

X-015 – ESTUDO DOS NÍVEIS DE RUÍDO GERADOS EM UM AEROPORTO DE PEQUENO PORTE E SITUADO EM MALHA URBANA: MONITORAMENTO, MODELAGEM E AVALIAÇÃO DO INCÔMODO À POPULAÇÃO

Rafael Soares Souza Pimenta de Almeida ⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Fumec. Especialista em Gestão Ambiental de Resíduos Sólidos Pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Engenheiro Ambiental na Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO.

Ricardo Gomes Passos

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutorando em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Engenheiro Ambiental na Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO.

Ronan Fernandes Moreira Neto

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Engenharia Civil - Concentração: Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Engenheiro Ambiental na Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO.

Tiago Fernandes

Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Engenheiro Eletricista na Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Nordau Gonçalves Melo 1313/404 – Santa Mônica – Uberlândia - MG, Brasil - e-mail: rafaelspalmeida@gmail.com

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho estudo de geração de ruído em um aeroporto de pequeno porte situado completamente na malha urbana (estudo de caso no Aeroporto de Belo Horizonte - Carlos Prates). Tal estudo contemplou monitoramento de campo e elaboração de modelos capazes de gerar curvas de ruído para um dado cenário de movimentação de aeronaves. As curvas geradas com o modelo foram comparadas com as curvas do Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR) do aeroporto. Desta forma, buscou-se avaliar o nível de similaridade das curvas básicas com as curvas geradas no modelo; verificar se as curvas básicas atendem as necessidades de zoneamento do entorno de um pequeno aeroporto, de maneira que os conflitos dos aeroportos com as comunidades sejam mitigados; identificar se os maiores focos de reclamação estão dentro das áreas de restrição das curvas e, caso possível, propor medidas para mitigar o incômodo gerado à comunidade próxima ao aeroporto. As simulações foram realizadas por meio do software Integrated Noise Model® (INM), desenvolvido pela Federal Aviation Administration (FAA); órgão de gestão e fiscalização da aviação civil dos EUA. As curvas geradas no modelo foram também confrontadas com medições de ruído realizadas no entorno do aeroporto durante estudo de impacto ambiental, pelos dois métodos de avaliação (LAeq e DNL). Foi possível neste trabalho avaliar o grau de similaridade entre as curvas do PBZR e as curvas geradas pelo modelo computacional e também confrontar os mapas gerados com medições de campo. Os resultados da simulação indicaram que a modelagem acústica é uma boa ferramenta para a gestão do ruído aeronáutico em aeroportos, possibilitando que análises sejam feitas em cenários diversos, podendo, inclusive, ser utilizada em estudos e avaliações de impactos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: Aeroportos, Ruído Aeronáutico, Modelagem, INM.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O aumento do nível de ruído no entorno dos aeroportos pode ser atribuído ao crescimento da aviação civil e desenvolvimento de novos motores para as aeronaves, principalmente após a introdução das aeronaves a jato no final dos anos 50. Em contrapartida, em certo momento do desenvolvimento da aviação, o surgimento de motores mais silenciosos passou a contribuir para a mitigação dos níveis sonoros emitidos.

Em ambientes aeroportuários, as emissões sonoras apresentam certas particularidades frente às demais fontes sonoras, uma vez que são ao mesmo tempo fontes sonoras móveis e fixas. A primeira situação ocorre quando levamos em consideração o deslocamento das aeronaves e a outra, quando se considera apenas o aeroporto.

Segundo Giovanelli Neto (2010), o nível de ruído que chega ao solo perto dos aeroportos emitido por aeronaves em voo depende de um grande número de fatores, dos quais podemos citar: modelo de aeronave, tipo de turbina, potência, configuração de asas, distância e trajetória, topografia do terreno e o clima.

Tandon (2003) *apud* Giovanelli Neto (2010) também cita que o ruído aeronáutico apresenta caracteres intrusivos, consistindo em uma sucessão de repentinos picos de níveis de ruído com separação por períodos silenciosos. Podem apresentar grandes problemas ambientais as operações de decolagem e aproximação, por estar mais próximos do solo e nestes pontos exigirem muita potência dos motores.

De acordo com Tracor (1971) *apud* Barbosa (2011), o ruído produzido pelas aeronaves está associado a inúmeros aspectos físicos, psicológicos e sociais. O incômodo causado pelo ruído pode ser potencializado também devido a fatores que não dependem da fonte de emissão. Segundo o mesmo autor, existem sete aspectos não acústicos que apresentam forte correlação com o incômodo: medo de acidentes aéreos no bairro; sensibilidade ao ruído; distância do aeroporto; adaptabilidade ao ruído; cidade de residência; crença que nada possa ser feito em relação ao problema do ruído e importância do aeroporto e do transporte aéreo. Portanto, pode-se sugerir que há um também um fator psicológico na percepção do ruído.

Os efeitos da poluição sonora no ser humano são os mais diversos, sendo este ainda muito pouco contemplado em estudos e, conseqüentemente, ainda muito desconhecido de grande parte da população. Em ambientes aeroportuários, o controle dessas emissões com o intuito de minimizar os efeitos da poluição sonora é demasiadamente complexo, visto que não é permitida a instalação de estruturas e dispositivos de controle acústico, já que possam vir a ser considerados como obstáculos ao voo e, portanto, comprometer a segurança das operações. Além disso, a abrangência do deslocamento das aeronaves dificulta qualquer ação mais contundente de controle e isolamento. Dessa maneira, o que se tem percebido tanto no Brasil, por meio dos regulamentos emitidos pela ANAC, quanto no exterior, é um foco maior na realização dos monitoramentos e modelos, buscando assim compreender e descrever melhor o aspecto das emissões de ruído, para, principalmente por meio de medidas administrativas (como reordenação de rotas, troca de cabeceiras, procedimentos específicos de sobrevoos, pouso e decolagem), reduzir a magnitude das emissões e por consequência minorar a potencialidade de incômodo na comunidade.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é apresentar estudo de geração de ruído em um aeroporto de pequeno porte situado completamente na malha urbana (estudo de caso no Aeroporto de Belo Horizonte - Carlos Prates). Tal estudo contemplou monitoramento de campo e elaboração de modelos capazes de gerar curvas de ruído para um dado cenário de movimentação de aeronaves. As curvas geradas com o modelo foram comparadas com as curvas do Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR) do aeroporto. Desta forma, buscou-se avaliar o nível de similaridade das curvas básicas com as curvas geradas no modelo; verificar se as curvas básicas atendem as necessidades de zoneamento do entorno de um pequeno aeroporto, de maneira que os conflitos dos aeroportos com as comunidades sejam mitigados; identificar se os maiores focos de reclamação estão dentro das áreas de restrição das curvas e, quando possível, propor medidas para mitigar o incômodo gerado à comunidade próxima ao aeroporto.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de estudo

O estudo foi conduzido no Aeroporto de Belo Horizonte - Carlos Prates. Totalmente inserido na malha urbana, é um aeroporto especialmente dedicado à formação de pilotos, aviação desportiva, instrução, construção de aeronaves, aviação geral de pequeno porte e aviação de asa rotativa (helicópteros). O aeroporto processou, em 2013, por volta de 36 mil passageiros e 35 mil operações de pouso e decolagem. Conta atualmente com pátios e estacionamentos de aeronave com área total de aproximadamente 15 mil m² e uma pista de 928 x 18 m (INFRAERO, 2014).

Foi levantado para o Aeroporto Carlos Prates o Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR), que propõe curvas básicas de 65dB e 75dB para o zoneamento de ruído do Aeroporto Carlos Prates. As curvas de ruído do

PBZR são geradas a partir de parâmetros pré-definidos em norma, sendo que as distâncias (L – distância horizontal e R – raio do semicírculo) de cada curva (Figura 1) são definidas pela movimentação operacional do aeroporto. A curva gerada no PBZR é uma aproximação realizada por meio de parâmetros definidos em norma. As curvas do plano básico são geralmente utilizadas em aeroportos de pequeno porte, onde, a princípio, não há necessidade de gastar recursos técnicos avançados para simular curvas mais elaboradas.

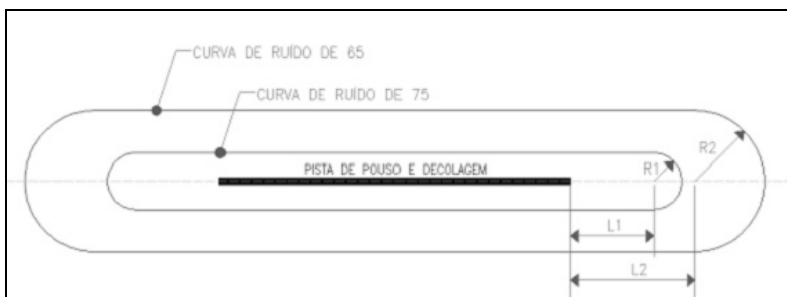


Figura 1: Exemplo de curvas de ruído de um PBZR

O PBZR do Aeroporto Carlos Prates foi elaborado baseado na Portaria N° 1.141/GM5, revogada pelo Regulamento Brasileiro de Aviação Civil N° 161 (RBAC 161). Para a revisão do Plano de Zoneamento de Ruído do aeroporto nos moldes da RBAC 161 é necessário que o aeroporto tenha um Plano Diretor Aeroportuário (PDA) aprovado na ANAC, o que ainda não aconteceu. Pelos requisitos da RBAC 161, a revisão do PZR do aeroporto transformará o PBZR em Plano Específico de Zoneamento de Ruído (PEZR), o que levará a elaboração de curvas de ruído mais elaboradas, baseadas na movimentação operacional do aeroporto e do *mix* de aeronaves esperados para última fase do PDA.

A Figura 1 apresenta desenho em planta do Aeroporto Carlos Prates, na qual também podem ser vistas as curvas de 65dB (externa, compreendendo a Área II) e 75dB (interna, compreendendo a Área I).

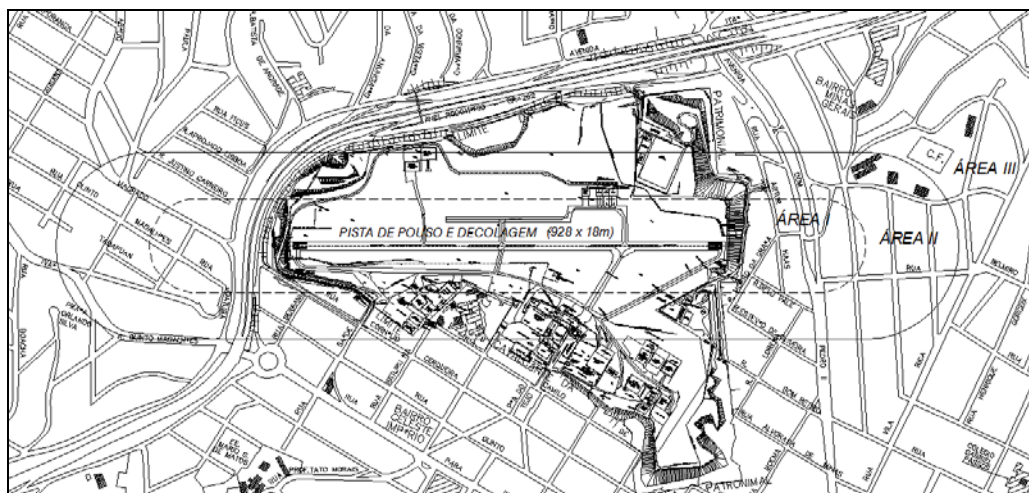


Figura 2: Desenho em planta do Aeroporto Carlos Prates e do entorno, incluindo as curvas de ruído do PBZR

Modelagem das curvas de ruído

As simulações foram realizadas por meio do software Integrated Noise Model® (INM), desenvolvido pela Federal Aviation Administration (FAA); órgão de gestão e fiscalização da aviação civil dos EUA. O software apresenta como saída curvas de ruído gerado por um determinado *mix* de aeronaves que operam no aeroporto, em determinadas frequências, procedimentos e planos de voos pré-estabelecidos. O modelo proposto considera os seguintes principais aspectos: coordenadas geográficas do ponto de referência do aeroporto; coordenadas geográficas das cabeceiras da pista de pouso e decolagem; elevação do aeroporto; temperatura de referência do aeroporto, tipo de operação da aeronave (aproximação, decolagem, toque e arremetida, circuito, sobrevoos, taxiamento); número de operações matinais, vespertinas e noturnas durante o dia estudado; caminho

tridimensional percorrido pela aeronave, representado linhas de trajetória de voo contendo a posição, direção, distância, velocidade e tipo de métrica utilizada, com identificação de fatores de ponderação e tempo de exposição.

Várias métricas podem ser utilizadas para as simulações e análises no programa, tais como DNL (Nível de ruído médio durante dia e noite), EPNL (Nível de ruído efetivamente percebido), SEL (Nível de exposição ao ruído), LEQ (Nível de ruído equivalente) CNEL (Nível equivalente de ruído em comunidades). Neste trabalho foram utilizadas as métricas Day Night Level (DNL) e LAeq (ponderação A).

Para a métrica Day Night Level (DNL), na ponderação “A”, têm-se (equação 1):

$$DNL = 10 \log \left(\frac{1}{86400} \sum 10^{\frac{LA_i + W_i}{10}} \Delta t \right) \quad (1)$$

Para a qual:

DNL = Média do nível de ruído de dia e noite para 1 dia;

LA_i = número de medições de ruído na ponderação “A”, medidas a cada 0,5 segundos;

86400 = número de segundos em um dia;

W_i = Correção na hora do dia para a ponderação “A” (0 dB se ocorreu entre 7:00 e 22:00, 10 dB se ocorreu entre 22:00 e 07:00);

Δt = intervalo de tempo, usualmente 0,5 s ou menos.

Já de acordo com a métrica LAeq, têm-se (equação 2):

$$LA_{eq} = 10 \log \left(\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N 10^{LA_i/10} \right) \quad (2)$$

LAeq = Nível de som equivalente;

LA_i = número de medições de ruído na ponderação - A medidas a cada 0,5 segundos;

T = período de tempo de interesse;

Δt = Usualmente 0,5 s ou menos;

$N = T / \Delta t$.

Giovanelli Neto (2010) cita que, para a *European Civil Aviation Conference*, os ruídos relacionados com a comunidade em geral, no caso dos transportes, a ponderação “A” proporciona um indicador bem correlacionado com os efeitos da perda de audição e a interferência com a palavra, além de ser de fácil implementação e apresentar um resultado único. O DNL, segundo Horonjeff (2010), é uma métrica utilizada para medir a exposição ao som durante um período de 24 horas, sendo que no período compreendido entre 22:00 e 07:00 há o acréscimo de 10 dB às amostras. Tal correção visa compensar a sensibilidade humana ao ruído que ocorre nos eventos noturnos. Esta metodologia é aplicada principalmente para descrição de fontes sonoras difusas de difícil descrição e avaliação, como é o caso do ruído aeronáutico. A diferença entre o DNL e o LAeq, largamente utilizado na medição de ruído no Brasil, é que o LAeq leva em consideração um determinado espaço de tempo (podendo variar entre décimos de segundos a horas), dependendo então da quantidade de amostras de nível de som coletadas, enquanto o DNL mede a exposição média ao ruído durante as 24 horas do dia visando à avaliação do ruído em comunidades. A EPA (*Environmental Protection Agency*) considera o DNL como a métrica mais apropriada para avaliar os efeitos do ruído, incluindo o ruído aeronáutico, em uma comunidade.

Para aeroportos em que não há operação noturna de aeronaves, caso do Aeroporto Carlos Prates, os resultados de modelagem de curvas de ruído tendem a ser semelhantes, visto que a diferença entre as fórmulas será que para a métrica DNL será considerado o período em que não haverá operação no aeroporto, porém sem a penalização. No caso de aeroportos que operam durante 24 horas, as curvas tenderão a ser diferentes, pois a na métrica DNL haverá a correção em 10 dB durante a noite.

Vários parâmetros físicos e geométricos associados à trajetória de voo de uma aeronave são calculados durante as simulações, tais como: segmento da trajetória de voo, que pode ser dividido em 3 tipos (observador atrás do

segmento, observador sobre o segmento, observador à frente do segmento); ponto mais próximo de aproximação e alcance de inclinação; velocidade (equação 3); altitude (equação 4); distância (equação 5); potência (equação 6).

$$AS_{seg} = AS_{p1} + \left(\frac{d_{AS}}{L} \right) \Delta AS \quad (3)$$

$$d_{seg} = [P1]_z + d_{AS} \left[\frac{(P1P2)_z}{L} \right] + h_{terr} - h_{arpt} \quad (4)$$

$$l_{seg} = \left(SLR_{seg}^2 - d_{seg}^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

$$P_{seg} = P_{p1} + \left[\frac{d_{AS}}{L} \right] \Delta P \quad (6)$$

Onde:

AS_{seg} = Velocidade (Aircraft Speed) (nós);

AS_{p1} = velocidade no começo do segmento da trajetória de voo (nós);

ΔAS = diferença na velocidade na extensão do segmento da trajetória de voo (nós);

d_{seg} = altitude (pés);

$[P1]_z$ = altitude no início do segmento da trajetória de voo (pés);

d_{AS} = a distância ao longo do segmento de voo com caminho desde o início do segmento;

$(P1P2)_z$ = mudança na altitude durante o do segmento da trajetória de voo (pés);

L = Comprimento do segmento da trajetória de voo. Valor mínimo de 10 pés;

h_{terr} : elevação do terreno (pés);

h_{arpt} : elevação do aeroporto (pés).

SLR_{seg} = Comprimento do vetor do observador ao CPA no segmento da trajetória de voo;

P_{p1} = potência do motor no começo do segmento da trajetória de voo;

ΔP = mudança de potência durante o segmento da trajetória de voo;

Sendo CPA o ponto mais próximo ao observador sobre o segmento da trajetória de voo.

Após o cálculo dos parâmetros, o modelo realiza a interpolação dos níveis de ruído obtidos e procede com diversos ajustes para gerar as curvas. Neste trabalho, as curvas de ruído foram geradas baseando-se na movimentação de aeronaves nos dias em que o aeroporto teve o maior movimento operacional de 2013, caracterizando assim o cenário mais crítico quanto à geração de ruído no aeroporto para o período analisado.

As trajetórias específicas de cada aeronave, necessárias à alimentação do modelo, foram obtidas junto ao setor de navegação aérea da Infraero (Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária; empresa pública que administra o aeroporto). Tais trajetórias são definidas pelas VAC (Visual Approach Chart).

Análise conjunta de resultados

Na tentativa de validação do modelo, as curvas simuladas foram comparadas com as curvas do Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR) oficial do aeroporto. As curvas geradas no modelo foram também confrontadas com medições de ruído realizadas no entorno do aeroporto durante estudo de impacto ambiental, pelos dois métodos de avaliação (LAeq e DNL).

Adicionalmente, havia a intenção inicial de obter os dados de eventuais reclamações da população do entorno do aeroporto quanto ao ruído gerado, que estariam disponíveis na Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, no intuito de especializar tais reclamações e elaborar mapa temático do incômodo causado pelo ruído na região do aeroporto, utilizando o software de Sistema de Informações Geográficas ArcGIS® para a espacialização dos dados. Entretanto, após várias tentativas, não foi possível obter tais dados, de forma que tal comparação será realizada em pesquisa futura, assim que possível.

A despeito da ausência desses registros, resultados a respeito da percepção da população do entorno do aeroporto quanto ao incômodo provocado pelo ruído foram apresentados neste trabalho, mesmo que de forma preliminar. Apenas para efeitos de melhor caracterização do problema, são apresentados os principais resultados obtidos a partir de diagnóstico socioeconômico por entrevista; pesquisa realizada durante elaboração de estudo de impacto ambiental da operação do aeroporto.

As medições do ruído em métrica Leq ocorreram segundo os métodos descritos pela norma NBR 10.151 – Avaliação Acústica de Áreas Habitadas, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, em 10 pontos de medição ao redor do aeroporto. A medição de ruído em métrica DNL foi fundamentada pelo Regulamento Brasileiro da Aviação Civil – 161 de 2013, o qual pretende estabelecer e refinar os planos de zoneamento de ruído, existentes e regidos anteriormente pela portaria 1.141 do extinto Ministério da Aeronáutica. A avaliação do ruído em métrica DNL foi realizada com a alocação de um sonômetro durante 24 horas em um ponto. A Figura 3 apresenta a disposição dos pontos de monitoramento pelo método LAeq (pontos em verde, de números 1 a 10) e DNL (ponto em vermelho). A campanha de monitoramento foi realizada por empresa especializada contratada da Infraero, durante o desenvolvimento de estudo de impacto ambiental para operação do aeroporto.



Figura 3: Pontos de monitoramento de ruído no entorno do Aeroporto Carlos Prates (métricas DNL, em vermelho, e LAeq, em verde)

RESULTADOS

A Figura 4 apresenta as curvas de ruído geradas no modelo para a métrica DNL, baseando-se na movimentação de aeronaves no dia em que o aeroporto teve o maior movimento operacional em 2013, portanto, em cenário mais crítico do ano.



Figura 4: Curva de ruído gerada no modelo para o dia de maior movimentação em SBPR no ano de 2013

É possível observar que a curva de 75dB gerada pelo software apresenta área menor do que a curva gerada a partir do PBZR, enquanto a curva de 65dB gerada pelo software é mais extensa para um dos lados, a partir de uma das cabeceiras do aeroporto. As diferenças podem ser observadas a partir da sobreposição das curvas, apresentada na Figura 5, abaixo, e ocorrem porque no modelo foi considerada a influência acumulada de cada uma das diferentes trajetórias do *mix* de aeronaves (situação mais aproximada da realidade que a considerada no PBZR).



Figura 5: Sobreposição das curvas de ruído do PBZR (azul e verde) e do modelo (rosa e amarelo) – Aeroporto Carlos Prates

Nota-se, portanto, que as curvas obtidas a partir de um modelo que leve em conta a trajetória das aeronaves e as respectivas frequências de operação podem indicar eventuais extensões do ruído além das curvas do PBZR, em função da movimentação operacional. De fato, é comum que em aeroportos uma cabeceira da pista seja definida, em função dos ventos, como preferencial das operações de pouso e decolagem, e tal característica é considerada nos modelos.

O resultado da medição de campo com a métrica DNL foi dividido em dois períodos (diurno e noturno), de forma a obter a medição “equivalente” apenas ao período diurno, já que não existem operações noturnas no aeroporto. O resultado foi de 65 dB para o período diurno e 42 dB para o período noturno. Nota-se na Figura 6 que o local de medição e o valor obtido (também 65 dB) está localizado entre as curvas de 65 e 75 dB, atestando razoável previsão do modelo, visto que o mesmo foi elaborado em cenário crítico.



Figura 6: Sobreposição das curvas de ruído do PBZR (azul e verde) e do modelo (rosa e amarelo) – Aeroporto Carlos Prates

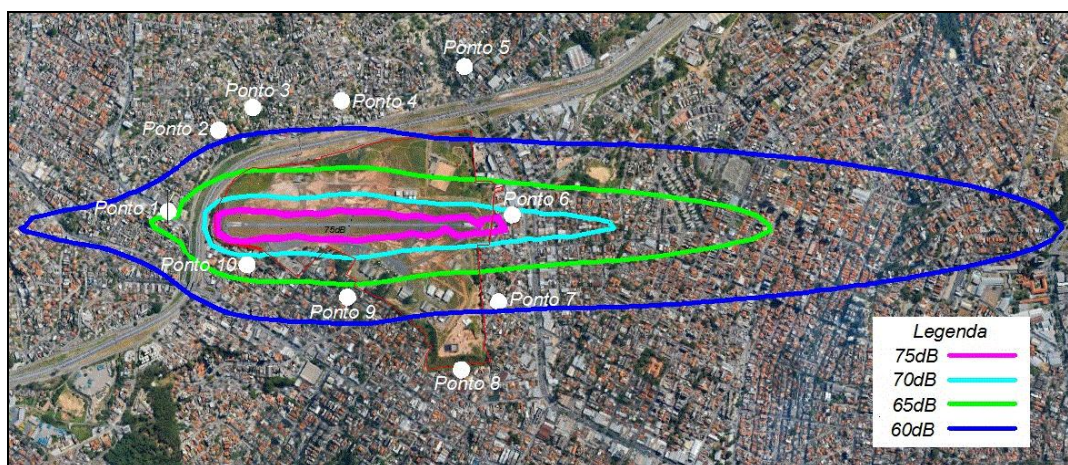
A Tabela 2 apresenta os resultados das medições de ruído em campo para a métrica LAeq. Os dados mostram que em dois pontos (pontos 1 e 7) a medição superou o limite permitido pela Lei Municipal nº 9.505/08.

Tabela 2: Resumo do monitoramento de ruído no entorno do Aeroporto Carlos Prates

PONTO N°	IDENTIFICAÇÃO	LAeq	LP
1	Avenida Abílio Machado	72 dB(A)	70 dB(A)
2	Rua Batista Andrade	61 dB(A)	
3	Rua Anunciação	58 dB(A)	
4	Rua Batismo	61 dB(A)	
5	Rua Flor de Abril	65 dB(A)	
6	Rua Morro da Graça	65 dB(A)	
7	Rua Bom Retiro	72 dB(A)	
8	Rua Camilo de Brito com Lorena	61 dB(A)	
9	Rua Camilo de Brito próximo nº 597	64 dB(A)	
10	Rua Cornélio Cerqueira	67 dB(A)	

LP: Limite permitido no período diurno (07 às 19hs) conforme Lei Municipal de Belo Horizonte 9.505/2008

Para comparação entre as medições de campo e a modelagem computacional, foram geradas curvas de ruído na métrica Leq para as intensidades 60dB, 65dB, 70 dB e 75dB, com os mesmos dados de entrada das curvas DNL (Figura 7).

**Figura 7: Comparação entre a curva Leq modelada e os pontos de medição de ruído em campo.**

Nota-se que o modelo apresentou boa predição do nível de ruído nos pontos 2, 3, 4, 9 e 10. O monitoramento nos pontos 2, 3, 4, 8 e 9 indicou LAeq abaixo de 65 dB, e, também, fora da curva de 65 dB, o que era de se esperar. O ponto 5 ficou mais distante da curva de 60 dB, mesmo apresentando o valor de medição de 65 dB, enquanto que o ponto 6, que também apresentou valor de medição de 65 dB, ficou dentro da curva, entretanto, mais próximo da curva de 70dB. Os pontos 9 e 10 indicaram níveis de ruído exatamente dentro da faixa esperada.

Os pontos 1 e 7, que na medição de ruído passaram de 72 dB, encontram-se fora da curva modelada de 65 dB. Tais pontos ficam próximos a vias movimentadas da cidade (Rodovia Fernão Dias e Avenida D. Pedro II, respectivamente), que podem ter influenciado nas medições de campo. Outro fator de considerável influência é o procedimento de TGL (*Touch-and-go Landing*) dos helicópteros. O TGL é uma manobra de toque e arremetida que alunos praticam como exercício para poderem aprimorar suas manobras de aproximação e pouso. Nela, o piloto toca com o trem de pouso da aeronave na pista, mas não diminui muito a velocidade da aeronave, levantando novamente. O modelo apresentado no presente trabalho não considerou procedimentos de TGL para helicópteros, devido à ausência de procedimento definido. Como o ponto 7 se situa bem próximo à região de prática de TGL, as medições de campo podem ter capturado ruídos desses procedimentos, não considerados no modelo.

Restrições de uso e ocupação do solo no entorno – comentários

A legislação especializada em aeroportos define os limites de pressão sonora que são toleráveis para as atividades no entorno dos aeroportos. Tais limites foram primeiramente definidos pela FAA através da norma FAR Part 150, que define procedimentos para o desenvolvimento de programas de compatibilidade do ruído aeronáutico, que estabeleceu a métrica DNL como oficial e estabeleceu limites de tolerância para diversas

atividades. A Agência Nacional de Aviação Civil baseou-se na norma americana para edição do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil nº 161, que versa sobre o mesmo tema no âmbito nacional.

A norma da ANAC redefiniu as figuras do Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR) e do Plano Específico de Zoneamento de Ruído (PEZR), sendo que o primeiro é composto por curvas de 75 e 65 dB, com curvas geométricas simplificadas.

O PEZR possui cinco curvas de ruído, calculadas por meio de programa computacional, na métrica DNL, e depois validadas pela ANAC.

Para definição e qual plano elaborar, de acordo com BRASIL (2013), o aeródromo que tiver média anual de movimento de aeronaves dos últimos três anos superior a 7.000 deverá elaborar o PEZR e para os demais é facultada a elaboração do PEZR ou PBZR.

Dentro dos dois planos de zoneamentos possíveis, foi definida por BRASIL (2013) a compatibilidade do uso do solo, a Tabela 1 mostra a compatibilidade do uso do solo para aeroportos que possuem o PBZR.

Tabela 1: Usos compatíveis e incompatíveis para áreas abrangidas por PBZR

Uso do solo	Nível de ruído médio dia-noite (dB)		
	Abaixo de 65	65 – 75	Acima de 75
Residencial			
Residências uni e multifamiliares	S	N (1)	N
Alojamentos temporários (exemplos: hotéis, motéis e pousadas ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N
Locais de permanência prolongada (exemplos: presídios, orfanatos, asilos, quartéis, mosteiros, conventos, apart-hotéis, pensões ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N
Usos Públicos			
Educacional (exemplos: universidades, bibliotecas, faculdades, creches, escolas, colégios ou empreendimentos equivalentes)	S	N (1)	N
Saúde (exemplos: hospitais, sanatórios, clínicas, casas de saúde, centros de reabilitação ou empreendimentos equivalentes)	S	30	N
Igrejas, auditórios e salas de concerto (exemplos: igrejas, templos, associações religiosas, centros culturais, museus, galerias de arte, cinemas, teatros ou empreendimentos equivalentes)	S	30	N
Serviços governamentais (exemplos: postos de atendimento, correios, aduanas ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
Transportes (exemplos: terminais rodoviários, ferroviários, aeroportuários, marítimos, de carga e passageiros ou empreendimentos equivalentes)	S	25	35
Estacionamentos (exemplo: edifício garagem ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
Usos Comerciais e Serviços			
Escritórios, negócios e profissional liberal (exemplos: escritórios, salas e salões comerciais, consultórios ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
Comércio atacadista - materiais de construção, equipamentos de grande porte	S	25	N
Comércio varejista	S	25	N
Serviços de utilidade pública (exemplos: cemitérios, crematórios, estações de tratamento de água e esgoto, reservatórios de água, geração e distribuição de energia elétrica, Corpo de Bombeiros ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
Serviços de comunicação (exemplos: estações de rádio e televisão ou empreendimentos equivalentes)	S	25	N
Usos Industriais e de produção			
Indústrias em geral	S	25	N
Indústrias de precisão (Exemplo: fotografia, óptica)	S	25	N
Agricultura e floresta	S	S (3)	S (4)
Criação de animais, pecuária	S	S (3)	N
Mineração e pesca (exemplo: produção e extração de recursos naturais)	S	S	S
Usos Recreacionais			
Estádios de esportes ao ar livre, ginásios	S	S	N
Conchas acústicas ao ar livre e anfiteatros	S	N	N
Exposições agropecuárias e zoológicos	S	N	N
Parques, parques de diversões, acampamentos ou empreendimentos equivalentes	S	S	N
Campos de golf, hípicas e parques aquáticos	S	25	N

Notas:

S (Sim) = usos do solo e edificações relacionadas compatíveis sem restrições

N (Não) = usos do solo e edificações relacionadas não compatíveis.

25, 30, 35 = usos do solo e edificações relacionadas geralmente compatíveis. Medidas para atingir uma redução de nível de ruído – RR de 25, 30 ou 35 dB devem ser incorporadas no projeto/construção das edificações onde houver permanência prolongada de pessoas.

(1) Sempre que os órgãos determinarem que os usos devam ser permitidos, devem ser adotadas medidas para atingir uma RR de pelo menos 25 dB.

(2) Edificações residenciais requerem uma RR de 25 dB.

(3) Edificações residenciais requerem uma RR de 30 dB.

(4) Edificações residenciais não são compatíveis

Fonte: BRASIL (2013)

Como é possível observar na Tabela 2, usos em locais fora da curva de 65 dB apresenta compatibilidade com qualquer atividade. Entre as curvas de 65 e 75 dB existem incompatibilidades para certos usos do solo, e incompatibilidades para usos de característica residencial e recreacional. Dentro da curva de 75 dB, poucos são os usos do solo compatíveis com as atividades aeroportuárias.

Conforme se pode observar nas figuras 2, 4, 5, 6 e 7, existem locais onde as residências encontram-se dentro da sobreposição das curvas de 65 dB (PBZA e modelo) e em locais bem próximos ao aeroporto, as residências encontram-se dentro da curva de 75 dB.

No entorno do Aeroporto Carlos Prates o uso é predominantemente residencial e existe um hospital dentro da curva de 65 dB (tanto na curva do PBZR quanto na curva gerada no modelo), o que é compatível com o uso do solo dentro da referida curva, sendo necessário aplicação de medidas para redução de ruído de 30 dB na edificação. As residências que se encontram dentro da curva de 65 dB estariam compatíveis com o uso do solo no local caso os órgãos determinarem que o uso seja permitido, e as residências que encontram-se dentro das curvas de 75 dB não são compatíveis com o uso do solo no local.

Sobre a compatibilidade das residências dentro da curva de 65 dB, a Lei Municipal nº 9.505/08, a emissão de ruídos de fontes fixas e móveis devem obedecer os seguintes níveis máximos:

- I- Em período diurno 70 dB (ponderação A);
- II- Em período vespertino 60 dB (ponderação A);
- III- Em período noturno 50 dB (ponderação A) até às 23:59 h e 45 dB (ponderação A) a partir da 0:00 h.

Ainda segundo a lei supracitada, o nível de som proveniente da fonte poluidora não pode exceder em 10 dB(A) o nível de ruído de fundo existente no local.

Percepção da população

Segundo a pesquisa de diagnóstico socioeconômico, ocorrida durante a elaboração do Estudo de Impacto Ambiental do aeroporto, 50,96% dos entrevistados consideraram que o incômodo provocado pelo ruído das aeronaves é alto, 16,56% considerou o incômodo médio e 22,29% consideraram o incômodo baixo.

Corroborando as informações sobre o incômodo, o diagnóstico também apontou que 41,40% dos entrevistados na pesquisa alegaram que o aeroporto tem uma alta interferência na rotina da comunidade local e, 29,94% considerando baixa a interferência do aeroporto na rotina da comunidade. De acordo com a pesquisa, 78,34% consideram que o período matutino é o período de maior interferência do aeroporto na comunidade, 31,85% no período vespertino e 45 no período noturno.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Foi possível neste trabalho avaliar o grau de similaridade entre as curvas do PBZR e as curvas geradas pelo modelo computacional e também confrontar os mapas gerados com medições de campo. Os resultados da simulação indicaram que a modelagem acústica é uma boa ferramenta para a gestão do ruído aeronáutico em aeroportos, possibilitando que análises sejam feitas em cenários diversos, podendo, inclusive, ser utilizada em estudos e avaliações de impactos ambientais. Recomenda-se, em futuros exercícios de modelagem, a busca por métodos de inclusão no modelo dos procedimentos de TGL para aeronaves de asas rotativas (helicópteros).

A partir dos resultados obtidos com a modelagem acústica e do melhor conhecimento das características de geração de ruído no aeroporto, torna-se possível tecer recomendações de medidas estratégicas de atenuação de ruído com fins de mitigar os incômodos gerados à população, como adequações dos horários de operação e reordenação de rotas e procedimentos específicos de sobrevoos, pouso e decolagem. A Infraero adotou medidas como essas no Aeroporto Carlos Prates a partir de 2014, restringindo o horário de operação dos hangares e escolas de aviação - com o intuito de reduzir o ruído nos horários mais críticos - e delimitando um espaço para treinamento de voos com helicópteros. Ademais, atualmente (2015) o aeroporto opera com movimento operacional reduzido em mais de 70%, devido ao aumento do preço dos insumos para funcionamento das escolas de aviação. Com esse novo cenário, novo modelo pode ser elaborado para avaliar o efeito da redução das operações e das medidas adotadas. Ressalta-se que um estudo de percepção da população e a análise do

zoneamento urbano, em conjunto com o zoneamento acústico, podem indicar fragilidades e melhor orientar as medidas mitigatórias necessárias.

Em um futuro trabalho será elaborado um mapa, em ferramenta SIG, com a espacialização dos dados de reclamações no entorno do aeroporto. Pretende-se dar continuidade a este trabalho com aprimoramento do modelo acústico e com a análise em conjunta desse modelo com o mapa de reclamações e registros de incômodo da população, bem como analisar as medidas mitigatórias adotadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARBOSA, A. R. *Influência do ruído aeronáutico na população que reside nas imediações da Base Aérea de Santa Maria*. 2011. Dissertação (Mestrado na Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental) - Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Santa Maria.
2. BRASIL. RBAC N° 161 – PLANOS DE ZONEAMENTO DE RUÍDO DE AERÓDROMOS – PZR. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). 2013.
3. GIOVANELLI NETO, A. *Análise do ruído aeronáutico no entorno do aeroporto de São José dos Campos*. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade de Taubaté, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté, Taubaté.
4. HORONJEFF, R. *et al. Planning and Design of Airports*. 5 ed, New York: Mc Graw-Hill, 2010.
5. INFRAERO - EMPRESA BRASILEIRA DE INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA. 2014. Diretoria de Operações. Arquivo interno.