30th Digital Avionics Systems Conference (DASC), **Anais...** Seattle, 2011. p. 1-16.

KIM, M.; CHANG, S.; SEONG, J.; HOLT, J.; PARK, T.; KO, J.; CROFT, J. Road Traffic noise: annoyance, sleep disturbance, and public health implications. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 43, n. 4, p. 353-360, 2012.

LEPORE, S.; SHEJWAL, B.; KIM, B.; EVANS G. Associations between chronic community noise exposure and blood pressure at rest and during acute noise and non-noise stressors among urban school children in India. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 7, n. 9, p. 3457-3466, 2010.

LEVAK, K.; HORVAT, M.; DOMITROVIC, H. Effects of noise on humans. In: 50th International Symposium, **Anais...** Zadar, Croatia, 2008. p. 333-336.

LIJESSEN, M.; STRAATEN, W.; DEKKERS, J.; ELK, R.; BLOKDIJK, J. How much noise reduction at airports? **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 15, n. 1, p. 51-59. 2010.

NAZARETH, T.; BRASIL, M.; TEIXEIRA, P. MANAUS: Crescimento populacional e migrações nos anos 90. **Revista paranaense de desenvolvimento**, Curitiba, n.121, p.201-217, jul./dez. 2011.

NOGUEIRA, A.; SANSON, F.; PESSOA, K. A expansão urbana e demográfica da cidade de Manaus e seus impactos ambientais. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 5427-5434.

NUNES, M.; SATTTLER, M. Percepção do ruído aeronáutico em escolas da zona I do PEZR do Aeroporto Internacional Salgado Filho. **Engevista**, v.6, n.3, p. 5-24, dezembro, 2004.

STANSFELD, S.; BERGLUND B.; CLARK, C.; LOPEZ-BARRIO, I.; OHRSTRONM, E.; HAINES, M.; HYGGE, J.; KAMP, I.; BERRY, B. Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. **The Lancet**, p. 1942-49. 2005.

USA - United States of America; FAA - Federal Aviation Administration. **Integrated Noise Model (INM) Version 7.0 Technical Manual**. Washington: U.S. Department of Transportation, 2008.