

## **FERRAMENTAS DE APOIO PARA A APLICAÇÃO DA ABORDAGEM EQUILIBRADA EM AEROPORTOS BRASILEIROS**

**Luiz André de Carvalho, ladca@yahoo.com.br<sup>1</sup>**  
**Tarcilene Aparecida Heleno, tarcileneheleno@yahoo.com.br<sup>1</sup>**  
**Jules Ghislain Slama, juleslslama@yahoo.com.br<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>PEM/COPPE/UFRJ, Centro de Tecnologia - Bloco G - Sala 204 - Cidade Universitária - RJ - Brasil

**Resumo:** *Este trabalho apresenta três ferramentas que podem ser implementadas no controle do ruído aeroportuário de acordo com a Abordagem Equilibrada, são elas: Indicador de Desbalanceamento Sonoro (IDS), Coeficientes de Sensibilidade e Amplitude Acústica. O IDS é um valor indicativo que representa o quanto o aeroporto está desbalanceado em relação à condição ideal. A ferramenta IDS tem como objetivo ajudar a identificar aeroportos que necessitam priorizar ações de mitigação de ruído aeronáutico. As análises de sensibilidade aplicadas ao controle de ruído aeroportuário são baseadas em estudos comparativos, entre resultados obtidos com simulações acústicas de cenários alternativos e o cenário de referência, tendo como critério de seleção, a taxa de impacto do ruído na população. Este trabalho apresenta os Coeficientes de Sensibilidade como ferramenta de apoio nas decisões de processos de Análise de Sensibilidade. A amplitude acústica é definida como a diferença entre os níveis sonoros diurnos e noturnos de cada aeroporto, sendo determinada a partir da relação entre as métricas LAeq e SEL. Três etapas foram desenvolvidas, são elas: escolha dos aeroportos, identificação dos modelos de aeronaves mais relevantes no desconforto do ruído e seleção e avaliação das restrições operacionais a serem adotadas ao controle de ruído aeroportuário. Na primeira etapa, foi utilizada a ferramenta IDS. A segunda etapa tem como objetivo selecionar os grupos de aeronaves que devem ser sujeitos às mudanças de prioridade ou restrições operacionais, para isto, foram utilizados os Coeficientes de Sensibilidade e na terceira, utilizou-se a ferramenta Amplitude Acústica.*

**Palavra chave:** *Abordagem Equilibrada, Ferramentas, Coeficientes de Sensibilidade.*

### **1. INTRODUÇÃO**

O ruído de aeronaves é um dos principais impactos ambientais que resultam da operação de aeroportos. Uma vez que ele é um impacto complexo, exigem-se grandes investimentos para tratá-los e os resultados aparecem depois de alguns anos.

Neste sentido, o presente trabalho propõe as seguintes ferramentas: o Indicador de Desbalanceamento Sonoro (IDS), que é um valor indicador representativo de quanto um aeroporto está desbalanceado em relação a sua condição ideal, ele é baseado numa versão do Indicador Equivalente para Impacto de Ruído de Aeronaves, que foi publicado em 2006 por Valin; a Análise de Sensibilidade, como ferramenta de apoio na identificação do problema acústico de aeroportos situados em áreas urbanas e na seleção de alternativas para a redução do impacto ambiental sonoro que atinge populações residentes no entorno de aeroportos e a Amplitude Acústica que é utilizada para avaliar a influência dos movimentos noturnos nos aeroportos.

Todas as ferramentas são fundamentadas nos conceitos da Abordagem Equilibrada, que se baseiam na integralização de todas as políticas de mitigação de ruído aeronáutico adotadas em vários países em 4 conceitos básicos:

- Atenuação do ruído na fonte (aeronaves mais silenciosas);
- Planejamento e gestão do uso do solo no entorno dos aeroportos;
- Procedimentos operacionais;
- Restrições operacionais.

Para exemplificar a utilização das ferramentas propostas de apoio na identificação de problemas acústicos foram escolhidos os aeroportos de Congonhas e Recife, como aeroportos representativos das regiões aonde eles se localizam, sudeste e nordeste.

É de salientar que os resultados são apresentados em termos de qualidade do ambiente sonoro, a serem estabelecidos como metas para a região do aeroporto. Neste trabalho serão citadas formas de mitigar este ruído, minimizando os prejuízos sem comprometer o seu funcionamento, diminuindo o incômodo das pessoas expostas a ele.

## 2. METODOLOGIA

Para aplicar a metodologia, este trabalho considerou o banco de dados da Infraero de 2005 (Valim et.al., 2007). Do Relatório de 2005 para o mês operacional mais ocupado, um movimento médio para o dia foi calculado para cada sítio.

O relatório tem informações técnicas como: operações diárias de aeronaves, a identificação dos tipos de aeronaves, tempo de decolagem, o tempo de aterrissagem, entre outros. Do relatório dos aeroportos escolhidos, a seguinte análise foi feita:

- Cálculo da média dos movimentos para 24 horas;
- Cálculo do número de movimentos diurnos e noturnos;
- Classificação de aeronaves como Capítulo 2 (mais ruidosas) ou 3 – baseado na ICAO (Órgão de Aviação Civil Internacional);
- Cálculo dos movimentos totais de aeronaves pela sua classificação;

Um fator relevante para a implementação das ferramentas propostas são as relações entre os períodos noturnos e diurnos, uma vez que tais parâmetros (tipos de aeronaves e períodos de operação) são importantes para estimar quanto impacto acústico a operação de uma frota de aeronaves pode fazer nas vizinhanças de um aeroporto. Elas que podem ser determinadas baseadas em experiências feitas usando o programa INM (Integrated Noise Model – Software gráfico que elabora curvas de ruído). Esta relação pode ser melhor demonstrada observando-se a Tab. (1).

**Tabela 1. movimentos equivalentes a período de 24 horas pela classificação da ICAO**

Aeronaves Capítulo	Período Diurno	Período Noturno
2	7	70
3	1	10

Para os cálculos deste trabalho foram consideradas apenas as aeronaves com vôos regulares.

### 2.1. Indicador de Desbalanceamento Sonoro (IDS).

O propósito do Indicador de Desbalanceamento Sonoro é estimar quanto desbalanceado o aeroporto se encontra de acordo com a Abordagem Equilibrada. Considerando as aeronaves Capítulo 3 e seus movimentos, com o auxílio da Tab. (1), temos:

$$MT_{EQ3} = [(N_{3D}) F(3,D) + (N_{3N}) F(3,N)] \quad (1)$$

Em que:

$MT_{EQ3}$  = movimento equivalente total para aeronaves capítulo 3.

$N_{3N}$  = número de movimentos noturnos equivalente para capítulo 3.

$N_{3D}$  = número de movimentos diurnos equivalente para capítulo 3.

$F(3,D)$  = Fatores de Equivalência para aeronaves capítulo 3 com vôos diurnos.

$F(3,N)$  = Fatores de Equivalência para aeronaves capítulo 3 com vôos noturnos.

Considerando as aeronaves Capítulo 2 e seus movimentos, com o auxílio da Tab. (1), temos:

$$MT_{EQ2} = [(N_{2D}) F(2,D) + (N_{2N})F(2,N)] \quad (2)$$

Em que:

$MT_{EQ2}$  = movimento equivalente total para aeronaves capítulo 2.

$N_{2N}$  = número de movimentos noturnos equivalente para capítulo 2.

$N_{2D}$  = número de movimentos diurnos equivalente para capítulo 2.

$F(2,D)$  = Fatores de Equivalência para aeronaves capítulo 2 com vôos diurnos.

$F(2,N)$  = Fatores de Equivalência para aeronaves capítulo 2 com vôos noturnos.

A partir dos valores calculados anteriormente, o Indicador de Desbalanceamento Sonoro ( $I_1$ ) pode ser descrito conforme a Eq.(3):

$$I_1 = (MT_{EQ3} + MT_{EQ2}) / MT_{Aer} \quad (3)$$

Em que:

$I_1$  = Indicador de Desbalanceamento Sonoro.

$MT_{EQ3}$  = movimento equivalente total para aeronaves capítulo 3.

$MT_{EQ2}$  = movimento equivalente total para aeronaves capítulo 2.

$MT_{Aer}$  = movimento total de aeronaves para 24 horas.

A expressão do Indicador de Redução de Desbalanceamento Sonoro (IRDS) calcula o logarítmico do IDS. Ele mostra o quão perto está às operações do aeroporto para os ideais da Abordagem Equilibrada, estimando o potencial de redução do ruído em dB através de restrições de uso. Quanto menor for esse indicador, menor é a possibilidade de redução do ruído através de medidas de restrições operacionais ou adoção de procedimentos operacionais com o intuito de reduzir o ruído. A fórmula proposta é expressa por:

$$I_2 = 10 \log ((MT_{EQ3} + MT_{EQ2}) / MT_{Aer}) \quad (4)$$

Em que:

$I_2$  = Indicador de Redução de Desbalanceamento Sonoro.

$MT_{EQ3}$  = movimento equivalente total para aeronaves capítulo 3.

$MT_{EQ2}$  = movimento equivalente total para aeronaves capítulo 2.

$MT_{Aer}$  = movimento total de aeronaves para 24 horas.

As informações dos movimentos dos aeroportos de Congonhas e Recife são apresentadas na Tab. (2).

**Tabela 2. Informações sobre os Aeroportos**

Acrônimo	Média diária do Mês mais Movimentado	Movimento Noturno de Aeronaves	Movimento Diurno de Aeronaves	Movimento de Aeronaves Capítulo 2	Movimento de Aeronaves Capítulo 3
SBSP	444,36	33,01	411,35	9,53	434,83
SBRF	113,00	36,00	77,00	11,00	102,00

Aplicando o IDS e o IRDS para cada aeroporto da Tab. (2), calcula-se o quanto os aeroportos estão desbalanceados e qual é o nível de redução de ruído que podemos conseguir, aplicando as devidas restrições operacionais. O resultado é mostrado na Tab. (3).

**Tabela 3. IDS ( $I_1$ ) e IDRS ( $I_2$ )**

Acrônimo	Média diária do Mês mais Movimentado	$MT_{EQ2}$	$MT_{EQ3}$	$I_1$	$I_2$
SBSP	444,36	68,60	731,65	1,80	2,55
SBRF	113,00	266,00	399,00	5,88	7,70

Da informação sobre cada aeroporto, da Tab. (2), é possível classificá-los então pela porcentagem de Capítulo 2 e movimentos noturnos. Na Tabela (3), aqueles aeroportos que têm menos movimentos noturnos e menos movimentos de Capítulo 2 são destacados como os menos desbalanceados. E aqueles que têm mais movimentos noturnos e mais movimentos de Capítulo 2 são destacados como os mais desbalanceados e com um IDRS maior. Na Tabela (3) é possível identificar que o aeroporto de Recife é o mais desbalanceado e o que merece maior prioridade na aplicação de medidas de mitigação de ruído.

## 2.2. Estudos de Sensibilidade

### 2.2.1 Abordagem Clássica

Criou-se 3 situações alternativas à situação inicial  $i(0)$ , tendo em consideração dois critérios: renovação da frota de aeronaves e implementação de restrições operacionais.

- A renovação de frota se refere à substituição das aeronaves Cap.2 (mais ruidosas) por outros modelos com capacidade e cargas similares, porém com melhor desempenho acústico. Por este motivo, nas simulações acústicas, as aeronaves (Cap.2) foram substituídas pelo modelo de aeronave 737-500, classificadas como Capítulo 3, segundo o anexo 16 da ICAO.

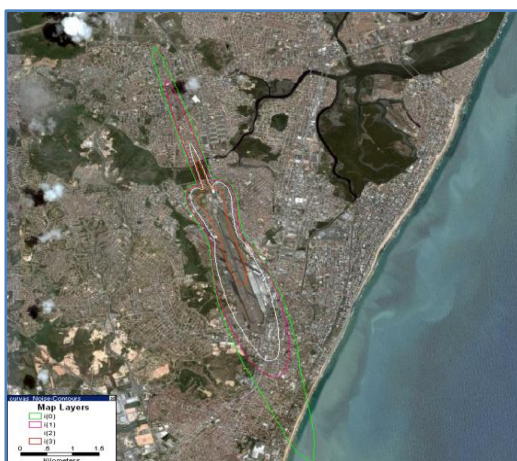
• Já as restrições operacionais se referem à proibição, parcial ou total, do acesso de aeronaves no aeroporto em determinados períodos do dia, particularmente em horários noturnos. Neste caso, trabalhou-se com transferências do número de movimentos das aeronaves, do horário noturno para diurno, sem alterar a composição da frota existente.

Para cada situação estudada, elaborou-se a curva de ruído correspondente a DNL (métrica de cálculo de ruído para um período de 24 horas) 65 dB(A), e as áreas correspondentes calculadas foram anotadas nas colunas respectivas na Tab. (4).

**Tabela 4. variação das áreas das curvas de ruído em relação à variação dos parâmetros aeroportuários propostos, considerando as ações: (a) substituição de aeronaves e (b) transferência de turno de operação.**

Mix de Aeronaves	SBRF Situação Estudada i(n)	Movimentos (P) por turnos				Área da curva de Ruído (DNL) 65 dB	Redução da Área (%) em relação ao caso inicial 65 dB
		Cap.3		Cap.2			
		Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	65 dB	65 dB
Frota Existente	(0) Situação Atual	63	33	8	3	2,55Mi2	0%
Conserva Frota	(1) Transferência de 100% de Cap.2 Noturno para Diurno	63	33	11	0	1,72Mi2	32,55%
	(2) Transf. de 100% de Cap.2 e Cap.3 Noturno para Diurno.	96	0	11	0	1,08Mi2	57,65%
Muda Frota 737500	(3) Transf. de 100% de Cap.2 e Cap.3 Noturno para Diurno e Subst. de 100% Cap.2 por Cap.3.	107	0	0	0	0,30Mi2	88,24%

Na situação 1, trabalhou-se com transferência total de movimentos noturnos de aeronaves Capítulo 2 para movimentos diurnos. Na situação 2, trabalhou-se com transferência total de movimentos noturnos de aeronaves Capítulo 2 e 3 para movimentos diurnos respectivamente. A situação i(3) corresponde a uma situação ideal de configuração dos parâmetros, com todos os movimentos diurnos e todas as aeronaves em operação da categoria Capítulo 3. Na Tabela (4) pode se observar uma diminuição significativa da área da curva, com a retirada dos vãos noturnos. Na Figura (1), mostra o comportamento das novas áreas de contorno de ruído para as simulações: i(0), i(1), i(2) e i(3).



**Figura 1. Área de curva de ruído para DNL 65 dB(A) (2009).**

### 2.2.2 Abordagem Linearizada / Determinação dos Coeficientes de Sensibilidade

Para os cálculos de sensibilidade foi utilizada a variável  $x_{ij}$ , sendo  $i$  o número de movimentos de aeronaves e  $j$  o período que pode ser noturno e diurno. A partir dessas variáveis é possível determinar a área de curva de ruído para um

determinado nível de DNL. A expressão abaixo, mostra a área de uma possível curva de ruído para um DNL de 65 dB(A):

$$\Phi(x_{1D}, x_{1N}; x_{2D}, x_{2N}; x_{3D}, x_{3N})$$

Para o estudo de sensibilidade são adicionados nos dados de movimentos de aeronaves da curva de ruído atual variações do tipo  $\Delta x_{ij}$ , conforme é mostrado abaixo:

$$\Phi(x_{1D} + \Delta x_{1D}, x_{1N} + \Delta x_{1N}; \dots)$$

Caso as variações  $\Delta x_{ij}$  sejam pequenas, podemos escrever da seguinte maneira:

$$\Delta\Phi = \left(\frac{\partial\Phi}{\partial x_{1D}}\right)\Delta x_{1D} + \left(\frac{\partial\Phi}{\partial x_{1N}}\right)\Delta x_{1N} + \dots + \left(\frac{\partial\Phi}{\partial x_{ND}}\right)\Delta x_{ND}$$

onde  $\Delta\Phi$  é a variação da área.

O próximo passo é encontrar o Coeficiente de Sensibilidade Relativa. Dividi-se o valor de  $\Delta\Phi$  por  $\Phi$  (inicialmente a área da curva de ruído) e encontra-se a variação relativa:

$$\frac{\Delta\Phi}{\Phi} = \left[\frac{x_{1D}}{\Phi} \left(\frac{\partial\Phi}{\partial x_{1D}}\right) \frac{\Delta x_{1D}}{x_{1D}} + \frac{x_{1N}}{\Phi} \left(\frac{\partial\Phi}{\partial x_{1N}}\right) \frac{\Delta x_{1N}}{x_{1N}} + \dots + \frac{x_{ND}}{\Phi} \left(\frac{\partial\Phi}{\partial x_{ND}}\right) \frac{\Delta x_{ND}}{x_{ND}}\right]$$

A partir da variação relativa é encontrado o Coeficiente de Sensibilidade Relativa:

$$S_{x_{ij}}^{\Phi} = \left(\frac{x_{ij}}{\Phi}\right) \left(\frac{\partial\Phi}{\partial x_{ij}}\right) \quad (5)$$

Considerando inicialmente, uma variação relativa de 10% do parâmetro  $x_i$ , encontramos:

$$S_{x_{ij}}^{\Phi} \approx -10 \frac{\Delta\Phi}{\Phi}$$

As tabelas a seguir representam os resultados obtidos para o Aeroporto de Recife. Tendo sido adotada inicialmente uma variação relativa de 10% para cada um dos parâmetros aeroportuários específicos, verificou-se que a sensibilidade da área com relação ao parâmetro  $x_1$  é insignificante comparada com os parâmetros  $x_2$ ,  $x_3$ , e  $x_4$  como pode se observar na Tab. (5).

**Tabela 5. Abordagem Linearizada – Simulação no INM. Variação relativa de 10% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente – SBRF.**

Parâmetros	Movimentos (X) por turnos (D/N)				Área da Curva de Ruído Km <sup>2</sup> /DNL	Percentual de Redução da área em Relação à situação inicial
	Capítulo 3		Capítulo 2			
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	65 dB(A)	
Situação Inicial	63	33	8	3	2,55Mi <sup>2</sup>	0,00%
Retirada 10% X <sub>1</sub>	56,7	33	8	3	2,54Mi <sup>2</sup>	0,39%
Retirada 10% X <sub>2</sub>	63	29,7	8	3	2,48Mi <sup>2</sup>	2,75%
Retirada 10% X <sub>3</sub>	63	33	7,2	3	2,51Mi <sup>2</sup>	1,57%
Retirada 10% X <sub>4</sub>	63	33	8	2,7	2,46Mi <sup>2</sup>	3,53%

Os Coeficientes de Sensibilidade de  $\Phi$  em relação aos parâmetros aeroportuários, de acordo com a Tab. (2), são expressos por:

$$S_{x_1}^{\Phi} \approx -10 \frac{\Phi_1 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0,039 \quad (x_1, \text{Movimentos diurnos aeronaves capítulo 3});$$

$$S_{x_2}^{\Phi} \approx -10 \frac{\Phi_2 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0,275 \quad (x_2, \text{Movimentos noturnos aeronaves capítulo 3});$$

$$S_{x_3}^{\Phi} \approx -10 \frac{\Phi_3 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0,157 \quad (x_3, \text{Movimentos diurnos aeronaves capítulo 2});$$

$$S_{x_4}^{\Phi} \approx -10 \frac{\Phi_4 - \Phi_0}{\Phi_0} = 0,353 \quad (x_4, \text{Movimentos noturnos aeronaves capítulo 2}).$$

Assim, na situação atual, o parâmetro que corresponde ao número de movimentos noturnos de aeronaves Capítulo 2 tem a maior influência sobre a área de curva de ruído.

### 2.2.2 Análise dos resultados

Os resultados acima mostram que as percentagens de variação de área da curva DNL 65 dB(A) para as situações propostas são insignificantes. Tomando-se como variação limite de área o critério de decisão adotado pela FAA, de 17% da área correspondendo a uma variação de 1,5 dB(A), observamos que apenas que a partir de uma variação de 50% o parâmetro  $x_4$  mostra uma variação significativa na área da curva DNL 65 dB(A), conforme a Tab. (6).

**Tabela 6. Simulação no INM. Variação relativa de 50% para cada um dos parâmetros aeroportuários individualmente – SBRF.**

Parâmetros	Movimentos (X) por turnos (D/N)				Área da Curva de Ruído Km <sup>2</sup> /DNL	Percentual de Redução da área em Relação á situação inicial
	Capítulo 3		Capítulo 2			
	Diurno	Noturno	Diurno	Noturno	65 dB(A)	
Situação Inicial	63	33	8	3	2,55Mi <sup>2</sup>	0,00%
Retirada 50% X <sub>1</sub>	31,5	33	8	3	2,49Mi <sup>2</sup>	2,35%
Retirada 50% X <sub>2</sub>	63	16,5	8	3	2,21Mi <sup>2</sup>	13,33%
Retirada 50% X <sub>3</sub>	63	33	4	3	2,34Mi <sup>2</sup>	8,24%
Retirada 50% X <sub>4</sub>	63	33	8	1,5	2,06Mi <sup>2</sup>	19,22%

Isto indica que a percentagem elevada de movimentos de aeronaves Capítulo 2 no período noturno ( $x_4$ ) domina o cenário acústico no aeroporto de Recife, resultando numa sensibilidade menos significativa das curvas de ruído em relação aos parâmetros relativos aos movimentos de aeronaves Capítulo 3 diurno (período de 7 às 22h,  $x_1$ ) e noturno (período de 22 às 7h,  $x_2$ ) e Capítulo 2 diurno ( $x_3$ ).

### 2.3. Amplitude Acústica

A métrica DNL corresponde à média de energia sonora produzida por todos os eventos aeronáuticos ocorridos durante um período de 24 horas. O nível de ruído é acrescentado de 10 dB(A) para os níveis sonoros que ocorrem durante o período noturno, devido à maior sensibilidade ao incômodo causado pelo ruído noturno.

$$DNL = 10 \log \left( \frac{1}{24} \left( 15 \cdot 10^{L_d/10} + 9 \cdot 10^{(L_n+10)/10} \right) \right) \quad (6)$$

O nível equivalente de pressão sonora diurno LAeqD é definido como a média da energia sonora calculada no período diurno, compreendido num intervalo de tempo de 15 horas, entre às 7h00 e às 22h00.

$$LAeqD = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{3600 \times 15} \int_7^{22} \left[ \frac{P_A(t)}{P_0} \right]^2 dt \right\} \quad (7)$$

Enquanto, o nível equivalente de pressão sonora noturno LAeqN é definido como a média da energia sonora calculada no período noturno, compreendido num intervalo de tempo de 9 horas, entre às 22h e às 7h.

$$LAeqN = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{3600 \times 9} \int_{22}^7 \left[ \frac{P_A(t)}{P_0} \right]^2 dt \right\} \quad (8)$$

A Amplitude Acústica ( $\Delta$ ) num determinado ponto é a diferença entre os níveis sonoros diurnos e noturnos. Ela pode ser obtida a partir de simulações de curvas de ruído nas métricas LAeqD e LAeqN no software INM e através equações matemáticas baseados na movimentação das aeronaves.

$$LAeqD - LAeqN = \Delta \quad (9)$$

### 2.3.1 Determinação da Amplitude Acústica a partir do INM

Para calcular o valor da Amplitude Acústica, foi inserida uma malha de receptores, como pode ser vista na Fig. (2), sobre as curvas de ruído nas métricas LAeqD e LAeqN. Os aeroportos de Recife e de Congonhas, escolhidos para este estudo, possuem movimentação diurnas e noturnas bem diferentes, o aeroporto de Congonhas caracteriza-se por ter pouco movimento de aeronaves durante o período noturno, enquanto o aeroporto de Recife há maior movimentação de aeronaves durante o mesmo período. Em cada ponto obteve-se o valor do nível sonoro, diurno e noturno, a fim de avaliar a influência da amplitude acústica nos aeroportos, concluiu-se que a  $\Delta$  depende da localização de cada ponto. A  $\Delta$  foi determinada como o valor médio das diferenças entre as métricas citadas.

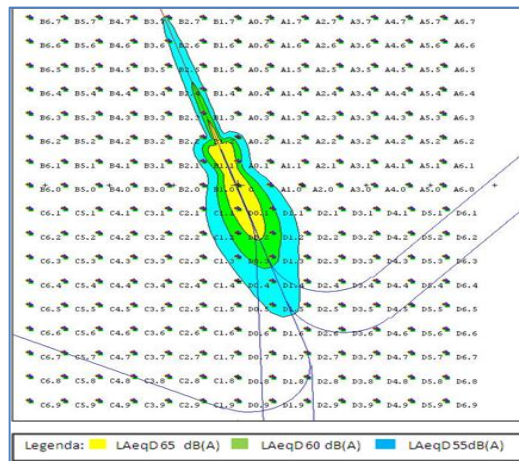


Figura 2. Malha de receptores críticos sobre o Aeroporto de Recife (2009).

O mesmo procedimento foi utilizado para determinar a amplitude acústica do aeroporto de Congonhas. Para este, a amplitude acústica média é aproximadamente 10,6 e no aeroporto de Recife 0,9. Os valores são bem discrepantes, o que significa que a movimentação do aeroporto durante o período noturno é um fator importante para avaliar o incômodo.

### 2.3.2 Determinação da Amplitude Acústica a partir de cálculos

A partir da Eq.(9), é possível estabelecer uma relação direta entre DNL, LAeqD e  $\Delta$ .

$$DNL = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{24} \left[ 15 \cdot 10^{\frac{LAeqD}{10}} + 90 \cdot 10^{\frac{LAeqD - \Delta}{10}} \right] \right) \quad (10)$$

Os valores de DNL, LAeqD, LAeqN e  $\Delta$  variam em função do ponto no entorno do aeroporto, e dependem da relação entre o número de movimentos diurnos e noturnos do aeroporto.

Se somente um tipo de aeronave que usa o aeroporto for considerado, um nível de exposição sonora ( $SEL_1$ ) é gerado, e a seguir pode ser considerada:

$$L_{AeqD} = SEL_1 + 10 \log_{10} N_D - 10 \log_{10} (P_D) \quad (11)$$

$$L_{AeqN} = SEL_1 + 10\log_{10} N_N - 10\log_{10} (P_N) \quad (12)$$

uma vez que:

$$\Delta = L_{AeqD} - L_{AeqN}$$

então:

$$\Delta = SEL_1 + 10\log_{10} N_D - 10\log_{10} (P_D) - [SEL_1 + 10\log_{10} N_N - 10\log_{10} (P_N)]$$

$$\Delta = 10\log_{10} \frac{N_D}{P_D} - 10\log_{10} \frac{N_N}{P_N}$$

$$\Delta = 10\log_{10} \frac{N_D}{P_D} \times \frac{P_N}{N_N} \quad (13)$$

- Onde  $SEL_1$  é o nível de exposição sonora gerada por um por um movimento de um toque na pista (*touch and go* - TGO) de uma aeronave representativa de um aeroporto;
- O  $SEL_D$  está o nível de exposição sonora global em um receptor, gerado por movimentos de aeronaves durante o dia (15 h);
- O  $SEL_N$  está o nível de exposição sonora global em um receptor, gerado por movimentos de avião durante o tempo à noite (9 h);
- O  $N_D$  é o número de movimentos de aviões diurnos;
- O  $N_N$  é o número de movimentos de aviões noturnos;
- O  $P_D$  é a duração do período diurno;
- O  $P_N$  é a duração do período noturno.

Nesse trabalho foram consideradas aeronaves Capítulo 2 e 3, a relação entre o período noturno e período diurno é a seguinte:

$$\text{Período Diurno: } \frac{7N_2+N_3}{15} \quad \text{e} \quad \text{Período Noturno: } \frac{7N_2+N_3}{9}$$

De acordo com a equação de  $\Delta$  encontrada e a Tab. (1) citada anteriormente, podemos considerar o seguinte:

$$\Delta = 10\log_{10} \left( \frac{7N_2+N_3}{15} \times \frac{9}{7N_2+N_3} \right) \quad (14)$$

O grande número de vôos noturnos tem uma influência no cálculo dos indicadores de desbalanceamento dos aeroportos, a Tab. (7) demonstra uma relação entre o cálculo de  $\Delta$  e o IRDS, quanto maior é o valor de  $\Delta$  menor é o IRDS, pois é menor o impacto de vôos noturnos sobre os movimentos do aeroporto.

**Tabela 7. Análise comparativa entre  $\Delta$  e o IRDS.**

Acrônimo	$I_2$	Movimentos Noturnos (%)	$\Delta$
SBSP	2,55	7,43	9,3
SBRF	7,70	31,86	1,4

Através deste trabalho, foi apresentado um panorama comparativo da situação sonora de três dos principais aeroportos brasileiros a partir das metodologias adotadas, o IDS e os Coeficientes de Sensibilidade. Os resultados obtidos indicaram que os fatores mais relevantes ao incômodo sonoro destes aeroportos se relacionam com as operações com os modelos de aeronaves classificadas como Capítulo2, do Anexo 16 da ICAO. Proibidas de operar em diversos países desde 2002, estas aeronaves possuem respaldo legal para continuar operando nos aeroportos brasileiros até o ano de 2010.

Os resultados obtidos através de simulações de curvas de ruído para ambos os aeroportos mostram a influência do  $\Delta$  sobre as áreas das curvas de ruído em cada aeroporto.

Além dessas três ferramentas consideradas, é importante quantificar o impacto ambiental sonoro dos aeroportos. Os estudos de controle de ruído num determinado aeroporto se justificam somente se o impacto ambiental sonoro é significativo.



### 3. AGRADECIMENTOS

GERA/LAVI/PEM/COPPE/UFRJ, pelo apoio técnico fornecido.  
CAPES e CNPq, pelo suporte financeiro as pesquisas desenvolvidas.

### 4. REFERÊNCIAS

- ABNT, 1990, NBR 11415, *Ruído Aeronáutico*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT, 1993, NBR 12859, *Avaliação do impacto sonoro gerado por operações aeronáuticas*, Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 1996, *Integrated Noise Model*, User's Guide versão 5.1, USA.
- Gama, A. P., 2004, *Análise de Sensibilidade: Um Instrumento de apoio à gestão ambiental sonora em aeroportos urbanos*, Dissertação – Universidade Federal do Rio de Janeiro – FAUPROARQ, Rio de Janeiro.
- INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION, 2004, *Final draft of Guidance on the Balanced Approach to Aircraft Noise Management*, ICAO, Montreal.
- Nogueira, R. de C. C. and J. G. Slama, 2006, *Routes changes aiming noise levels reduction on residential use zones around airports using aircraft's noise classification by sensibility coefficients*, *Internoise*, Hawaii, USA.
- Slama, J. G. and T. C. Revoredo, 2005, *Metrics Comparison and Control Approach in Airport Noise*, in: *Air Transport Research Society (ATRS) World Conference - v. 1. p. 1-8*, Brazil.
- Slama, J. G. , A. P. Gama, L. A. de Carvalho, R. Magina, T. C. Revoredo, 2008, *Coefficientes de Sensibilidade: um instrumento de apoio à gestão ambiental sonora em aeroportos urbanos*, *Sitraer*, Rio de Janeiro.
- Valim, F., 2006, *Análise das diferentes formas de atenuação do ruído aeronáutico*, master degree thesis, University of Brasília, Brazil.

### 5. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

## TOOLS SUPPORT FOR IMPLEMENTATION OF THE BALANCED APPROACH IN BRAZILIAN AIRPORTS

Luiz André de Carvalho, ladca@yahoo.com.br<sup>1</sup>  
Tarcilene Aparecida Heleno, tarcileneheleno@yahoo.com.br<sup>1</sup>  
Jules Ghislain Slama, juleslslama@yahoo.com.br<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PEM/COPPE/UFRJ, Centro de Tecnologia - Bloco G - Sala 204 - Cidade Universitária - RJ - Brasil

**Abstract:** *This paper presents three tools that can be implemented in the control of airport noise according to the Balanced Approach, they are: Sound imbalance indicator (SII), Sensitivity Coefficients and Acoustics Amplitude. SII is an indicative value that represents how much the airport is disaccord in relation to the ideal condition. The goal of SII is to help in identifying those airports that need to prioritize actions for mitigation of noise from aircraft. The sensitivity analysis applied to the control of airport noise are based on comparisons between results obtained with acoustic simulations of alternative scenarios and baseline scenario, with the selection criteria, the rate of impact of noise on the population. This paper presents the sensitivity coefficients as a tool to support the decisions process sensitivity analysis. The acoustics amplitude is defined as the difference between the noise levels day and night at each airport and determined from the relationship between LAeq and SEL metrics. Three steps were developed, they are: choice of airports, identification of aircraft models more relevant to noise and discomfort of screening and evaluation of operational constraints to be taken to control airport noise. In the first step, we used the SII tool. The second step aims to select groups of aircraft to be subject to changes in priority or operational restrictions for this, we used the coefficients of sensitivity and the third, used the tool Acoustics Amplitude.*

**Keywords:** *Balanced Approach, Sensitivity Coefficients, Acoustics Amplitude*