



Universidade Federal do Rio de Janeiro
Escola Politécnica
Programa de Engenharia Urbana

Mariani Dan Taufner

DIAGNÓSTICO SONORO AEROPORTUÁRIO EM UNIDADES DE ENSINO:
ESTUDO DE CASO DO AEROPORTO DE VITÓRIA-ES

Rio de Janeiro
2018

Mariani Dan Taufner

DIAGNÓSTICO SONORO AEROPORTUÁRIO EM UNIDADES DE ENSINO:
ESTUDO DE CASO DO AEROPORTO DE VITÓRIA-ES

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientadores: Julio Cesar B. Torres
Jules Ghislain Slama

Rio de Janeiro
Abril de 2018

DIAGNÓSTICO SONORO AEROPORTUÁRIO EM UNIDADES DE ENSINO:
ESTUDO DE CASO DO AEROPORTO DE VITÓRIA-ES

Mariani Dan Taufner

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA – ESCOLA POLITÉCNICA,
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA URBANA.

Aprovada por:

Prof. Julio Cesar Boscher Torres, D.Sc.

Prof. Jules Ghislain Slama, Ph.D.

Prof. Tânia Cristina de Menezes Caldas, D.Sc.

Prof. Ana Paula Gama, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

ABRIL DE 2018

Dan Taufner, Mariani

Diagnóstico sonoro aeroportuário em unidades de ensino: Estudo de caso do Aeroporto de Vitória-ES/Mariani Dan Taufner. – Rio de Janeiro: UFRJ/POLI, 2018.

X, 78 p.: il.; 29, 7cm.

Orientadores: Julio Cesar B. Torres

Jules Ghislain Slama

Dissertação (mestrado) – UFRJ/POLI/Programa de Engenharia Urbana, 2018.

Referências Bibliográficas: p. 59 – 63.

1. Poluição sonora. 2. Ruído Aeroportuário. 3. Diagnóstico sonoro. I. Torres, Julio Cesar B. *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, POLI, Programa de Engenharia Urbana. III. Título.

*Dedico essa dissertação a minha
mãe Maria; meu irmão Rodolfo;
meu pai Edimar, que tenho
certeza que estaria orgulhoso de
mais essa conquista; e ao meu
namorado Yuri*

Agradecimentos

Agradeço

A minha mãe Maria e irmão Rodolfo pela força, apoio e por estar sempre do meu lado.

Yuri, pelo amor, carinho e compreensão. Sou muito privilegiada por tê-lo sempre perto.

Aos meus tios Odila e Clóvis por acreditar sempre nos meus estudos, pela dedicação e constante incentivo.

Aos professores Julio Boscher e Jules Slama pela assistência, confiança e orientação.

Ao grupo GERA, Jules Slama, Filippe Lemos, Pedro Rodrigues e, em especial, Ana Paula Gama pelo suporte e ajuda no desenvolvimento do trabalho. E também a Tânia Caldas pelo auxílio e apoio.

Aos amigos do mestrado, Verônica Oliveira, Alice Magalhães, Hugo Vargas e Iuri Carvalho, pelo carinho. Tenho certeza que seremos sempre amigos.

Aos amigos que fiz no novo lar, Marília Luna, Gian Orsini, Pedro Anil, Rafaela Dias e Diego Paixão pela paciência e amizade.

Aos amigos da biblioteca que estiveram comigo durante os momentos finais do trabalho, Carolina Lannes, Mariana Pinhel, Felipe Brulher, Rogério Seibert, Louise Bastos, Paula Rocha, Marina Oliveira, July Mello, Eliara Quevedo, Thaís Moreth e Miguel Martins pelo estímulo e inspiração.

RESUMO

DAN TAUFNER, Mariani. **Diagnóstico sonoro aeroportuário em unidades de ensino: Estudo de caso do Aeroporto de Vitória-ES**. Rio de Janeiro, 2018. Dissertação (Mestrado). Programa de Engenharia Urbana, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018.

Este trabalho tem como objetivo apresentar um modelo de diagnóstico ambiental sonoro para unidades de ensino localizadas no entorno de aeroportos. O modelo proposto visa auxiliar na identificação de critérios de dimensionamento do impacto sonoro provenientes das operações de pouso e decolagem das aeronaves. Para isso, foi utilizado como estudo de caso o aeroporto de Vitória-ES. O método baseia-se no mapeamento do ruído e na verificação do ambiente sonoro ao nível dos receptores. Essa averiguação tem como base a análise de diferentes métricas de dimensionamento do ruído: a usada pelas autoridades aeroportuárias - Nível de Ruído Médio Dia-Noite (*DNL*); aquela indicada pela NBR 10151 - Nível de Ruído Equivalente para o período diurno (horário de funcionamento das escolas), *LD*; e, por fim, a indicada pelo Programa de Investigação Aeroportuária Cooperativa - TALA para análise do ruído em escolas. As simulações acústicas foram realizadas por meio do software INM 7.0, em conjunto com software de sistema de informação geográfica, para a identificação dos receptores críticos. Além disso, como forma de complementar o trabalho e de auxiliar na compreensão do diagnóstico sonoro, foi proposto um índice de interferência do ruído aeroportuário nas atividades escolares. Os resultados mostram que os critérios usados pelas autoridades municipais e aeroportuária para caracterizar o ruído aeronáutico em salas de aula são insatisfatórios e não refletem os problemas gerados pela natureza intermitente do tipo de ruído. Desse modo, o diagnóstico proposto contribuiu para evidenciar esse fator de incômodo e com isso auxiliar na compreensão do impacto sonoro.

ABSTRACT

DAN TAUFNER, Mariani. . Rio de Janeiro, 2018. Masters Thesis. Urban Engineering Program, Polytechnic School, Federal University of Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2018.

This study aimed to present a model of environmental sound diagnosis for schools located in the vicinity of airports. The purpose of this model is to assist in the identification of a criteria for scaling the sound impact of aircraft landing and take-off operations. Thereunto, it was used as a case study the airport in the city of Vitória, located in the brazilian state Espírito Santo. The method is related to noise mapping and verification of the sound environment at the receiver level. This investigation is based on an analysis of noise metrics: the one used by airport authorities - Day-Night Average Noise Level (*DNL*); the one indicated by NR 10151 - Noise Level Equivalent to the daytime period (school hours), *LD*; and finally the one designated by the Cooperative Airport Research Program - TALA for noise analysis in schools. The acoustic simulations were made using the INM 7.0 software and also a geographic information software, in order to identify the critical receivers. In addition, as a complement and to assist the understanding of the sound diagnosis, a "airport noise interference index in school activities". The results show that the criteria utilized by the municipal and airport authorities to describe the airport noise are unsatisfactory and do not reflect the problems generated by the intermittence of this noise type. Thereby, the proposed diagnosis helped to highlight this discomfort factor and thus aid in the understanding of the sound impact.

Sumário

Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	x
1 Introdução	1
1.1 OBJETIVO	3
1.1.1 Objetivo Geral	3
1.1.2 Objetivo Específico	3
1.2 Método de trabalho	3
1.3 Etapas de elaboração do trabalho	4
2 Revisão Bibliográfica	5
2.1 Conceitos Fundamentais	5
2.2 Métricas de Avaliação do Ruído	10
2.2.1 Níveis equivalentes para diferentes períodos do dia	10
2.2.2 Nível de Ruído Médio Dia-Noite	10
2.2.3 Métricas de Tempo de Exposição	11
2.3 Ferramentas de predição do ruído urbano	12
2.4 O ruído nas escolas	12
2.5 O ruído aeroportuário	13
2.6 A Integração Aeroporto-Cidade	14
2.6.1 Zoneamento urbano e delimitação das áreas e dos níveis de ruído	15
2.6.2 Plano de zoneamento do ruído	16
3 Diagnóstico sonoro de aeroportos: estudo de caso	20
3.1 Caracterização do aeroporto	20
3.2 Delimitação da área de estudos	27
3.3 Identificação dos receptores críticos	35
3.4 Multicritério dos níveis de ruído nos receptores - unidades de ensino .	37
3.4.1 Identificação dos níveis de ruído nas unidades de ensino	37
3.5 Verificação de compatibilidade entre TALA medido e simulado	39
3.6 Comparação dos resultados do TALA entre receptores	44

3.7	Índice de interferências do ruído aeroportuário nas atividades escolares	49
4	Análise dos resultados	53
5	Considerações Finais	56
5.1	Limitações do estudo	57
5.2	Recomendações para trabalhos futuros	58
	Referências Bibliográficas	59
A		64

Lista de Figuras

1.1	Esquema cidade-aeroporto	2
2.1	Propagação Sonora	6
2.2	Variação da amplitude sonora	6
2.3	Relação entre pressão sonora e níveis de pressão sonora	7
2.4	Comprimento de onda sonora λ	8
2.5	Curvas de Audibilidade	8
2.6	Curvas de Ponderação	9
2.7	Conceito de métrica do ruído	9
3.1	Mapa de localização do aeroporto STBV	21
3.2	Imagem aérea, 1970	23
3.3	Imagem aérea, 1978	23
3.4	Imagem aérea, 1998	24
3.5	Imagem aérea, 2005	25
3.6	Imagem aérea, 2007	25
3.7	Imagem aérea, 2012	26
3.8	Imagem aérea, 2017	26
3.9	Esquema simplificado para uso do INM	30
3.10	Curvas de ruído - 2017, métrica <i>DNL</i>	32
3.11	Curvas de ruído - 2017, métrica <i>LD</i>	33
3.12	Curvas de ruído - 2017, métrica <i>LN</i>	34
3.13	Identificação dos receptores críticos	36
3.14	Localização receptor M-F 1	40
3.15	Fotografia da fachada principal do edifício	41
3.16	Fotografia da rua de acesso ao edifício	41
3.17	Gráfico de comparação entre os valores do TALA medido e simulado	43
3.18	Localização dos receptores críticos M-F1 e P-IF4	45
3.19	Gráfico TALA60, receptores M-F1 e P-IF4	46
3.20	Gráfico TALA70, receptores M-F1 e P-IF4	46
3.21	Gráfico TALA80, receptores M-F1 e P-IF4	47

3.22	Gráfico TALA90, receptores M-F1 e P-IF4	47
3.23	Relação entre a posição dos receptores e o seu tempo de exposição acima dos 60dB(A) de referência	48
3.24	Gráfico TALA70 e o índice de interrupção para M-F1	50
3.25	Gráfico TALA70 e o índice de interrupção para P-IF4	51

Lista de Tabelas

2.1	Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)	17
2.2	Usos (in)compatíveis para áreas abrangidas por PBZR e PEZR	19
3.1	Caracterização do Aeroporto Eurico de Aguiar Salles	28
A.1	Rotas e seus segmentos	64
A.2	Porcentagem por Aeronave e por Rota	65
A.3	Unidades de ensino localizados na área sensível ao ruído aeroportuário	66
A.4	Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 7:00 - 7:59	68
A.5	Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 8:00 - 8:59	68
A.6	Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 9:00 - 9:59	69
A.7	Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 10:00 - 10:59	69
A.8	Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 11:00 - 11:59	70
A.9	Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 12:00 - 12:59	70
A.10	Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 13:00 - 13:59	71
A.11	Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 14:00 - 14:59	71
A.12	Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 14:00 - 14:59	72
A.13	Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 15:00 - 15:59	72
A.14	Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 16:00 - 16:59	73
A.15	Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 17:00 - 18:00	73
A.16	Níveis sonoros dos receptores em <i>DNL</i> e <i>LD</i>	74
A.17	TALA60 dos receptores, em minutos	75
A.18	TALA70 dos receptores, em minutos	76
A.19	TALA80 dos receptores, em minutos	77
A.20	TALA90 dos receptores, em minutos	78

Capítulo 1

Introdução

De modo geral, o ruído faz parte do cotidiano urbano e, com o aumento da vida nas cidades, a poluição sonora tornou-se expressiva. A formação da malha urbana naturalmente cria áreas ruidosas por apresentar inúmeras fontes sonoras provenientes de, por exemplo, transportes, indústrias e canteiros de obras. Somado a isso, o adensamento demográfico das cidades proporciona o aumento de pessoas submetidas a esse ambiente sonoro. Quando se trata da qualidade ambiental sonora, o impacto deve ser determinado considerando a exposição das pessoas submetidas ao ruído e não somente em relação à emissão em si.

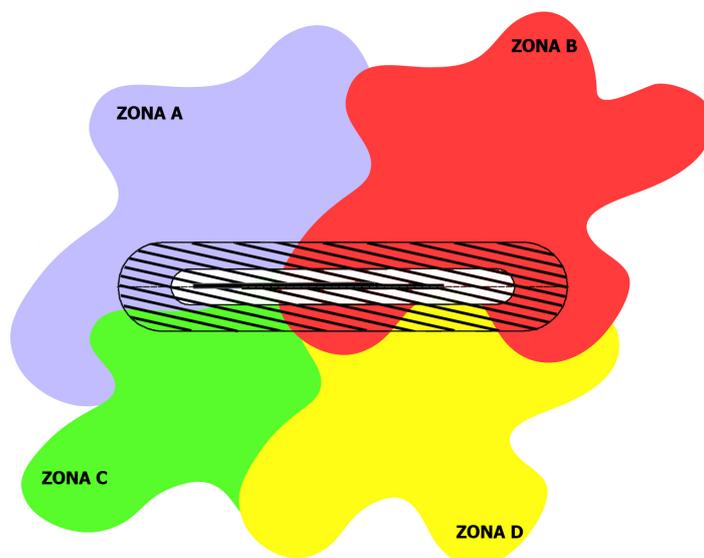
Além disso, não é apenas a quantidade de pessoas expostas ao ruído que determina a magnitude do impacto sonoro. As atividades exercidas por elas também são determinantes. Na escala urbana, os receptores são classificados segundo seus usos, como, por exemplo, hospitais, escolas ou residências. Diante disso, o grau de magnitude da poluição sonora em distintos receptores pode variar. O ambiente escolar, por exemplo, exige concentração do aluno para realização da leitura e consequente aprendizado, o que pode ser prejudicado em condições ruidosas. Do mesmo modo, residências ou hospitais são locais da cidade mais suscetíveis ao impacto do ruído, que influencia na qualidade de vida das pessoas. Diferentemente, para o desenvolvimento de atividades comerciais, industriais ou de recreação, o incômodo é menor do que nos exemplos anteriores. Nota-se, portanto, que a cidade é constituída por receptores cujas atividades exercidas possuem diferentes sensibilidades ao ruído.

Nesse contexto, são considerados receptores críticos aqueles que se caracterizam pela vulnerabilidade quanto aos efeitos do ruído nas pessoas. Os principais exemplos são ambientes educacionais (escolas, creches, universidades) e centros de saúde ou hospitais. Entre eles, o meio escolar destaca-se principalmente pela tipologia dos edifícios. Normalmente o ambiente interno das escolas está em contato direto com o exterior por meio de janelas amplas e abertas, em especial quando os edifícios não possuem ar condicionado e necessitam de ventilação cruzada para climatização. Em virtude disso, o ambiente interno é diretamente exposto ao ruído externo.

No entanto, as cidades brasileiras, em sua maioria, apresentam dificuldades no ordenamento e controle das atividades exercidas. O que, conseqüentemente, proporciona uma relação de conflito entre os usos da cidade. Assim, intensificam-se as áreas passíveis de serem prejudicadas pelo ruído urbano. O entorno de aeroportos é uma região que normalmente se destaca. É comum o envolvimento pela malha urbana apresentar problemas de compatibilidade entre os usos da cidade com o ruído das atividades de pouso e decolagem das aeronaves.

A Figura 1.1 mostra um esboço do conflito de zoneamento do uso do solo. De maneira esquemática, estão representados um aeroporto localizado na cidade e a extensão de abrangência do ruído aeroportuário. A área ruidosa das aeronaves, exibida por hachura em linhas diagonais, ultrapassa o território pertencente ao aeroporto ¹, em cor branca. A área de influência do ruído aeroportuário projeta-se, portanto, em diferentes zonas da cidade, simbolizadas pelas cores azul, vermelho, verde e amarelo. O esquema da figura 1.1 reproduz a ocupação urbana no entorno dos aeroportos, com as diferentes zonas da cidade e seus respectivos usos, sendo estas atingidas pelo ruído das aeronaves.

Figura 1.1: Esquema cidade-aeroporto



Fonte: a autora

Nota-se que o problema do ruído para o cenário aeroporto-cidade carece de articulação entre autoridades municipais e setoriais - estas se dividem em aeronáutica, de aviação civil (ANAC) e aeroportuária. Para que isso seja feito devidamente, o primeiro passo é a identificação efetiva do ambiente sonoro. Esta caracterização, também chamada de Diagnóstico Ambiental Sonoro, fornece os dados para embasar

¹Foi considerada no exemplo a área patrimonial orientada pela INFRAERO, mas não necessariamente ocorre dessa maneira em todos os casos

o reconhecimento dos pontos críticos na cidade e auxiliar nas tomadas de decisão para controlar, prevenir e mitigar o ruído aeroportuário.

Cabe destacar que o diagnóstico sonoro, quando realizado na escala do receptor, apresenta um cenário mais próximo do contexto local. Isso permite uma análise do impacto sonoro próximo da situação particular a ser estudada e contribui para estimar as adequações necessárias de atenuação do ruído para a realização das atividades no edifício. Dessa forma, também contribui para a integração urbana de aeroportos.

A proposição deste trabalho justifica-se na necessidade de uma caracterização mais eficiente do ambiente sonoro no entorno de aeroportos para receptores críticos, com enfoque nas unidades de ensino. Espera-se contribuir para providências mais eficientes quanto a medidas mitigatórias a serem aplicadas em apoio à gestão ambiental.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é avaliar um modelo de diagnóstico ambiental sonoro para unidades de ensino localizadas em áreas vizinhas ao aeroporto por meio de um estudo de caso. Optou-se por empregá-lo no contexto do aeroporto Eurico de Aguiar Salles, na cidade de Vitória – ES.

1.1.2 Objetivo Específico

Para que o objetivo geral seja alcançado, é necessário:

- Mapear o ruído aeroportuário nos receptores críticos, sendo essas unidades de ensino. Para isso, são considerados os prováveis horários de funcionamento das escolas no entorno do aeroporto.

- Analisar os níveis de ruído no receptor de acordo com diferentes métricas do ruído e, com isso, determinar a estratégia mais factual de diagnóstico ambiental sonoro de acordo com a realidade local.

- Propor um índice de interferência do ruído aeroportuário nas atividades escolares, como forma de simplificar as informações relevantes do diagnóstico sonoro.

1.2 Método de trabalho

O método usado para realização do trabalho baseia-se no mapeamento do ruído e na verificação do ambiente sonoro a nível do receptor. Esse método divide-se nas

seguintes etapas:

1.3 Etapas de elaboração do trabalho

1. Delimitação da área de estudos.

Obtenção dos dados operacionais necessários às simulações das curvas de ruído:

- Caracterização físico-espacial do aeroporto;
- Número de movimentos para operações de pousos e decolagens;
- Percentuais de operações;
- Característica da pista de pouso e decolagem;
- Rotas das aeronaves (com base nas cartas de voo do aeródromo);
- Composição da frota de aeronaves;
- Simulação das curvas de ruído por meio do *software* INM 7.0.

2. Identificação de receptores críticos.

- Importação das curvas de ruído para o *software* ArcGIS 10.1;
- Mapeamento de informações georreferenciadas;
- Localização das unidades de ensino.

3. Identificação dos níveis de ruído nos receptores críticos em diferentes métricas.

- Simulação dos níveis de ruído no receptor por meio do *software* INM 7.0.

4. Medição do ruído para verificação da equivalência entre modelo virtual e realidade local.

5. Apresentação de um índice de interferências do ruído aeroportuário nas atividades escolares.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

Este capítulo é constituído por revisões bibliográficas utilizadas para melhor compreensão e embasamento do trabalho. Inicialmente estão os conceitos fundamentais sobre acústica, nos quais os principais aspectos referem-se às características do som, à sua propagação em meio urbano, às métricas de medição e às ferramentas de predição.

Posteriormente, são apresentadas justificativas à escolha do ambiente de ensino como receptor vulnerável em relação ao efeito do ruído nas pessoas. Por último, é dado enfoque ao ruído aeroportuário e à relação dos efeitos na saúde das pessoas, além dos problemas na integração urbana de aeroportos.

2.1 Conceitos Fundamentais

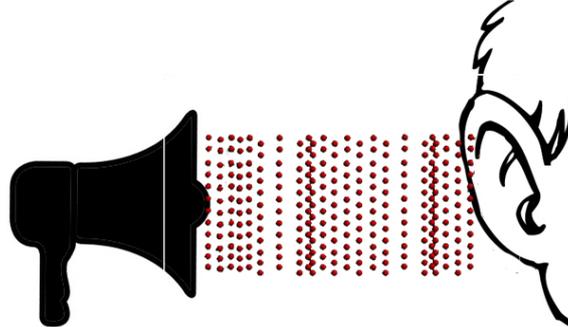
As ondas sonoras são formadas pela variação da pressão no meio e quando captadas pelo aparelho auditivo, produzem uma sensação nos ouvintes. Segundo [1], existem dois conceitos para a palavra "som": o primeiro diz respeito à vibração, relacionada à perturbação física, e o segundo à sensação sonora, relativa aos efeitos psicofisiológicos no ser humano. O julgamento dado pela percepção do som é subjetivo. Dizer o quanto de som se transforma em ruído, ou seja, torna-se um incômodo e interfere negativamente na qualidade de vida das pessoas, depende de fatores como, por exemplo, idade, estado emocional e modo de vida.

Medir o som é importante para a análise científica dos incômodos sonoros que impactam na vida das pessoas. No meio urbano, a medição do som tem o papel de contribuir para o controle dos níveis de ruído provenientes de fontes como tráfego aéreo e terrestre – os principais causadores do ruído nas cidades. A determinação de níveis sonoros é considerada uma ferramenta de "ponto de partida" para auxiliar na avaliação e controle do ruído nas cidades.

A vibração produzida pelo movimento oscilatório de um corpo causa a compressão e a descompressão do ar. Esta variação de pressão é capaz de excitar o

ouvido e produzir o som. A Figura 2.1 mostra a propagação do som de uma fonte ao seu receptor.

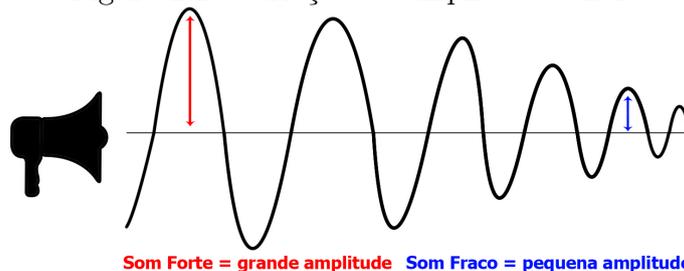
Figura 2.1: Propagação Sonora



Fonte: autora

O ouvido humano é capaz de perceber a amplitude sonora de acordo com a intensidade do som produzido, em watt por metro quadrado (W/m^2). Esta é a qualidade que define se o som é fraco ou forte, comumente chamado de "volume do som". Quanto maior a intensidade do som, maior é a energia transportada e maior é a amplitude sonora. Esta varia de acordo com a distância da fonte e a energia dissipada e transmitida [1–3]. A Figura 2.2 representa um esquema da variação da amplitude das ondas sonoras à medida que se afastam da fonte, em um campo livre de reflexões.

Figura 2.2: Variação da amplitude sonora



Fonte: autora

A energia necessária à produção do som é perceptível para valores acima de $10^{-12}W$, que equivalem a uma pressão de $20 \times 10^{-6}Pa$. No entanto, a faixa de pressão sonora que provoca sensação auditiva é alta. Afim de abranger uma faixa que varia de $20 \times 10^{-6}Pa$ até aproximadamente $60Pa$, é conveniente utilizar o Decibel (dB).

O Nível de Pressão Sonora (NPS), também chamado de Nível Equivalente (L_{eq}) é expresso por uma média energética encontrada para um período de tempo T . A definição é dada pela equação (2.2), segundo [3]:

$$L_{eq, T} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right], \quad (2.1)$$

Na qual $p(t)$ é a pressão instantânea no tempo t , p_0 é a pressão sonora de referência (mínimo da audição) e T é o período de cálculo do nível equivalente. Aplicando-se a ponderação "A" às componentes de frequência de $p(t)$, tem-se o Nível Equivalente Ponderado (L_{Aeq}):

$$L_{Aeq, T} = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right], \quad (2.2)$$

Na qual $p_A(t)$ é a função de pressão ponderada na escala "A".

A Figura 2.3 representa a correspondência entre a pressão sonora e os níveis de pressão sonora para o limite entre audibilidade e dor [2].

Figura 2.3: Relação entre pressão sonora e níveis de pressão sonora

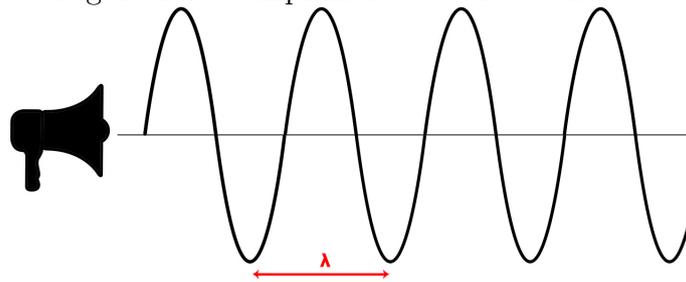


Fonte: BRUNO SILVA [3], modificado pela autora

Porém, não é apenas o nível de pressão sonora que influencia na percepção do som. A frequência f é outro fator que influencia na sensibilidade auditiva, sendo dada pela razão entre a velocidade de propagação do som c e o comprimento de onda sonora λ (Figura 2.4), medida em Hertz (Hz), como na Eq.(2.3).

$$f = c/\lambda \quad (2.3)$$

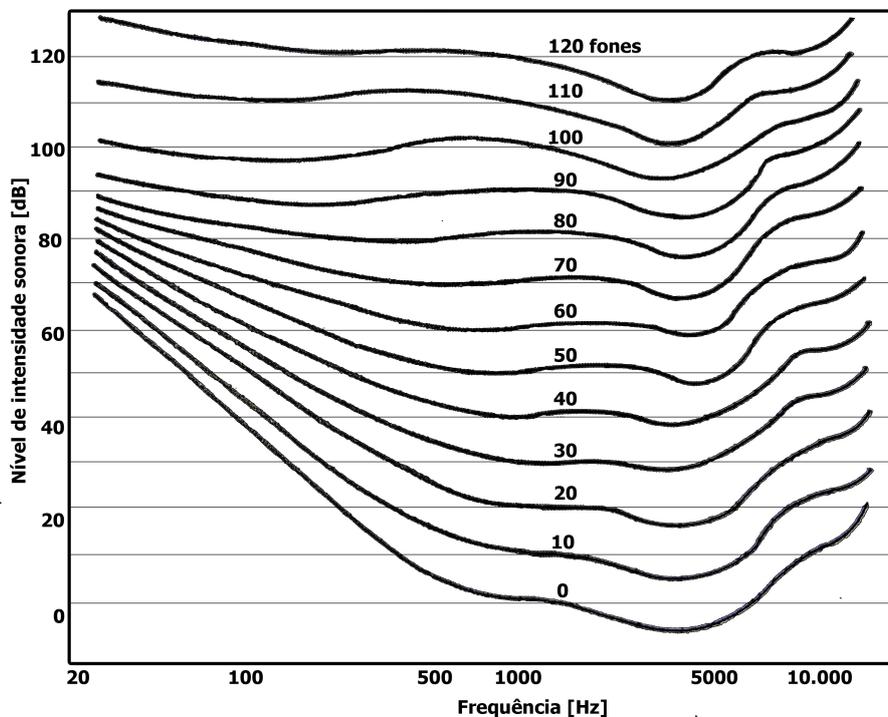
Figura 2.4: Comprimento de onda sonora λ



Fonte: autora

A percepção da intensidade sonora pelo ser humano depende da frequência do som. Para sons com mesma intensidade sonora, pode-se ter diferentes percepções, principalmente se as frequências forem bem distintas. A chamada curva de audibilidade, apresentada na Figura 2.5, representa as variações dos níveis de intensidade sonora psicológica, indicadas pelas curvas isofônicas. Isto é, o nível de audibilidade, determinado em Fones, varia em função da pressão sonora e da frequência. Observa-se, que, quanto maior o nível de pressão sonora, mais uniforme é a sensibilidade auditiva. Para níveis baixos a diferença na percepção da intensidade entre sons graves e agudos torna-se mais evidente.

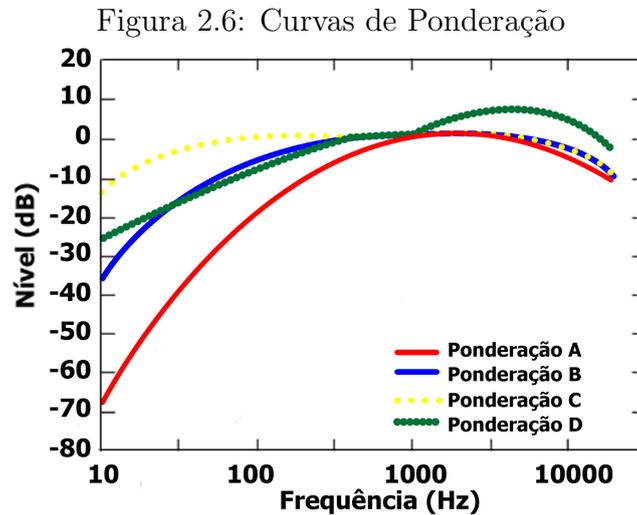
Figura 2.5: Curvas de Audibilidade



Fonte: PERIDES SILVA [1], modificado pela autora

Devido à sensibilidade variável de acordo com o espectro de frequência, para fins de medição sonora são necessárias ponderações que estabeleçam relação entre os

valores medidos e a resposta do ouvido. As curvas de ponderação são apresentadas na Figura 2.6, onde a curva "A" compensa as características da audição humana em função da frequência, aproximando-se da curva de 40 Fones da Figura 2.5. Por isso, normalmente a avaliação do impacto sonoro, quando se trata de efeitos no ser humano, é indicada pela ponderação A, em dB(A).



Fonte: CROCKER [4], modificado pela autora

O impacto sonoro não se restringe à medição do ruído isoladamente. O que determina o impacto é a relação de malefícios causados pelo incômodo e o tempo de exposição que a população está submetida. Segundo [3], métricas de avaliação do impacto sonoro devem relacionar grandezas físicas com o incômodo que o ruído causa nas pessoas, em função da "representatividade temporal". A Figura 2.7 ilustra a relação entre as métricas de ruído, as características físicas e a percepção humana, segundo [3].



Fonte: SILVA [3], modificado pela autora

As métricas podem ser expressas em energia sonora média acumulada, em nível sonoro máximo para um único evento ou em dose de energia para um único evento [3]. A diferença entre elas está em como a métrica é capaz de indicar o ruído em determinado ambiente.

As principais métricas utilizadas no contexto brasileiro são do tipo cumulativas, como mostrado a seguir.

2.2 Métricas de Avaliação do Ruído

2.2.1 Níveis equivalentes para diferentes períodos do dia

O Nível de Ruído Equivalente para um determinado período do dia é calculado a partir do Nível de Pressão Sonora Equivalente L_{Aeq} usando-se os valores de pressão medidos durante o horário e período de tempo de interesse. Os principais períodos são Dia (L_D) e Noite (L_N), sendo em geral definidos respectivamente entre 07:00 e 22:00 h e de 22:00 às 07:00 do dia seguinte. Essa métrica pode ser utilizada pelas autoridades municipais para determinação dos níveis de conforto e aceitabilidade acústica, sendo indicada pela norma de conforto acústico NBR 10151.

O níveis por períodos L_D e L_N são definidos pelas Equações 2.4 e 2.5 [3]:

$$L_D = 10 \log \left(\sum_{i=1}^x 10^{\frac{L_{Aeq,i}}{10}} \right) - 10 \log(54,000) [dB(A)] \quad (2.4)$$

$$L_N = 10 \log \left(\sum_{k=1}^z 10^{\frac{L_{Aeq,k}}{10}} \right) - 10 \log(32,400) [dB(A)] \quad (2.5)$$

2.2.2 Nível de Ruído Médio Dia-Noite

O Nível de Ruído Médio Dia-Noite (*Day-Night Average Noise Level* - DNL) ou L_{DN} consiste em determinar um valor médio do nível de pressão sonora, em dB, para um período de 24h. Para o período entre 22h a 7h são adicionados 10 dB, como forma de penalizar o incômodo que o ruído apresenta no período noturno.

Esta métrica é utilizada no Brasil pela Agência Nacional de Aviação Civil ANAC, sendo indicada pelo Regulamento Brasileiro de Aviação Civil RBAC 161, que determina a elaboração das curvas de ruído que constituem os planos de zoneamento do ruído no entorno de aeroportos.

O L_{DN} é definido pela Equação 2.6 [3], considerando o tempo em segundos:

$$L_{DN} = 10 \log_{10} \left(\sum_{i=0}^{T_1} 10^{\frac{L_{Aeq,i}}{10}} + \sum_{K=T_1}^T 10^{\frac{L_{Aeq,k}+10}{10}} \right) - 10 \log_{10}(86400) [dB] \quad (2.6)$$

Além dessas, existem outras métricas cumulativas de medição do ruído que são aplicadas em diferentes países na busca da representação do incômodo sonoro [5, 6]. Porém, tendo em vista a facilidade de aplicação das métricas DNL e das de nível equivalente, já que são oficialmente empregadas no país, o presente trabalho não considera as demais métricas cumulativas internacionais para fins de dimensionamento do ruído.

No contexto urbano e para integração de aeroportos na cidade, as métricas utilizadas para avaliar o ruído das aeronaves nesse ambiente necessitam de compatibilidade entre elas quanto ao impacto sonoro. Isso ainda não ocorre na prática, sendo inclusive uma preocupação já apresentada por alguns estudos nacionais [7–9].

Segundo [7, 8], as métricas DNL e as de nível equivalente divergem quanto ao alcance da área afetada. Resultado disso é a desigualdade em relação ao número de pessoas atingidas pelo ruído aeronáutico. Logo, para auxiliar as autoridades reguladoras do planejamento urbano no entorno de aeroportos, é desejável que essas métricas sejam consideradas complementares, ou seja, possuam o mesmo impacto em termos de extensão atingida.

Já o trabalho efetuado por [9] mostra que, diferente do DNL , os níveis L_D e L_N fornecem médias mais adequadas à avaliação do ruído da aeronave. Isso porque uma média para cada período do dia apresenta com maior rigor os impactos quanto ao ruído decorrente das operações aeroportuárias.

Tendo em vista o interesse pela busca do diagnóstico ambiental sonoro com ênfase no ambiente escolar, buscou-se também investigar métricas específicas para análise de ruído em escolas.

2.2.3 Métricas de Tempo de Exposição

Uma métrica que calcula a quantidade de tempo que um ruído ultrapassa determinado nível é denominada em inglês por *Time Above Level (TALA)* ou simplesmente TA , para significar um tempo de exposição à nível de ruído. Essa é uma métrica que representa a dose de energia para um conjunto de eventos dentro de um período de tempo. Ela determina a quantidade de tempo, normalmente em minutos, que o ruído em excede um valor determinado [10][11]. Por exemplo, se o limiar escolhido for de 70 dB(A), a métrica TALA 70 indicará quantos minutos o nível de ruído permaneceu acima desse valor. Ademais, essa métrica pode ser aplicada para qualquer intervalo de tempo, isto é, durante 24h, somente período diurno ou noturno, em apenas 1h, entre outros.

Segundo *Airport Cooperative Research Program ACRP* [11], essa é a métrica mais favorável à investigação do impacto sonoro em escolas. Isso porque é possível quantificar os excessos de ruído que interferem na compreensão da fala e que, portanto, prejudicam o desenvolvimento cognitivo dos alunos. À vista disso, o uso da TALA pode ser útil para identificar escolas ou mesmo demais receptores críticos que apresentam problemas em relação ao ruído em excesso.

2.3 Ferramentas de predição do ruído urbano

O mapa de ruído, também chamado de mapa acústico, é uma estratégia para tornar mais clara a visualização e, conseqüentemente, facilitar a articulação dos responsáveis pela gestão do território. O procedimento consiste em criar mapas similares aos topográficos, com suas curvas de nível, porém com a representação dos níveis de ruído no plano. A norma ISO 1996-2 [12] possui orientações quanto à padronização das cores e dos intervalos das curvas para a produção dos mapas de ruído.

Essa elaboração pode ser feita por medições com aparelhos específicos ou por meio de *software*. O primeiro caso é possível determinando-se uma malha de pontos para realização das medições. Já o segundo é uma simulação computacional em que são inseridos os dados e projeta-se uma versão virtual. A vantagem das simulações está no nível de detalhe projetado, no tempo de realização, na atualização dos mapas de ruído e na produção de cenários futuros. Porém, a medição pode ser usada como forma de certificação da confiabilidade dessas projeções. Para isso, é indicado uma calibração do modelo virtual, na qual são feitas algumas medições *in loco* para verificação de similaridade entre o modelo virtual e a realidade local [13].

Seja por simulação ou medição, a determinação dos níveis de ruído no plano da cidade ajuda no processo de avaliação sonora no meio urbano. A necessidade de se determinar as áreas de exposição da população e os receptores críticos ao ruído vem sendo adotados como critérios para fixar metas e prazos na redução do barulho nas cidades, bem como para antecipar condições sonoras futuras. Somado a isso, a integração dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com os mapas de ruído é uma alternativa de auxílio para prospecção do impacto do ruído nas cidades.

Internacionalmente, a Diretiva 2002/49/CE [14], do Parlamento Europeu, recomenda o uso de mapas de ruído como ferramenta para a avaliação do impacto sonoro e o planejamento territorial das cidades. No Brasil, isso não é obrigatório. Mesmo assim, é possível notar uma mudança de perspectiva, ainda que reduzida, pela proposição do Projeto de Lei Municipal 75/2013, aprovado em 22 de junho de 2016, que obriga a criação dos mapas de ruído para a cidade de São Paulo, por exemplo.

2.4 O ruído nas escolas

Já se sabe que o ruído em excesso pode trazer problemas para qualidade de vida das pessoas. Seus efeitos psicológicos e fisiológicos são comumente citados pela comunidade acadêmica, indicando comprometimento auditivo, interferência na comunicação, distúrbio no sono [15], efeitos cardiovasculares e psicológicos [16–19], entre outros [20]. As emissões sonoras, notoriamente quando em excesso e constante

exposição, provocam efeitos negativos à saúde da população, além de transtornos para o cotidiano.

Dentro do ambiente escolar esse problema destaca-se ainda mais. As condições físicas dos edifícios, normalmente em conexão direta com o exterior por meio aberturas, resultam em um ambiente de grande vulnerabilidade dentro da cidade, trazendo consequências para o aprendizado dos alunos.

Segundo [21], a poluição sonora causa a diminuição no desempenho dos estudantes, variando de acordo com o tipo de ruído ao qual está exposto e as atividades educacionais realizadas. Também pode ser apontado o aumento de agressividade [22] e o prejuízo na capacidade de concentração na realizações de tarefas. Além disso, podem ser citados danos causados à inteligibilidade da fala e na leitura, que têm impacto considerável no desenvolvimento escolar e na memória das crianças [23–25].

De acordo com [26], a inteligibilidade da fala é prejudicada porque o ruído atrapalha a compreensão sobretudo das consoantes, principais responsáveis pelo entendimento da palavra falada. Essas são reproduzidas com menos energia do que as vogais e, por isso, são mascaradas mais facilmente. Portanto, ainda que um palestrante ou professor, por exemplo, tenda a falar "mais alto", a clareza do que está sendo dito não é um fator proporcional à intensidade da fala.

Vale lembrar que as circunstâncias do ruído em excesso nas escolas indicam não somente consequências negativas na qualidade da aprendizagem dos alunos e no desenvolvimento de habilidades cognitivas, mas também na condição de trabalho dos professores e funcionários.

2.5 O ruído aeroportuário

Em áreas circunvizinhas a aeroportos, os prejuízos que o ruído causa para o ser humano potencializam-se. Isso porque as atividades aeroportuárias provocam ruído com intensidade elevada e intermitente. No entanto, ainda assim os atributos positivos da proximidade com o aeroporto que são, por exemplo, mais oportunidades de emprego e facilidade de conexões intermunicipais, apresentam vantagens que aumentam a tolerância ao ruído de aeronaves.

O aumento da malha urbana em proximidade com os aeroportos e o consequente adensamento demográfico da região marcam a elevação do número de pessoas submetidas ao ruído aeroportuário. Vale ressaltar que esse ruído atinge não somente aqueles que residem no entorno imediato, podendo influenciar áreas mais afastadas do sítio aeroportuário [27].

No que diz respeito aos efeitos adversos do ruído proveniente de atividades aeroportuárias, destaca-se a perda de sensibilidade das pessoas quanto à variação do

nível de ruído de aeronaves. Conforme [28], as pessoas que vivem no entorno dos aeroportos tendem a se acostumar com o seu som. Os resultados obtidos com a pesquisa mostram que, quanto mais tempo as pessoas ficam expostas ao ruído, menor é a capacidade de se notar seu aumento de intensidade. Portanto, o tempo que elas permanecem expostas ao ruído está diretamente relacionado à probabilidade de se acostumarem a ele.

Ainda segundo [28], o ser humano percebe com maior dificuldade o aumento do ruído do que sua diminuição. Essas duas conclusões do autor revelam um possível problema, já que pessoas passam a tolerar o ruído e a não perceber seu aumento, tendendo a não buscar meios para sua mitigação.

Dentro do contexto das escolas, o ruído aeroportuário também acentua-se em relação aos demais meios de transporte. O projeto RANCH (*Road traffic and Aircraft Noise Exposure and Children's Cognition and Health*) [24, 25] identificou a exposição ao ruído específico de aeronaves como o principal fator prejudicial à compreensão de leitura das crianças. A pesquisa também foi realizada para o ruído de tráfego, no entanto sua natureza constante, em comparação àquela intermitente de aeronaves, faz com que as crianças habituem-se ao ruído de fundo e, diferentemente, sejam distraídas pelo barulho de aviões.

2.6 A Integração Aeroporto-Cidade

O cenário cidade-aeroporto possui numerosos interesses que confrontam-se. No entorno de aeroportos os conflitos a respeito da ocupação do solo são acentuados. Isso prejudica a integração com a cidade, pois o gerenciamento da zona que circunda os aeroportos necessita da compatibilização entre autoridades governamentais e setoriais (aeronáuticas e aeroportuárias), que constantemente divergem. Isso porque precisam chegar a um acordo sobre as restrições necessárias quanto ao nível de ruído, uso do solo, gabarito das edificações, entre outras condicionantes.

O instrumento para gerenciar tais interesses são as legislações restritivas relativas ao planejamento urbano. Sabe-se que a organização territorial, ou seja, o uso e a ocupação do solo para cada área da cidade, é fixada pelo zoneamento municipal [29]. Ele define, portanto, o uso adequado para cada região da cidade e, consequentemente, as restrições a serem aplicadas em função das atividades exercidas.

O problema é que, no Brasil, o crescimento das áreas urbanas caracteriza-se pela vulnerabilidade do controle e da fiscalização do uso e ocupação do solo. Desse modo, contribui para o descumprimento das diretrizes de planejamento local e acarreta o crescimento urbano desordenado e dotado de desacordos gerenciais [30, 31].

Segundo [30], a gestão inadequada quanto ao uso e ocupação do solo provoca, além dos problemas ambientais, possível diminuição da capacidade operacional do

aeroporto. Isso porque a presença da malha urbana no seu entorno dificulta sua operacionalização. Ou seja, restrição do potencial de utilização e, conseqüentemente, prejuízos nos investimentos.

Nota-se, portanto, que a permanência e a preservação dos aeroportos, em face à inevitabilidade da expansão urbana, só são possíveis com as autoridades setoriais trabalhando em conjunto com as municipais. Contudo, para que a integração urbana de aeroporto aconteça, são necessárias premissas de desenvolvimento a longo prazo [32]. Exemplo disso é a compatibilidade entre o zoneamento urbano e os Planos de Zoneamento do Ruído de Aeródromos.

2.6.1 Zoneamento urbano e delimitação das áreas e dos níveis de ruído

A resolução A33/7 de 2011, aprovada na 33^a Assembleia da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), estabelece que o planejamento e a gestão do uso do solo nas áreas de entorno dos aeroportos devem servir como diretrizes para as autoridades políticas com o propósito de mitigação do ruído aeroportuário no meio urbano.

Conforme a OACI, a ocupação do entorno de aeroportos deve considerar os níveis de ruído aceitáveis e as áreas de proteção contra acidentes. Ou seja, o uso e a ocupação do solo validadas pela ANAC para regiões circunvizinhas a aeroportos são condicionados pelo incômodo causado pelo ruído (Zoneamento do Ruído - ZR) e pela área de segurança operacional das aeronaves (Zona de Proteção de Aeródromos - ZPA).

A ocupação e o uso do solo, face aos níveis de aceitabilidade do ruído, são baseados nas orientações da norma NBR 10151 [33] – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade. Segundo essa norma, a avaliação do ruído em ambientes externos é dada para dois períodos do dia: médias diurnas e noturnas.

A NBR 10151 é indicada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente, por meio da resolução CONAMA 01/99 [34], para aplicação em todo território nacional. Nela são determinadas as condições de aceitabilidade do ruído em comunidades, visando o conforto acústico ideal para cada tipo de área ocupada. Por isso, é recomendável que o poder público municipal siga a NBR 10151 para o controle da poluição sonora em seus planos diretores.

No contexto da cidade de Vitória a Lei nº 9.141/2017 que dispõe sobre o controle de emissão do ruído urbano diz que os limites impostos são dados pelo Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente COMDEMA. Este intitula a NBR10151 como parâmetro para a medição e avaliação do ruído urbano.

No âmbito das autoridades setoriais, as compatibilizações quanto ao uso do solo

são determinadas pelo Plano de Zoneamento de Ruído de Aeródromos. Ele é regido pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) por meio do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil RBAC 161 [35]. Seu objetivo é representar a área de impacto do ruído aeronáutico e, associado à distribuição adequada dos tipos de uso, conciliar as atividades locais com os procedimentos de operação nos aeródromos. A RBAC 161 utiliza como parâmetro a métrica *Day Night Level* - DNL.

De acordo com o regulamento RBAC 161 [35], a curva de ruído de 65 dB(A) pela a métrica DNL limita o entorno de zona submetida às autoridades de aviação civil em relação às atividades sensíveis ao ruído. Portanto, é dentro dessa demarcação que se encontra a área de maior conflito para integração urbana de aeroportos com a cidade.

A determinação do zoneamento urbano, responsabilidade das políticas municipais, nem sempre é compatível com o plano de zoneamento dos entornos de aeroportos. Cidades que se baseiam na NBR 10151 para o controle do ruído externo consideram médias acústicas diurnas e noturnas. Diferentemente, o plano de zoneamento dos entornos de aeroportos leva em conta uma média acústica dia-noite. Constata-se, portanto, dificuldade de compatibilização entre os critérios que abrangem questões acústicas e ocupação do solo nos arredores dos aeroportos.

Verifica-se que os desafios de consenso entre as recomendações das autoridades municipal e de aviação civil, junto às negligências na fiscalização, confirmam a necessidade de maior prudência no controle do ruído urbano no entorno de aeroportos.

De acordo com [36], o diagnóstico ambiental é a etapa da avaliação do impacto ambiental que descreve as condições existentes em determinada área no período atual. Entre os principais objetivos do diagnóstico estão prover dados para reconhecimento e análise de impactos e facilitar na adesão de projetos e planos para gestão ambiental. Contribuindo, portanto, para o planejamento de projetos que busquem evitar impactos.

O diagnóstico ambiental sonoro, como um estágio da avaliação do impacto ambiental sonoro, é um instrumento de apoio à gestão e ao planejamento das cidades. Principalmente quando refere-se ao entorno de aeroportos. Isso porque a análise do diagnóstico sonoro permite preconizar recomendações de integração urbana de aeroportos, considerando as particularidades do zoneamento urbano e da exposição ao ruído.

2.6.2 Plano de zoneamento do ruído

A disciplina do uso e da ocupação do solo é de fundamental importância para o ordenamento adequado das atividades nas cidades, sendo feita pelo zoneamento. Esse é o instrumento que permite a regulamentação das atividades em função do

ruído urbano [30].

As restrições acústicas quanto ao tipo de área externa são dadas pela NBR 10151 e apresentadas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1: Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana/hospitais/ escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Para o entorno de aeroportos, de acordo com o Regulamento Brasileiro de Aviação Civil [35], o Plano de Zoneamento de Ruído de Aeródromos pode ser classificado como Plano Básico de Zoneamento de Ruído (PBZR) ou Plano Específico de Zoneamento de Ruído (PEZR). A diferença entre eles é apresentada pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC):

“O PBZR é composto pelas curvas de ruído de 75 e 65 dB, ao passo que o PEZR é composto pelas curvas de ruído de 85, 80, 75, 70 e 65 dB. A principal diferença é que o PBZR é um plano com curvas pré-configuradas e é aplicado aos aeroportos de menor movimento de aeronaves (inferior a sete mil movimentos/ano). O PEZR, por sua vez, é exigido para aeroportos com movimento superior a este valor e/ou que já apresentem ocupação de seu entorno com usos incompatíveis com o ruído aeronáutico.” [35]

A Tabela 2.2 representa os dados extraídos da RBAC 161[35] para usos compatíveis e incompatíveis dentro das áreas abrangidas pelos planos PBZR e PEZR.

Notas da Tabela 2.2:

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.

Tabela 2.2: Usos (in)compatíveis para áreas abrangidas por PBZR e PEZR

USO DO SOLO	Nível de ruído médio dia-noite (dB)								
	PBZR			PEZR					
	<65	65-75	>75	<65	65-70	70-75	75-80	80-85	>85
Residencial									
Uni e multifamiliares	S	N(1)	N	S	N(1)	N(1)	N	N	N
Temporários	S	N(1)	N	S	N(1)	N(1)	N(1)	N	N
Permanente	S	N(1)	N	S	N(1)	N(1)	N	N	N
Usos Públicos									
Educacional	S	N(1)	N	S	N(1)	N(1)	N	N	N
Saúde	S	30	N	S	25	30	N	N	N
Igrejas, auditórios	S	30	N	S	25	30	N	N	N
Serviços	S	25	N	S	S	25	30	N	N
Transportes	S	25	35	S	S	25	30	35	35
Estacionamentos	S	25	N	S	S	25	30	35	N
Usos Comerciais e serviços									
Escritórios	S	25	N	S	S	25	30	N	N
Comércio atacadista	S	25	N	S	S	25	30	35	N
Comércio varejista	S	25	N	S	S	25	30	N	N
Utilidade pública	S	25	N	S	S	25	30	35	N
Comunicação	S	25	N	S	S	25	30	N	N
Usos Industriais e de Produção									
Indústrias em geral	S	25	N	S	S	25	30	35	N
De precisão	S	25	N	S	S	25	30	N	N
Agricultura/floresta	S	S(3)	S(4)	S	S(2)	S(3)	S(4)	S(4)	S(4)
Pecuária	S	S(3)	N	S	S(2)	S(3)	N	N	N
Mineração e pesca	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Usos Recreacionais									
Estádios e ginásios	S	S	N	S	S	S	N	N	N
Anfiteatros	S	N	N	S	N	N	N	N	N
Exposição agro-pecuárias/zoológicos	S	N	N	S	S	N	N	N	N
Parques/acampamentos	S	S	N	S	S	S	N	N	N
Golf/hípicas/parques aquáticos	S	25	N	S	S	25	30	N	N

Capítulo 3

Diagnóstico sonoro de aeroportos: estudo de caso

Este capítulo especifica os procedimentos fundamentais para diagnóstico sonoro de aeroportos com enfoque em unidades de ensino e tendo como estudo de caso o aeroporto de Vitória-ES. Trata-se de uma análise multicriterial dos níveis de ruído nas escolas para caracterização sonora desses receptores críticos.

Baseado no mapeamento do ruído aeroportuário, a estrutura deste capítulo está dividida em tópicos que detalham o procedimento necessário ao diagnóstico do ruído aeroportuário. Porém, de maneira a complementar o trabalho e justificar a escolha do estudo de caso, primeiramente é desenvolvido um tópico de caracterização físico-geográfica do aeroporto de Vitória-ES.

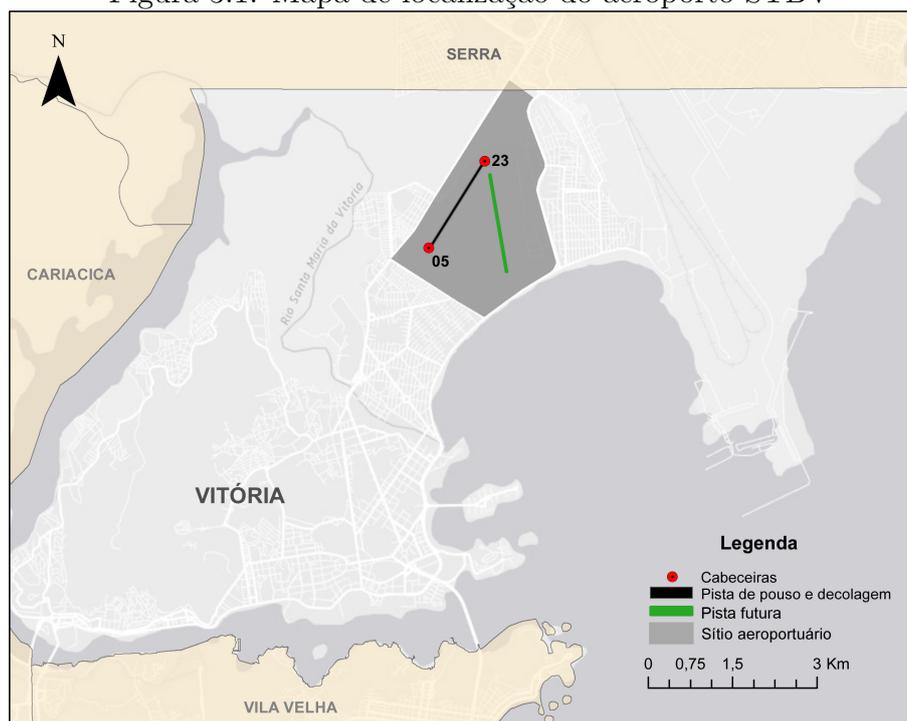
Posteriormente busca-se delimitar a área de estudos e, com o auxílio do georreferenciamento, identificar os receptores críticos considerados. Para, com isso, constatar os níveis de ruído em cada um deles. Além disso, é realizada medição do ruído para o pior caso identificado entre as unidades de ensino selecionadas. Essa etapa é importante para verificar confiabilidade do modelo virtual.

3.1 Caracterização do aeroporto

O aeroporto selecionado para a realização do trabalho é o Eurico de Aguiar Salles, localizado na Av. Fernando Ferrari, nº 3.800, Goiabeiras, Vitória - ES. Segundo a INFRAERO ¹, o sítio aeroportuário possui 5.249 Milhões de m^2 , com capacidade para 3,3 milhões de passageiros por ano. A Figura 3.1 representa os limites da cidade de Vitória, os limites do sítio aeroportuário, a pista de pouso e decolagem e suas cabeceiras.

¹Disponível em: <http://www.infraero.gov.br/voos/index.aspx>

Figura 3.1: Mapa de localização do aeroporto STBV



Fonte: autora

O Aeroporto de Vitória foi inaugurado em 1943 no lugar do antigo Aeroclube da cidade ². Já nos anos 1970, a mudança do perfil econômico do modelo agrário-exportador para o processo de industrialização no Espírito Santo marcou a necessidade de ampliação do aeroporto. A demanda por transporte aéreo de carga e de passageiros apresentou nesse período a inevitabilidade da reformulação do aeroporto para atender às necessidades do perfil econômico em ascensão. Destacaram-se a instalação da Companhia Siderúrgica de Tubarão CST e a ampliação da Universidade Federal do Espírito Santo UFES como alguns dos principais motivadores das atividades econômicas da região próxima ao aeroporto.

Nessa época também se propôs a realocação do aeroporto de Vitória para atender as demandas cada vez maiores e evitar riscos devido à localização considerada inadequada para operações de pouso e decolagem. Segundo noticiado no jornal A Gazeta [37, 38], durante a gestão de Élcio Álvares (1975-1979), os técnicos da Hidroservice Engenharia de Projetos Ltda foram contratados para fazer um estudo de viabilidade do aeroporto existente e para a busca da localização adequada para um novo sítio aeroportuário. Os motivos justificados para isso foram os riscos operacionais devido à proximidade com elevações ou montanhas e o número significativo de construções afetadas pelo barulho dos aviões. Indicando, portanto, que o ruído em excesso, desde os anos de 1970, era considerado um problema para os residentes das

²Disponível em: <http://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-de-vitoria-eurico-de-agauiar-salles/sobre-o-aeroporto/historico/>

proximidades do aeroporto.

Nas décadas de 1980 e 1990 voltou-se a discutir a busca de um novo sítio aeroportuário dentro da Grande Vitória. A justificativa dada nesse momento incluía a sobrecarga de passageiros no aeroporto, estimada em quase 30% acima da capacidade máxima de 360.000 passageiros por ano [39]. Além disso, ressaltou-se a ocupação do entorno do aeroporto pela malha urbana ao longo dos anos como um fator de risco operacional. Apesar disso, a facilidade de mobilidade aérea e terrestre do aeroporto e seu entorno contribuíram para o adensamento populacional nas áreas limítrofes do sítio aeroportuário. Vale lembrar que a presença de um aeroporto requer instalações, como vias de acesso e infraestrutura básica de água, esgoto e energia elétrica, e esses condicionam a valorização do espaço e as atividades imobiliárias.

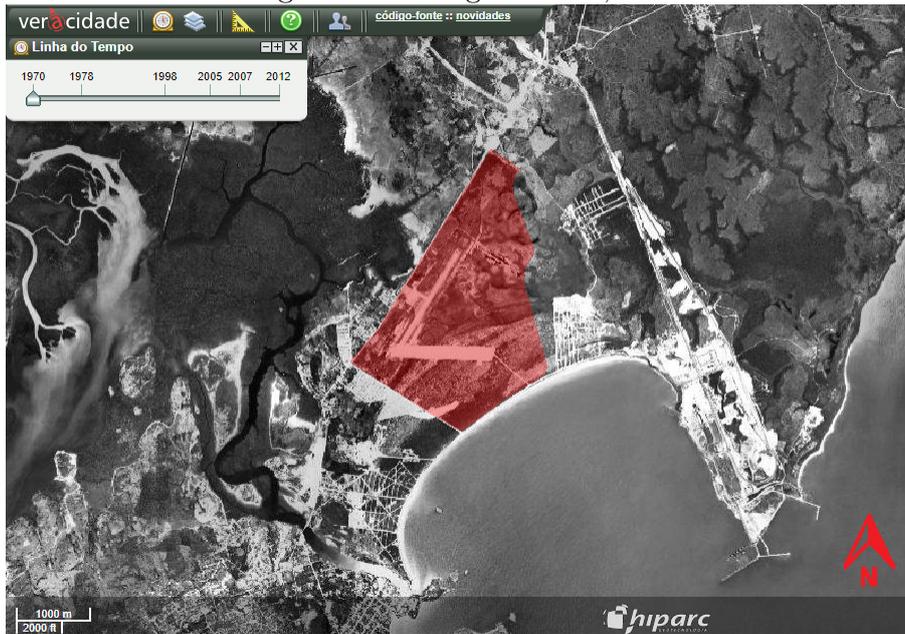
Somado a isso, pode-se evidenciar o desafio do aeroporto de Vitória frente à ainda crescente demanda por atividades aeroportuárias. A cidade conta com aumento em nível econômico e populacional acima da média do país [40], e sabe-se que desde 2003 o transporte aéreo brasileiro de passageiros cresce em torno de 10% ao ano [41]. Além disso, Vitória localiza-se na região Sudeste, onde se encontram os maiores e mais importantes aeroportos brasileiros, com aproximadamente 45% das origens e destinos do país. Trata-se de um dos 20 aeroportos mais importantes do Brasil, esses com 90% do movimento total de passageiros e 96% do movimento total de carga [41]. Diante disso, identifica-se a representatividade operacional e geográfica do aeroporto frente à realidade aeroportuária brasileira.

Porém, embora a construção de um novo aeroporto seja uma discussão antiga, não entrou em vigor. Financeiramente, é mais viável ampliar e reformar o existente do que desativá-lo para construção de um novo. Além disso, o aeroporto de Vitória, apesar das restrições e dificuldades citadas, já no final dos anos 1990 se destacava em termos de faturamento e alcançou a 15^a posição no ranking dos 62 aeroportos administrados pela Infraero no país [37]. Diante disso, surgiu a aspiração de uma nova pista, com o traçado no sentido da Praia de Camburi, prevista para se efetivar em quatro anos contados a partir do início da década de 1990. No entanto, a nova pista ainda está em construção, com previsão de funcionamento para o ano de 2018.

Para fins de visualização, as Figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8 revelam a consolidação do processo de urbanização no entorno do aeroporto durante os anos 1970, 1978, 1998, 2005, 2007, 2012 e 2017, respectivamente.

A Figura 3.2 mostra que nos anos de 1970 a região no entorno do aeroporto ainda se encontrava em processo de loteamento. No geral, a presença de edificações não se destaca e o traçado viário encontra-se pouco conectado.

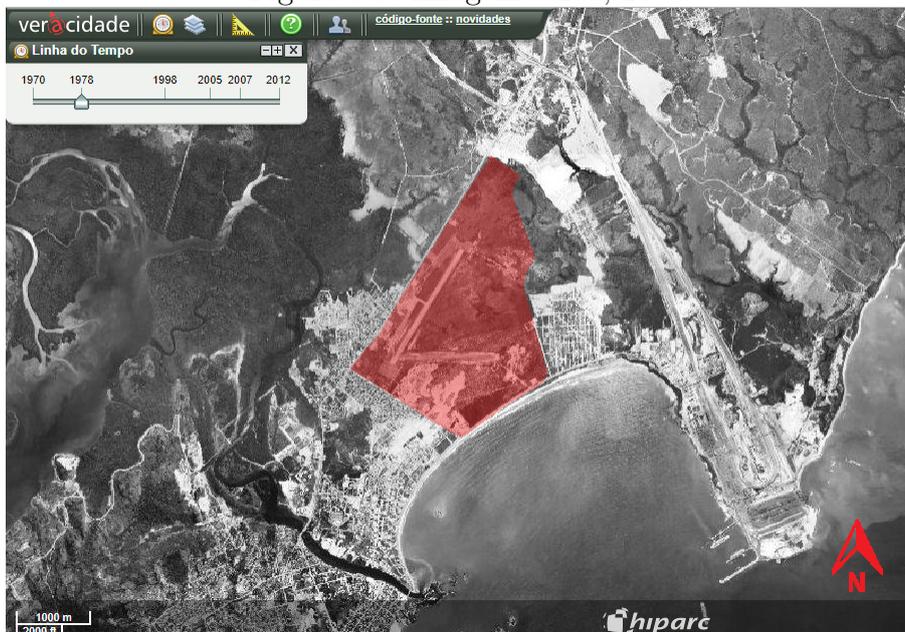
Figura 3.2: Imagem aérea, 1970



Fonte:www.veracidade.com.br

Já no final dos anos 1970, a Figura 3.3 mostra que os bairros ao sul e a oeste do sítio aeroportuário desenvolveram-se significativamente e contornaram o limite da área pertencente ao aeroporto.

Figura 3.3: Imagem aérea, 1978

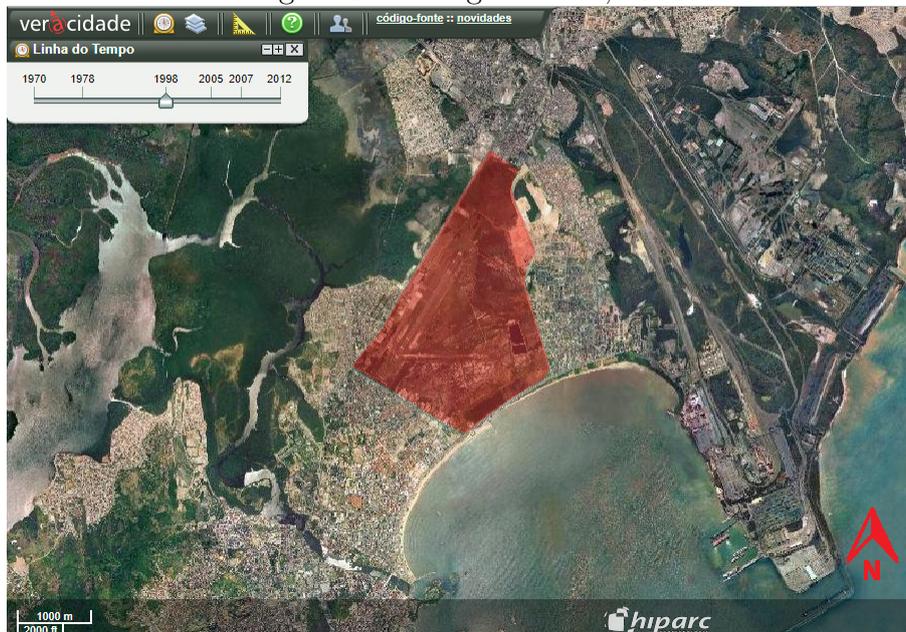


Fonte:www.veracidade.com.br

Em 1998, como demonstrado na Figura 3.4, são as regiões ao norte e a leste do sítio aeroportuário que se destacam quanto à expansão e à ocupação urbana.

É possível perceber também que essa região possui áreas em terra batida. Isso demonstra que ela encontra-se em processo de expansão e será densificada. Além disso, destaca-se essa zona por estar localizada no limite entre os Municípios de Serra e Vitória.

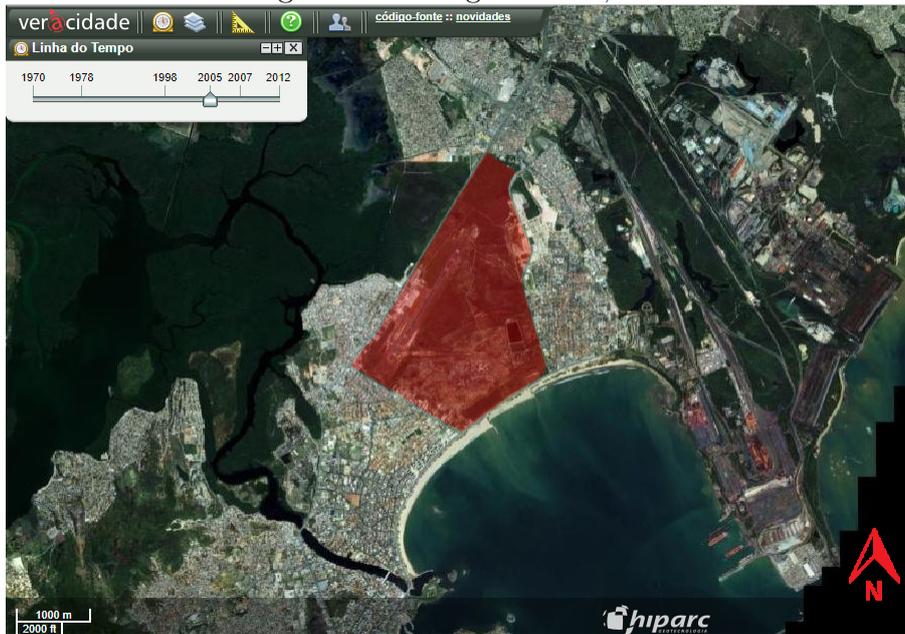
Figura 3.4: Imagem aérea, 1998



Fonte:www.veracidade.com.br

A Figura 3.5 continua a apresentar o processo de densificação no entorno do aeroporto, agora com maior conexão entre as zonas urbanizadas. Essa ocupação torna visível a delimitação da zona pertencente ao aeroporto e da zona de proteção ambiental a noroeste dele.

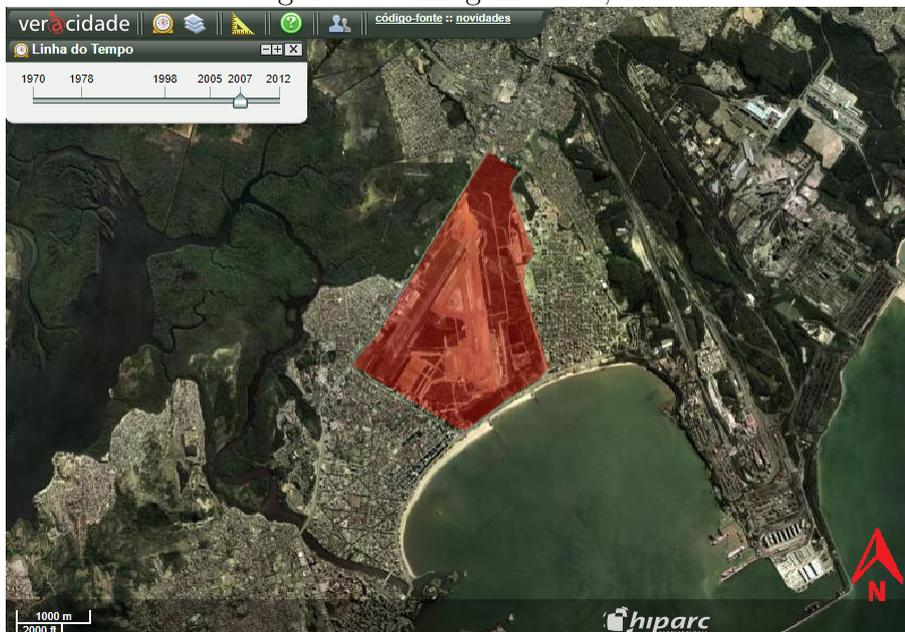
Figura 3.5: Imagem aérea, 2005



Fonte:www.veracidade.com.br

Nota-se que a ocupação urbana do entorno no aeroporto em 2007 - Figura 3.6 já se encontra praticamente restrita. O que se destaca nessa imagem é o início da construção da nova pista de pouso e decolagem.

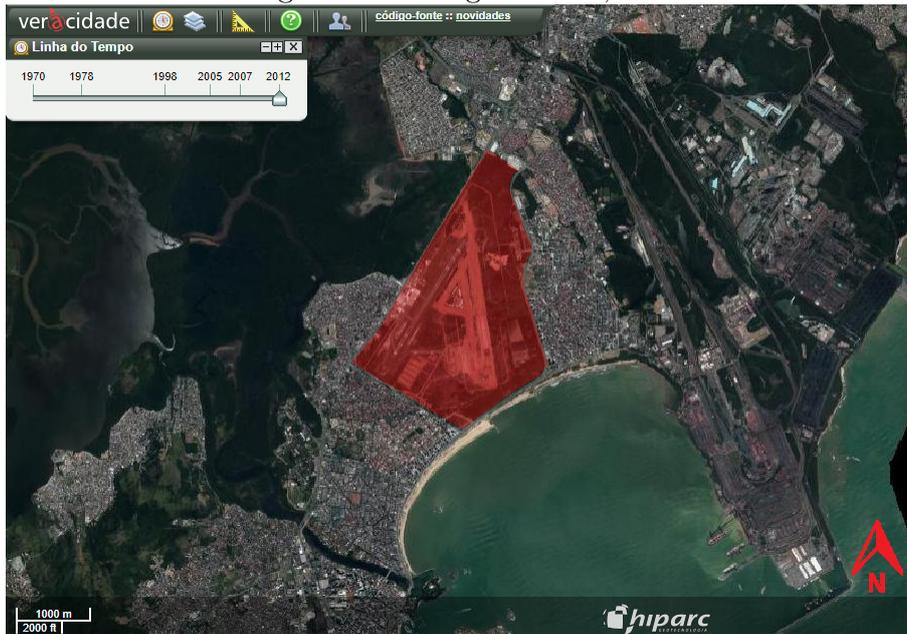
Figura 3.6: Imagem aérea, 2007



Fonte:www.veracidade.com.br

Em 2012 - Figura 3.7, a notoriedade está no contínuo processo de densificação da região, principalmente entre o norte e o leste do aeroporto.

Figura 3.7: Imagem aérea, 2012



Fonte:www.veracidade.com.br

A Figura 3.8 demonstra que atualmente o processo de ocupação/densificação já aparenta atingir o limite possível de especulação imobiliária. A única zona não ocupada no entorno do aeroporto é resultado de proteção ambiental. O que se destaca em relação às demais figuras é o processo de inserção da nova pista do aeroporto, agora asfaltada.

Figura 3.8: Imagem aérea, 2017



Fonte:Google Earth Pro

Resumidamente, a área periférica ao aeroporto conforma-se como um território

em constante transformação. O que nos anos de 1970 eram terrenos parcialmente loteados e pouco ocupados rapidamente tornou-se área de disputa de espaço físico do aeroporto com a população. Em geral, as restrições quanto à ocupação urbana das áreas periféricas do aeroporto de Vitória resumem-se essencialmente a limitar o gabarito das edificações, como medida de segurança operacional. O uso e a ocupação do solo são predominantemente dominados por zonas mistas e residenciais, com exceção da Zona de Proteção Ambiental à noroeste do sítio aeroportuário.

Nesse sentido, a relação do aeroporto com a malha urbana - já instaurada em seu entorno - demanda condições para minimizar os impactos relativos à incompatibilidade quanto ao uso e à ocupação do solo, em destaque no que diz respeito à poluição sonora proveniente das aeronaves. É importante ressaltar que o aeroporto de Vitória passará por modificações significativas. Sabe-se que elas serão responsáveis por alteração considerável na rota das aeronaves e isso remodelará a área sujeita à poluição sonora no entorno do aeródromo. Porém, ainda não existem dados oficiais disponíveis pelo Horário de Transporte HOTRAN ³ quanto aos procedimentos futuros. Portanto, optou-se por utilizar os dados de rota da situação atual do aeroporto, já que estão disponíveis oficialmente na internet. Assim, é possível prever com maior confiabilidade o impacto sonoro ambiental existente, fundamental à proposta do trabalho.

3.2 Delimitação da área de estudos

Para elaboração do diagnóstico ambiental sonoro em receptores críticos no entorno de aeroporto de Vitória, foi necessário delimitar a área de estudos. A demarcação da área teve como base o resultado do mapa acústico da operação do aeroporto. Essa etapa necessitou de dados operacionais e físicos do aeroporto, que foram inseridos no *software* INM 7.0 para geração das curvas isofônicas.

As características físicas do aeroporto foram obtidas no site de Serviço de Informação Aeronáutica (AIS)⁴ e estão apresentadas na Tabela 3.1.

³Disponível em: www.anac.gov.br/hotran

⁴ Disponível em: www.aisweb.aer.mil.br

Tabela 3.1: Caracterização do Aeroporto Eurico de Aguiar Salles

Nome, sigla do aeroporto e localidade	Aeroporto Eurico de Aguiar Salles, SBTV, Vitória-ES
Altitude em metros	4m
Temperatura de referência	25°C
Coordenadas (latitude/longitude)	S 20° 15" 29' W 040° 17" 11'
Coordenadas das cabeceiras da pista	Cabeceira 05 - S 20° 15" 51' W 040° 17" 28' Cabeceira 23 - S 20° 15" 03' W 040° 16" 56'
Comprimento e largura da pista	1750 x 45m
Percentual de utilização	Cabeceira 05 - 65% Cabeceira 23 - 35%

Quanto aos dados operacionais, foram consideradas as atividades de pouso e decolagem para um dia típico de semana do ano de 2017. Isso é possível já que durante a semana as operações do aeroporto não variam significativamente. Outra informação importante foi verificar os tipos e a quantidade de aeronaves que circulam no aeroporto de estudo, já que o transporte de carga costuma ser mais ruidoso do que o de passageiros. Em Vitória, a maioria das aeronaves são para transporte de passageiros. Os horários e os tipos de aeronaves utilizados nas atividades de pouso e decolagem são disponibilizados pela ANAC na página na internet para voos autorizados vigentes, de acordo com o HOTRAN para o ano de 2017.

Além disso, foi necessário saber descrições quanto às rotas de operação e ao percentual de utilização das rotas por cabeceira. Verificou-se quais as rotas existentes e calculou-se a quantidade de voos que percorre cada uma dessas rotas. Cabe ressaltar que do total das operações realizadas, 65% pertencem à cabeceira 05 e os 35% restantes, pertencem à cabeceira 23.

Segundo os procedimentos operacionais apresentados pelo manual de instruções do INM [42], cada cabeceira possui apenas uma rota para pouso - uma reta de 10 km de extensão como segmento único. Dessa forma, sempre existirão somente dois trajetos de pouso, um para cada cabeceira. Com isso, apenas as rotas para decolagem das aeronaves precisaram ser determinadas.

As descrições delas são obtidas por meio das cartas aeronáuticas⁵ - documentos que mostram, em planta baixa, as trajetórias dos aviões para decolagem. Como o arquivo é disponibilizado em PDF, foi necessário importá-lo para o Autocad a fim de determinar as direções e os ângulos dos percursos em relação a cada cabeceira.

⁵Dados obtidos no site de Serviço de Informação Aeronáutica AIS - Disponível em: www.aisweb.aer.mil.br

Esse processo de reprodução das trajetórias é dividido, portanto, em duas partes: pouso e decolagem. Para o pouso, a descrição do trajeto é sempre a mesma, por isso existem somente 2 trajetos, um para cada cabeceira. Para a decolagem, as trajetórias devem ser delineadas de acordo com as cartas aeronáuticas e, conseqüentemente, cada aeroporto terá um número diferente de trajetos por cabeceira. As rotas são descritas na Tabela A.1, inserida no Apêndice A.

Com as trajetórias inseridas no INM, foi preciso definir a porcentagem de voos em cada um dos percursos. Para o pouso é mais simples, pois só existem 2 trajetos e a divisão dos voos é dada pela porcentagem de operação da cabeceira. Todavia, para decolagem essa distribuição varia de acordo com as rotas por cabeceira, verificadas nas cartas aeronáuticas. Porém, o trajeto que cada voo percorre para a cidade de destino não é disponibilizado publicamente. Por esse motivo, esses dados foram realizados por estimativa.

Resumidamente, essa suposição foi feita da seguinte forma: para o voo verificou-se, pela lógica, quais são os trajetos de decolagem possíveis tendo em vista a orientação geográfica da cidade de destino. Lembrando que um mesmo voo pode percorrer mais de uma rota, e, como se trata de estimativa, isso deve ser considerado. Por exemplo, existe o total de 3 trajetos pela cabeceira 05 e 4 pela cabeceira 23. Desses, apenas 2 da cabeceira 05 e 2 da cabeceira 23 direcionam-se ao sul do país. Logo, os voos direcionados ao aeroporto do Galeão, no Rio de Janeiro, para fins de estudo, utilizarão esses percursos.

São nomeados DEP01, DEP02, DEP03, e assim por diante, para decolagem, e APP01, APP02 para pouso. A cabeceira de menor número possui as trajetórias DEP e APP ímpares e, a cabeceira de maior número, as trajetórias DEP e APP pares. Para o exemplo do Galeão, as trajetórias de decolagem possíveis foram denominadas DEP01 e DEP05 para a cabeceira 05 e DEP02 e DEP08 para a cabeceira 23.

Tendo definido os possíveis trajetos para cada destino, o próximo passo foi calcular a porcentagem desses voos para cada um dos percursos. Separado por aeronave, esse cálculo foi realizado da seguinte maneira:

1. Contabilizou-se o número de voos da aeronave selecionada para o destino em comum. Com a intenção de simplificar a explicação, tem-se a aeronave 737800 que possui apenas 1 voo, esse com destino ao Galeão.
2. Por cabeceira, dividiu-se o número de voos pela quantidade de trajetórias que a aeronave pode utilizar.

Para a cabeceira 05: 1 voo dividiu-se entre as trajetórias DEP01 e DEP05. Ou seja, o resultado foi de 0,5 para cada DEP. O mesmo aplica-se à cabeceira 23, resultando 0,5 para o DEP02 e 0,5 para o DEP08.

3. Por fim, o valor encontrado foi multiplicado pelo percentual de funcionamento de cada cabeceira. Ou seja, os resultados finais foram:

$$DEP01 = 0,5 \times 0,65 = 0,32$$

$$DEP05 = 0,5 \times 0,65 = 0,32$$

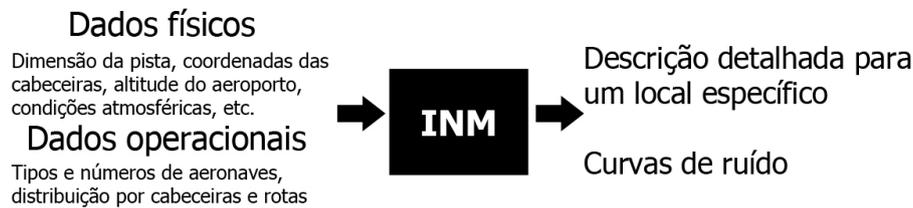
$$DEP02 = 0,5 \times 0,35 = 0,17$$

$$DEP08 = 0,5 \times 0,35 = 0,17$$

Também é importante destacar que esses dados foram separados em diurno e noturno, respeitando os horários de pouso e decolagem das operações. Dessa forma, foram descritos DEP e APP para o período entre 7:00 - 22:00 e 22:00 - 7:00 para cada aeronave em atividade no aeroporto de estudos. A Tabela A.2, presente no Apêndice A exibe os valores considerados para o trabalho.

Este passo a passo é disponibilizado, com maiores detalhes, na apostila de Curso Básico INM [42]. Em resumo, cabe evidenciar que as curvas de ruído foram geradas por dados físicos e operacionais do aeroporto. Isso considerando-se as estimativas aplicadas para os dados não disponibilizados publicamente. A figura 3.9 é um esquema similar ao apresentado pela apostila, para simplificação desse entendimento.

Figura 3.9: Esquema simplificado para uso do INM



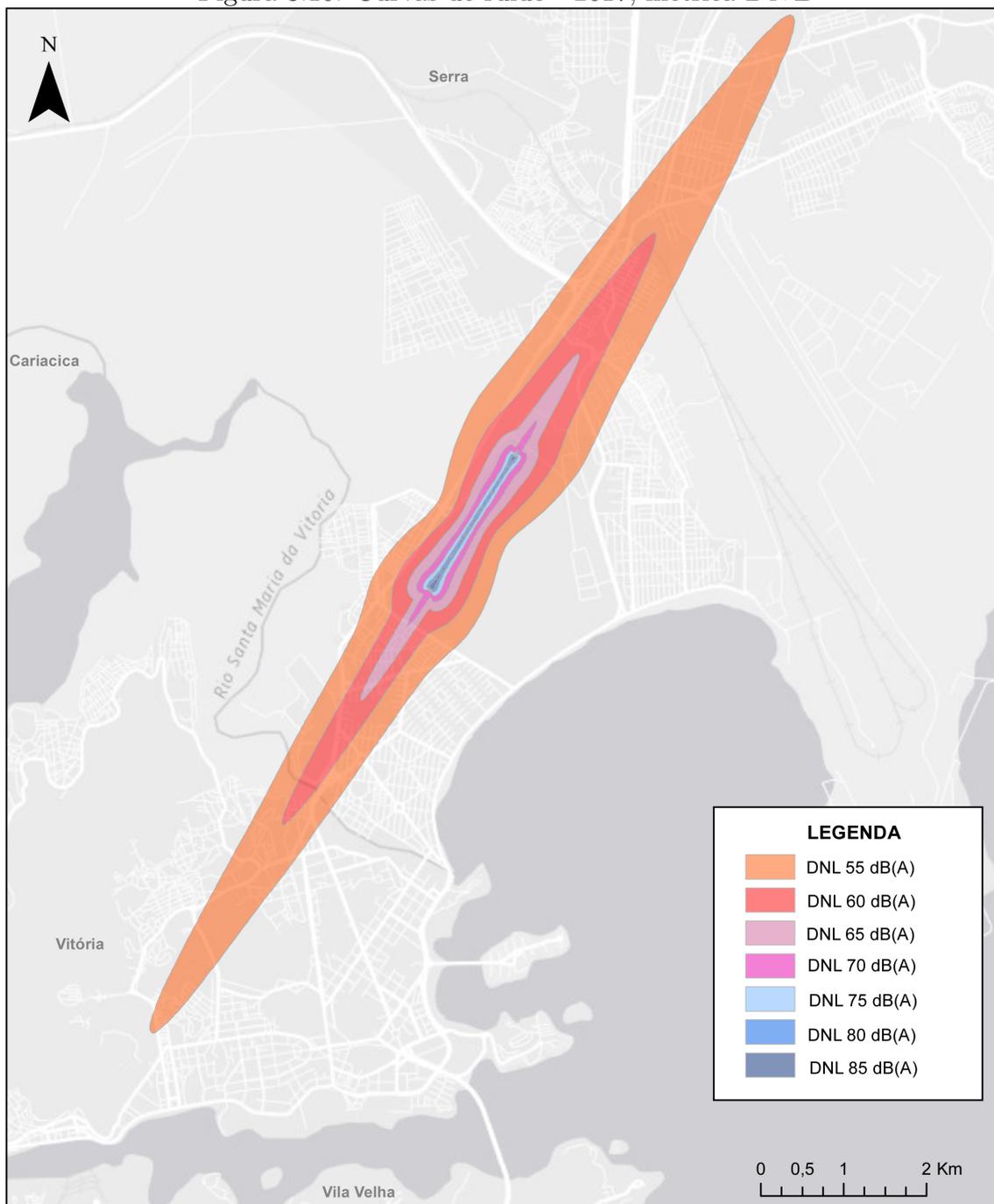
Fonte:GERA[42], modificado pela autora

A delimitação da área de estudos também depende da métrica do ruído que se pretende utilizar. Dessa forma, é possível observar a abrangência das curvas de ruído e identificar os receptores críticos localizados em áreas sensíveis a ele. Para este trabalho, consideraram-se as duas principais métricas empregadas no Brasil: a de nível equivalente médio diário - DNL e a de nível equivalente por horário - diurno L_D e noturno L_N . Por conta disso, foram criados três cenários distintos, a fim de se obter produções gráficas de saída diferentes.

Visando conforto acústico da população, a delimitação da área da curva de ruído foi dada a partir de 55dB(A) com valores de 5 em 5 dB(A). Esse limite fundamenta-se na NBR 10151 [33] para o nível de critério de avaliação correspondente à área mista, predominantemente residencial - compatível com a situação da maior parte do entorno do aeroporto de Vitória.

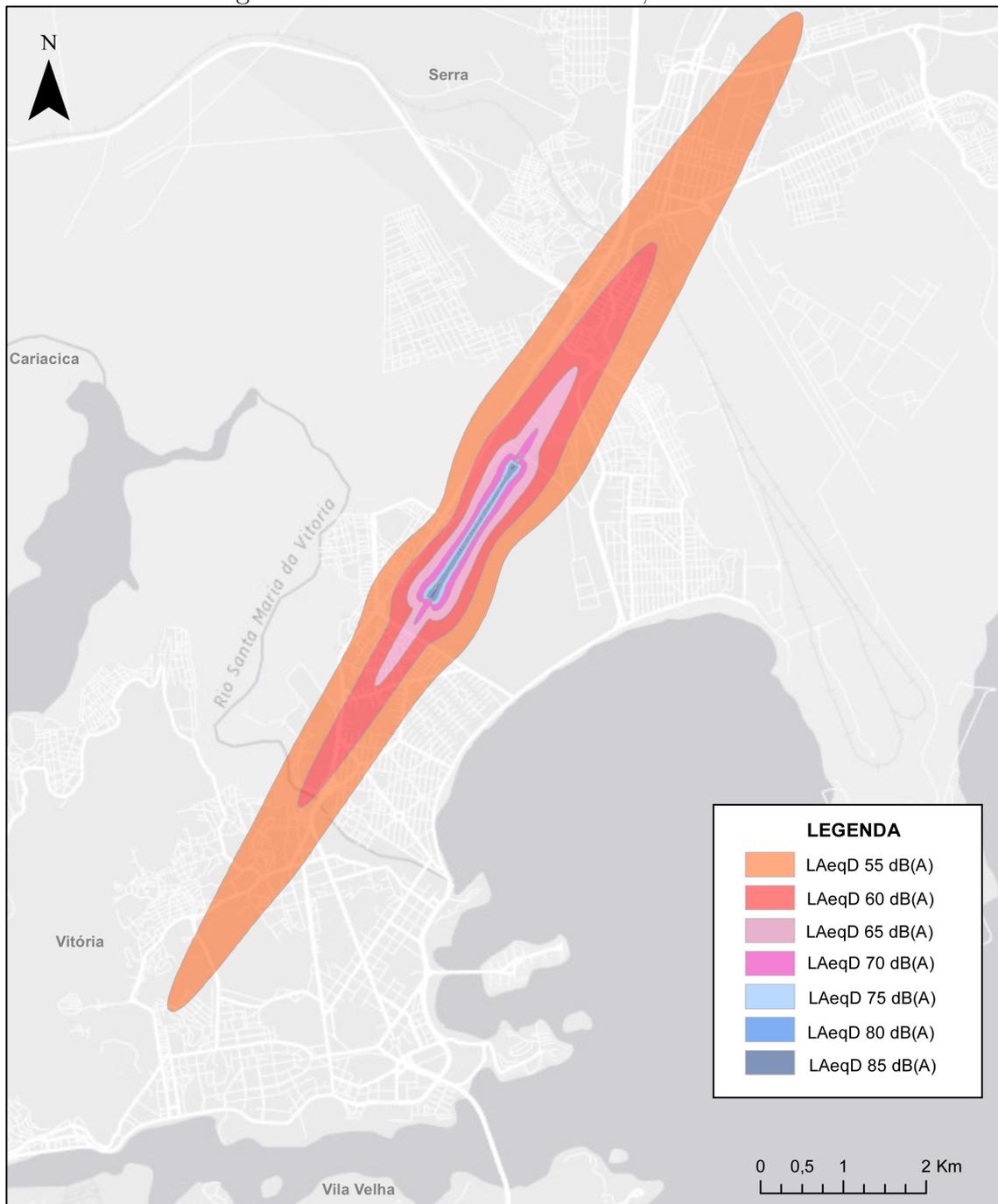
Para essa primeira etapa foram gerados três mapas acústicos, apresentados nas figuras 3.10, 3.11 e 3.12. Nota-se que, no caso de Vitória, a extensão da área afetada para as métricas DNL e L_D é praticamente igual. Ou seja, a área de abrangência do ruído pela métrica DNL , que representa uma média ponderada de diferentes períodos ao longo de 24h, aproxima-se daquela da métrica L_D , que representa a média do período diurno. Isso se justifica pelo fato do movimento das aeronaves ser predominantemente durante o dia. Conseqüentemente, a extensão da área no mapa de ruído para a métrica L_N é insignificante perto das demais.

Figura 3.10: Curvas de ruído - 2017, métrica *DNL*



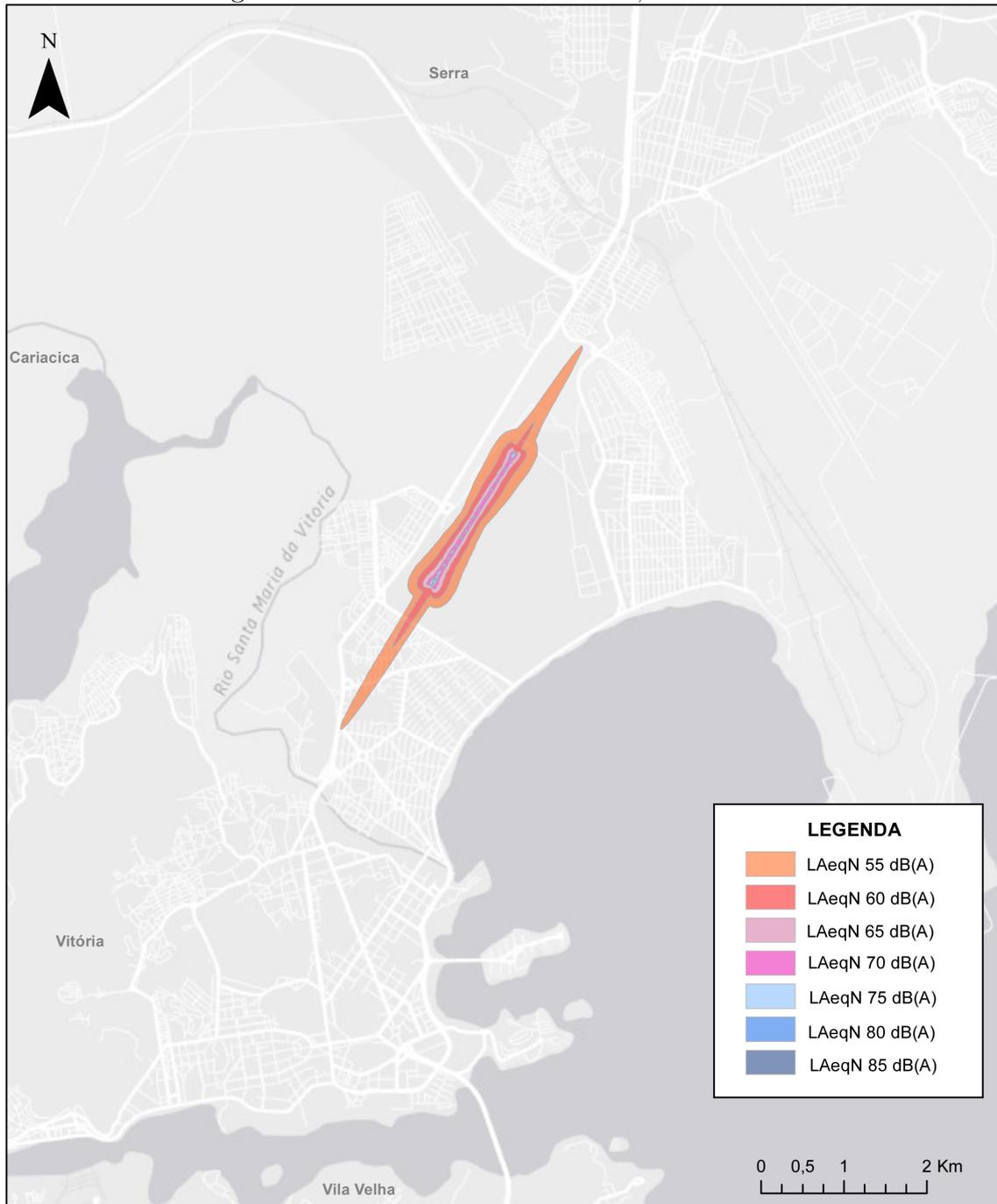
Fonte: autora

Figura 3.11: Curvas de ruído - 2017, métrica *LD*



Fonte: autora

Figura 3.12: Curvas de ruído - 2017, métrica LN



Fonte: autora

A delimitação da área de estudos, com o total de $2002,75 \text{ ha}^2$ de abrangência, foi realizada segundo o mapa de ruído correspondente à métrica DNL , representado pela figura 3.10. Na prática, para a condição de Vitória, esse procedimento é equivalente ao realizado com o mapa referente à métrica L_D .

Com os mapas de ruído também é possível perceber que as áreas sensíveis abrangem fronteiras intermunicipais, tendo em vista a proximidade do aeroporto

de Vitória com o município de Serra. Diante disso, os conflitos provenientes da integração urbana de aeroportos para o caso analisado se intensificam. O gerenciamento da zona que circunda o aeroporto necessita de compatibilização entre as autoridades aeroportuárias e de municípios diferentes. Ademais, a identificação dos receptores críticos para o caso estudado deve incluir o levantamento de dados referentes às duas cidades.

3.3 Identificação dos receptores críticos

As curvas de ruído foram importadas e georreferenciadas no *software* ArcGIS 10.1. Essa compatibilização de dados permitiu identificar e listar as unidades de ensino localizadas dentro da área sensível ao ruído. Os arquivos *shapefile* de levantamento dos edifícios educacionais referentes aos municípios de Vitória e Serra foram obtidos pelo Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN) ⁶.

A Figura 3.13 mostra a sobreposição das curvas de ruído com os edifícios educacionais dentro da sua área de influência. Nela são expostos centros educacionais que variam de creches a universidades, somados no total de 39 edificações. Algumas dessas comportam mais de um grau de ensino, como, por exemplo, escolas com nível fundamental e médio em um mesmo prédio. São somados o total de 14 centros de ensino infantil, 21 de fundamental, 6 de médio, 7 superior e 1 profissionalizante.

De maneira a identificar todos eles, cada ponto foi nomeado de acordo com o nível de ensino e se particular ou não. Para o caso de escolas públicas, essas são categorizadas em municipal, estadual e federal. Para facilitar a visualização, a identificação dos edifícios está organizada com a primeira letra indicando o órgão competente pela administração da escola, e a segunda ou demais letras o nível de ensino.

M-I - Centro Municipal de Educação Infantil

M-F - Escola Municipal de Ensino Fundamental

E-FM - Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio

E-M - Escola Estadual de Ensino Médio

F-I - Centro Federal de Educação Infantil

F-S - Ensino Superior Federal

P-I - Escola Privada de Ensino Infantil

P-IF - Escola Privada de Ensino Infantil e Fundamental

P-F - Escola Privada de Ensino Fundamental

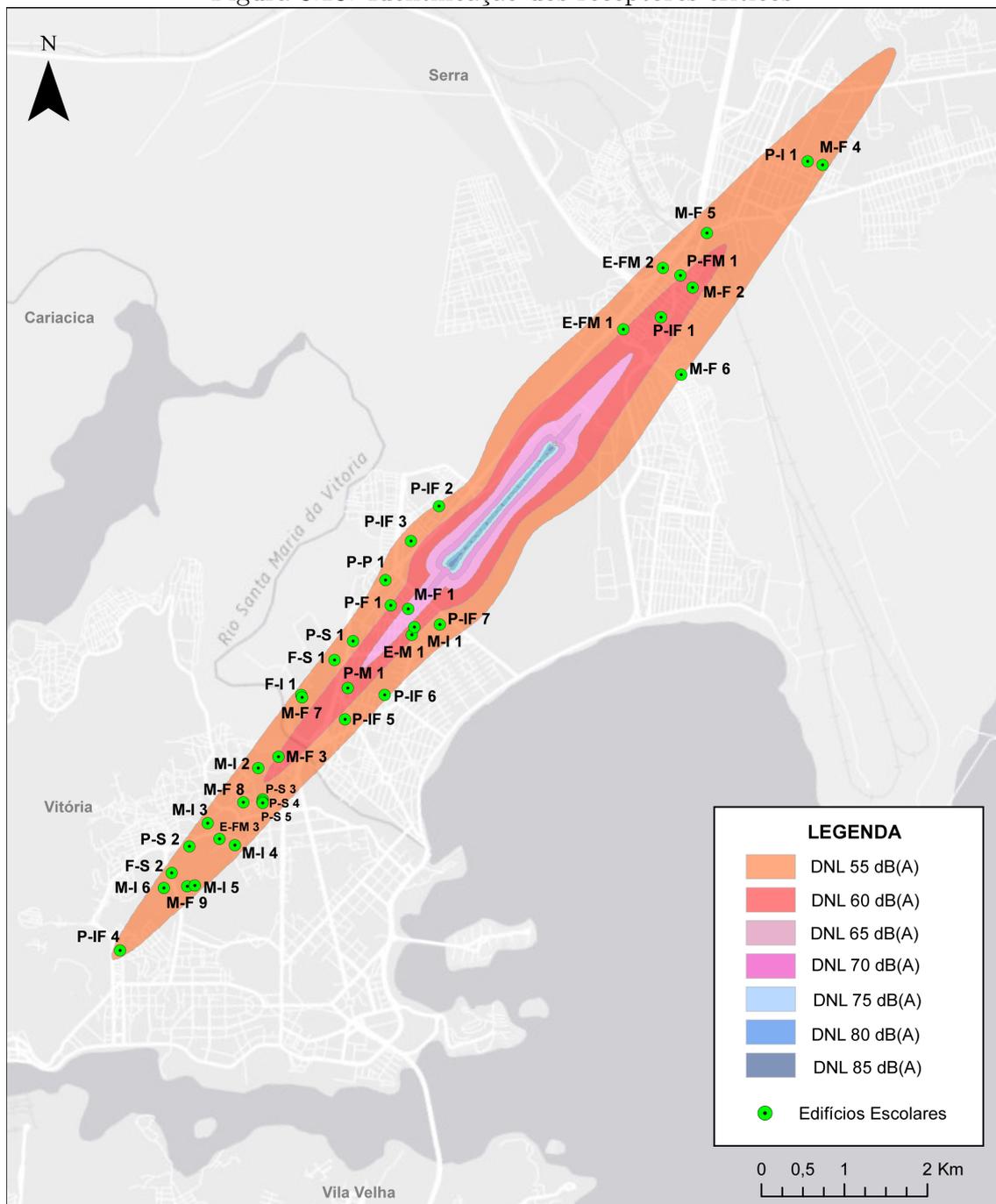
P-FM - Escola Privada de Ensino Fundamental e Médio

P-M - Escola Privada de Ensino Médio

P-P - Escola Privada de Educação Profissional

⁶Disponível em: <http://www.ijns.es.gov.br/mapas/>

Figura 3.13: Identificação dos receptores críticos



Fonte: autora

Os demais dados desses edifícios estão descritos de maneira detalhada, com nome, endereço e particularidades de cada um deles no Apêndice A.

3.4 Multicritério dos níveis de ruído nos receptores - unidades de ensino

As simulações realizadas para a determinação do nível de ruído em cada ponto levaram em consideração as métricas utilizadas pelas autoridades aeroportuárias, o *DNL* e aquela com base na norma NBR 10151 referente ao período de funcionamento das escolas, o *L_D*. Também foi considerada a métrica TALA, por favorecer a análise do ruído em ambientes educacionais.

Sabe-se que o nível de ruído apresentado pelas métricas cumulativas - que correspondem a uma média ao longo de determinado período - tende a "diluir" os níveis extremos do ruído. Por esse motivo, podem não representar precisamente o efeito sonoro para a situação de salas de aula. É necessário considerar que a passagem da aeronave, apesar de ser em um curto período de tempo, causa interrupções na fala e nas atividades desenvolvidas. Consequentemente, o desempenho dos alunos pode ser prejudicado, entre outros problemas.

A métrica TALA pode auxiliar na investigação do impacto sonoro nas escolas. Isso porque é possível identificar a quantidade de tempo que o ruído está acima de determinado nível sonoro e que, em vista disso, interferiria nas atividades. Para o caso de salas de aula, a NBR 10152 determina que o valor de aceitabilidade do ambiente interno é de no máximo 50 dB(A). Portanto, quando os valores encontrados são acima do indicado pela norma podem estar interferindo no desenvolvimento escolar dos alunos.

No entanto, para que a análise do critério de avaliação do ruído em salas de aula seja realizado por meio da métrica TALA, é necessário considerar a correção de +10dB(A) dado pela NBR 10151. Essa converte o nível do ambiente interno para o externo, na situação de janela aberta. Isso é, o uso da TALA refere-se ao espaço externo, portanto a verificação do nível de ruído acima do recomendado para o interior de uma sala de aula requer o ajuste apresentado pela norma. Exemplificando, o valor de referência para simulação do ruído acima do recomendado pela NBR 10152, 50dB(A) para salas de aula, deve ser de limiar 60dB(A) ou TALA60.

Também foram calculados os TALA70, TALA80 e TALA90 como forma de avaliar com maior detalhe a relação tempo de exposição e nível de ruído.

3.4.1 Identificação dos níveis de ruído nas unidades de ensino

Para identificação dos níveis de ruído em cada unidade de ensino, foram necessárias simulações no *software* INM com a inserção das coordenadas geográficas (latitude e longitude) de cada receptor considerado 3.13. Esses dados foram obtidos no sistema

de informações geográficas, pelo *software* ArqGis.

Cabe informar que cada dado de saída que se pretendeu obter foi resultado da criação de diferentes cenários de simulação. Como os resultados esperados variam de acordo com a métrica escolhida para o trabalho, os cenários referentes ao *DNL* e *LD* não precisaram ser alterados.

Os dados de operação a serem inseridos para a simulação referente à métrica TALA foram, no entanto, separados de hora em hora para o período de funcionamento das escolas - de 7:00 a 18:00. Dessa maneira, foi possível avaliar a quantidade de tempo que o ruído aeroportuário esteve acima dos 60, 70, 80 e 90dB(A) de maneira mais detalhada. A determinação total de minutos acumulados acima do nível sonoro de referencia durante um dia inteiro, por exemplo, não permite constatar a natureza intermitente do ruído das aeronaves. Por esse motivo, foram gerados 11 cenários diferentes, referentes aos horários considerados para a simulação. Desse modo, os valores dos dados operacionais a serem inseridos nos cenários criados tiveram de ser desmembrados de hora em hora. Para cada cenário, as informações de entrada do software foram correlacionadas com os horários de pouso e decolagem das aeronaves definidos pelo HOTRAN.

Esta etapa do trabalho é semelhante ao passo a passo exemplificado da inserção dos dados operacionais no INM. Isso pelo motivo de ter que recalculer os percentuais de operação por trajeto. Porém, dessa vez, em concordância com os horários dos voos para cada cenário criado. Os valores do DEP e APP não foram mais separados em diurno e noturno, mas sim referentes aos horários de cada cenário. Estes dados são apresentados no Apêndice A - Tabelas: A.4, A.5, A.6, A.7, A.8, A.9, A.10, A.12, A.13, A.14, A.15 - cada tabela refere-se a um cenário criado.

Entretanto, para não haver duplicidade de distribuição dos dados operacionais do aeroporto, cada cenário precisou ser criado com o limite de 59 minutos entre eles. Por esse motivo, foram feitos de 7:00 a 7:59, de 8:00 a 8:59 e assim por diante.

Após a simulação, os resultados foram apresentados em forma de planilhas e puderam ser exportados para o *Excel*, como mostrado nas tabelas A.16, A.17, A.18, A.19 e A.20, presentes no Apêndice A. Vale ressaltar que os valores são em dB(A) para as métricas *DNL* e *L_D* e em minutos para a métrica TALA.

Verificou-se que os níveis de ruído apresentados pela tabela A.16, relativo aos valores de *DNL* e *L_D*, possuem uma média aproximada de 58 dB(A) para as duas métricas de referência. O valor máximo encontrado foi de *DNL* 68,2 dB(A) e *L_D* 67,3 dB(A) no receptor M-F1 e o valor mínimo foi de *DNL* 55,2 dB(A) e *L_D* 54,6 dB(A) no receptor P-IF4.

Em relação ao TALA60 - tabela A.17, a média geral foi de 1,36 minutos com o nível de ruído acima de 60 dB(A) para o intervalo referente. Já os valores do TALA 70 - tabela A.18 demonstraram uma média geral de 0,52 minutos com o ruído acima

de 70 dB(A). Em sequencia, os do TALA80 - tabela A.19 possuíram média de 0,05 minutos acima dos 80dB(A) e os do TALA90 - tabela A.20 a média de 0 minuto acima dos 90 dB(A).

Destaca-se a M-F1 por ser a única escola a apresentar resultados referentes ao TALA90, evidenciando atingir níveis sonoros acima de 90 dB(A).

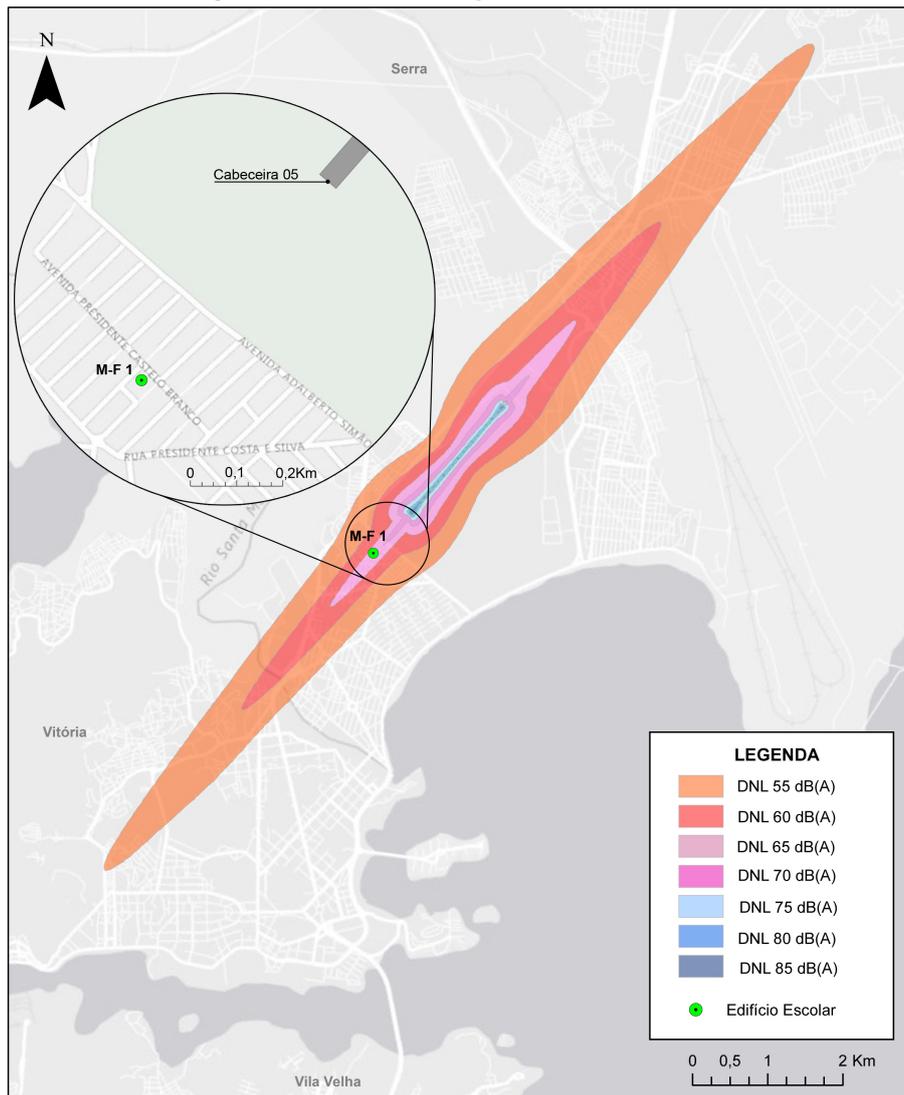
3.5 Verificação de compatibilidade entre TALA medido e simulado

Como complemento e também de forma a garantir a veracidade das simulações elaboradas nas etapas anteriores, optou-se por realizar medição *in loco*. Porém, a verificação dos resultados obtidos pela simulação fez-se necessária apenas para os valores do TALA. Isso porque trata-se de uma métrica ainda pouco utilizada no país e no mundo, e não considerada pelas autoridades brasileiras para o diagnóstico sonoro aeroportuário. À vista disso, este tópico busca comparar os valores do TALA medido e simulado, para fins de confiabilidade do diagnóstico sonoro proposto.

A medição foi realizada na unidade de ensino em pior condição quanto à exposição ao ruído: a Escola Municipal de Ensino Fundamental Arthur da Costa e Silva, identificada como M-F1. A figura 3.14 mostra a localização desse receptor no que diz respeito às curvas de ruído e à cabeceira da pista. Podem-se observar dois planos: o primeiro mostra a extensão das curvas de ruído e a localização do receptor e o segundo, dentro de uma circunferência, exhibe a ampliação da posição do receptor em relação à pista.

Trata-se de apenas um quarteirão entre o ponto M-F 1 e o sítio aeroportuário, com a distância entre eles de pouco menos de 600m, medido em linha reta. Além disso, verifica-se que a situação de vulnerabilidade dessa escola é intensificada por estar inserida no eixo da pista. O que conseqüentemente resulta no alcance dos maiores níveis sonoros frente as demais escolas.

Figura 3.14: Localização receptor M-F 1



Fonte: autora

Para fins de percepção, a figura 3.15 mostra uma fotografia da fachada principal do ponto M-F 1 e o momento em que um avião se aproxima do aeroporto para atividade de pouso.

Figura 3.15: Fotografia da fachada principal do edifício



Fonte: autora

Outro aspecto a ser evidenciado refere-se à descrição do entorno dessa escola. A figura 3.16, exibe a rua de acesso ao edifício e nela é possível notar uma região predominantemente residencial, com edificações de no máximo dois pavimentos. Qualificando-se, portanto, como um lugar onde o ruído ambiente é pouco expressivo.

Figura 3.16: Fotografia da rua de acesso ao edifício



Fonte: autora

Cabe destacar que a escola selecionada para a medição do ruído aeroportuário é pública e se configura pela ausência de ares-condicionados nas salas. O que consequentemente permite concluir que as janelas são mantidas abertas durante as atividades. Além disso, vale salientar que se trata de uma escola de ensino fundamental, sendo essa a etapa da educação que se desenvolve a capacidade de leitura e interpretação dos alunos. Tal contexto denota que a situação inerente ao receptor M-F1 intensifica ainda mais a vulnerabilidade quanto à exposição sonora existente.

A fim de evitar o barulho proveniente dos próprios alunos, como durante as atividades de educação física ou no intervalo entre as aulas, selecionou-se o período de férias escolares para a realização da medição. Esse fato é importante porque facilita a identificação do ruído das aeronaves e a sua relação com o ruído do entorno. A medição foi realizada na quarta-feira do dia 27 de dezembro de 2017, de 7:00 a 11:00, englobando os horários do dia com maior número de operações aéreas para pouso e decolagem das aeronaves no aeroporto de Vitória- ES.

Com o auxílio do medidor MSL 1354 – Classe 2, o intervalo de registro da medição foi de 1 segundo e o aparelho foi posicionado a uma altura aproximada de 1,20m do solo, em acordo com a NBR 10151 [33].

É importante citar que além do ruído dos aviões, durante a medição, foram constatados helicópteros, aeronaves particulares, veículos rodoviários e uma obra na proximidade. Todas essas fontes sonoras não foram estimadas na simulação e por esse motivo foram desconsideradas na comparação entre valores medidos e simulados.

É evidente que as fontes desconsideradas também são importantes para o diagnóstico sonoro em um receptor crítico. Porém, foi necessário excluí-las da verificação de confiabilidade do TALA. Essa inviabilização deu-se por distintos fatores: no caso das aeronaves particulares, a falta de dados oficiais das operações de pouso e decolagem para simulação; no caso dos helicópteros, a aplicação exige critérios operacionais diferentes dos aviões - inevitabilidade da realização de um novo estudo; e para os ruídos de fundo, por se tratar de um estudo que enfatiza o ruído aeroportuário.

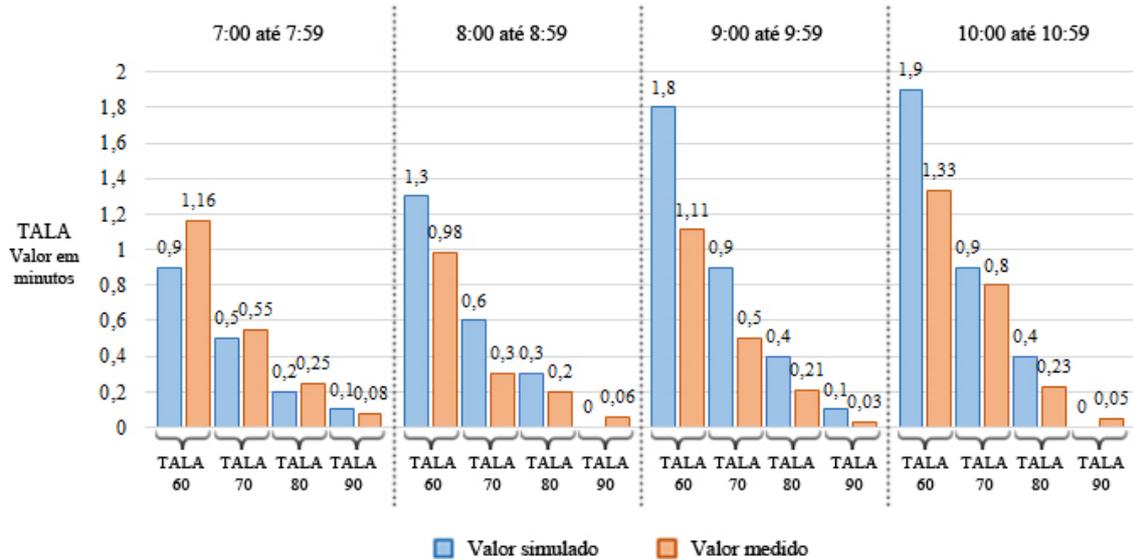
Para que a separação entre os diferentes ruídos fosse possível, foi necessário anotar os horários da passagem das aeronaves consideradas no trabalho e, dessa forma, reconhecer os níveis atingidos a serem avaliados e o tempo que eles duraram. Os valores de nível, em dB(A), foram capturados de 1 em 1 segundo, sendo possível verificar a quantidade de tempo em que o ruído da aeronave esteve acima dos 60, 70, 80 e 90 dB(A). Dessa forma, foi possível obter os valores dos respectivos TALAs, em minutos, para cada passagem de aeronave.

A partir desse ponto, com o levantamento dos horários das passagens das aeronaves no momento da medição, foi possível determinar os valores do TALA por intervalo de hora. O que permitiu correlacionar com os cenários criados para simulação e comparar os valores medidos e simulados.

Para exemplificar, sabendo que entre 7:00 e 7:59 houve a passagem de 3 aeronaves, determinou-se a soma do tempo, em minutos, que o ruído delas estiveram acima de 60, 70, 80 e 90 dB(A). Comparou-se os valores simulados correspondentes ao cenário de 7:00 a 7:59. Essa etapa repete-se para os demais intervalos de tempo considerados na simulação, de 8:00 a 8:59, de 9:00 a 9:59 e de 10:00 a 10:59 e para os demais valores do TALA.

Para fins de visualização, a Figura 3.17 apresenta um gráfico com os valores medidos e simulados do TALA, nas cores laranja e azul, respectivamente. O gráfico está dividido em quatro partes, cada uma delas representa o intervalo de tempo considerado nos cenários criados para simulação a cada hora. Os valores do TALA 60,70,80 e 90 são apresentados paralelamente e estão indicados abaixo das barras do gráfico.

Figura 3.17: Gráfico de comparação entre os valores do TALA medido e simulado



Fonte: autora

Percebeu-se que os valores medidos e simulados possuem dissemelhanças. As maiores discrepâncias aconteceram para os valores do TALA60, atingindo o máximo de 0,69 minutos. Para os demais, essa disparidade alcançou 0,40, 0,19 e 0,07 minutos para TALA70, 80 e 90, respectivamente.

Essa divergência de valores encontrada é justificável e não demonstra impedimento do uso da simulação. Trata-se de uma situação já esperada, pois, quando se aborda a relação entre simulação e realidade, existem diversos motivos que são responsáveis por marcar a desconformidade dos valores obtidos. Entre eles, os principais são:

- Não se sabe minuciosamente qual é o trajeto de cada aeronave e quais são aquelas que passam pela rota referente ao ponto de medição. Por esse motivo, as rotas para cada atividade de pouso e decolagem foram estimadas e, portanto, contêm margem de erro. Tornando-se um limitador de dados de entrada para o INM e, conseqüentemente, contribuindo para discrepância entre os valores simulados e medidos.
- A imprevisibilidade das atividades aeroportuárias pode interferir na distribuição dos valores do TALA para cada cenário criado. Isto é, a aeronave que

estava prevista para pousar às 7:59, por exemplo, mas pousou alguns minutos depois torna-se fator de desacordo entre dados simulados e medidos. Isso porque a delimitação de cada cenário simulado é baseado no intervalo de tempo determinado e, na prática, acontecem eventualidades como atrasos, adiantamentos ou mesmo cancelamentos dos voos.

- A possibilidade de a aeronave realizar um trajeto diferente do previsto pode influenciar no ruído calculado pelo medidor. Por exemplo, pode acontecer da aeronave voar mais alto ou baixo, um pouco mais para esquerda ou direita em determinada situação. Como se trata de amplas distâncias, é difícil manter um paralelo perfeito entre medição e simulação.

É natural que essas desigualdades entre os resultados encontrados sejam atribuídas com maior influência aos níveis mais baixos de sujeição ao ruído. A minuciosidade dos trajetos das aeronaves é um fator praticamente impossível de se prever, e, como se tratam de grandes extensões, essa margem de erro passa a ser em maior peso para os menores níveis de referência do TALA. Apesar disso, para os TALAs mais altos esse fator não prejudica a confiabilidade da simulação, permitindo realizar o diagnóstico sonoro nos receptores de maneira válida.

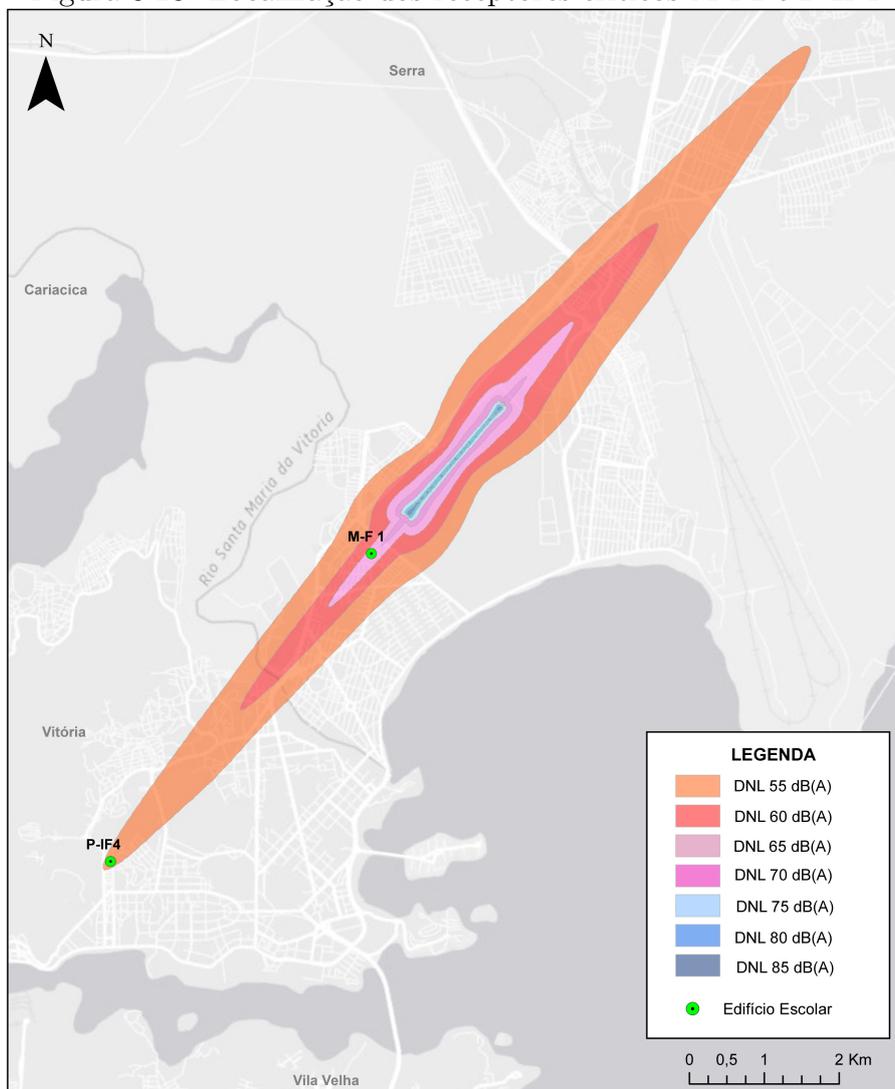
3.6 Comparação dos resultados do TALA entre receptores

Com o intuito de observar como os resultados do TALA60, 70, 80 e 90 variam entre os receptores, esse tópico faz uma comparação entre os valores do TALA encontrados para duas unidades de ensino. Para isso, foram selecionados casos extremos de escolas no que diz respeito à exposição do ruído. Os critérios para seleção desses receptores foram os níveis sonoros e a distância quanto à pista de pouso e decolagem. O "pior" caso possui os níveis sonoros mais altos e a menor distância em relação à pista, enquanto o "melhor" caso possui os níveis sonoros mais baixos e a maior distância em relação à pista, conforme descrito abaixo:

- "Pior" caso - A escola municipal de ensino fundamental Arthur da Costa e Silva, identificada como M-F1 e localizada na Rua Presidente Rodrigues Alves, n. 255, República - Vitória.
- "Melhor" caso - A escola de ensino privado infantil e fundamental Faesa Jucutuquara, identificada como P-IF4 e localizada na Rua Barão de Mauá, n.30, Jucutuquara - Vitória.

A figura 3.18 mostra a localização desses receptores no mapa de ruído. Sendo o M-F1 mais próximo à pista e o P-IF4 no extremo da curva de ruído.

Figura 3.18: Localização dos receptores críticos M-F1 e P-IF4

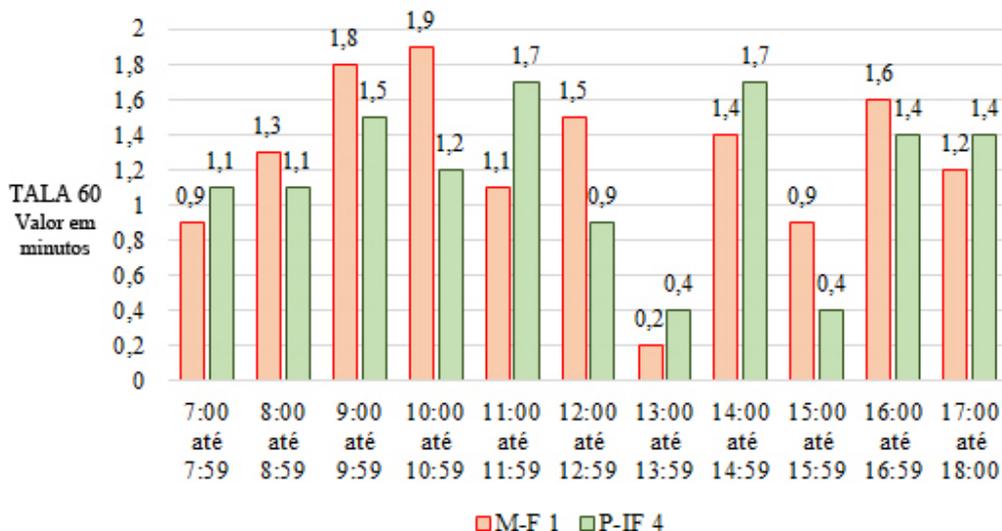


Fonte: autora

Para simplificar a comparação entre os resultados, foram gerados 4 gráficos, cada um deles referindo-se a um TALA diferente. As Figuras 3.19, 3.20, 3.21 e 3.22 correspondem ao TALA60, TALA70, TALA80 e TALA90, respectivamente. Em vermelho estão representados os valores do TALA alcançados no receptor M-F1 e, em verde, aqueles atribuídos ao P-IF4.

Como se pode notar na figura 3.19, a diferença entre os valores do TALA60 nas duas circunstâncias é insignificante. Dos 11 cenários comparados, em 5 deles o receptor P-IF4, considerado o "melhor" caso, encontrou-se em situação mais crítica do que o M-F1. Ou seja, correlacionando esses dois - no que diz respeito ao TALA60 - pode-se afirmar que eles são praticamente semelhantes. Entre os resultados, a maior discrepância acontece entre 10:00 e 10:59, com 0,70 minutos de diferença.

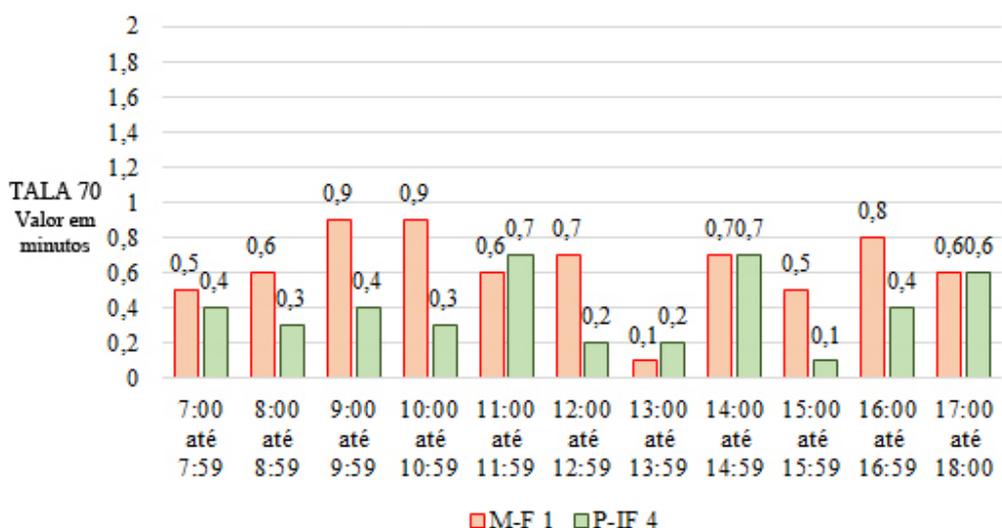
Figura 3.19: Gráfico TALA60, receptores M-F1 e P-IF4



Fonte: autora

Ao se comparar o TALA70, a situação torna-se diferente. Como mostrado na figura 3.20, os resultados evidenciam o receptor M-F1 como o mais crítico. Dos 11 cenários simulados, em 7 deles o M-F1 obteve valores maiores que o P-IF4 e em 2 deles houve igualdade. Entre os resultados, a maior discrepância acontece entre 10:00 e 10:59, com 0,60 minutos de diferença.

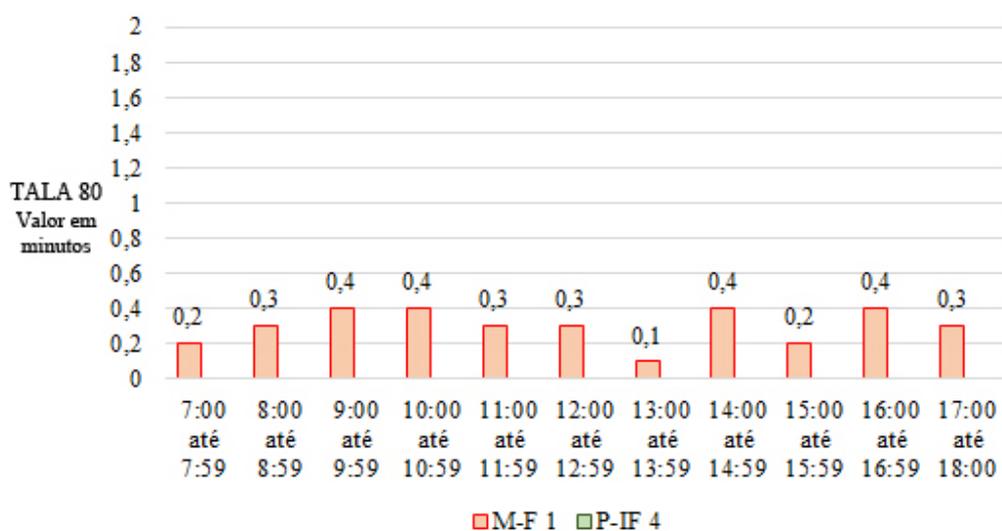
Figura 3.20: Gráfico TALA70, receptores M-F1 e P-IF4



Fonte: autora

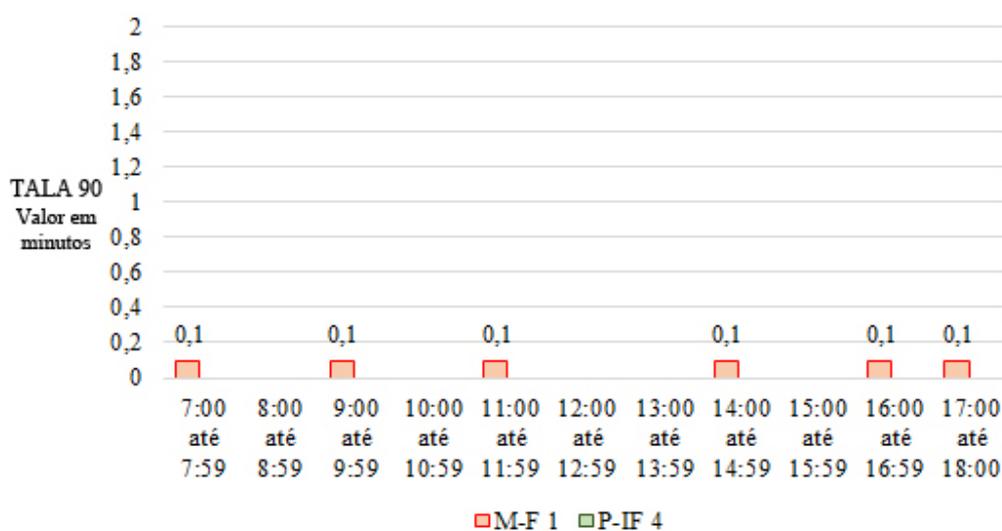
No que concerne ao TALA80 e 90, o "melhor" caso já não está inserido dentro desses limites. Portanto, apenas os valores referentes ao M-F1 encontram-se representados nos gráficos, como ilustrado nas figuras 3.21 e 3.22.

Figura 3.21: Gráfico TALA80, receptores M-F1 e P-IF4



Fonte: autora

Figura 3.22: Gráfico TALA90, receptores M-F1 e P-IF4



Fonte: autora

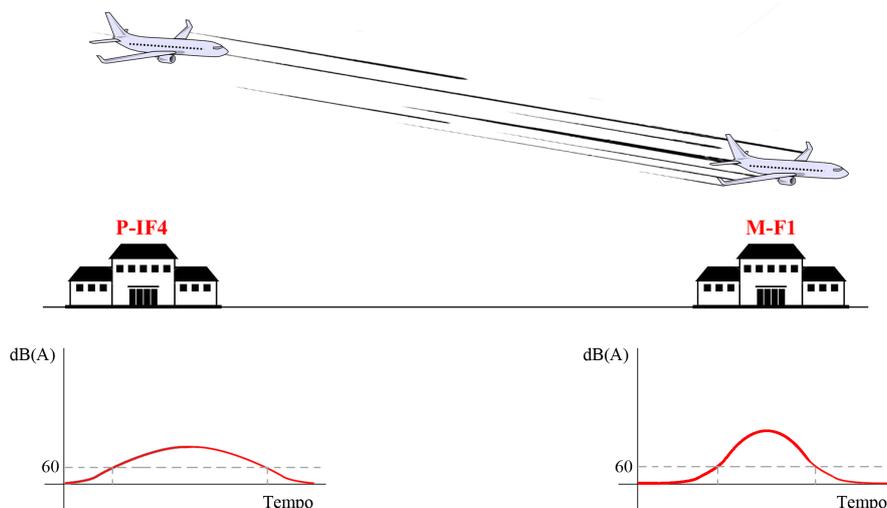
Ao se analisar essas escolas individualmente, percebe-se que, com o aumento do TALA, menor é o tempo a que cada uma delas está submetida. Quer dizer, quando se trata do TALA60, naturalmente a exposição ao ruído é mais longa do que a do TALA70, e assim por diante.

Observando a correlação entre os receptores, percebe-se que o TALA 60 expõe uma situação de equivalência entre o receptor P-IF4 e o M-F1 quanto ao tempo de exposição ao ruído. A quantidade de minutos acima dos 60 dB(A) praticamente mantém-se em uma situação parecida para os dois casos. Ou seja, segundo o critério TALA60, a distância do receptor em relação à pista de pouso e decolagem não

apresenta contrastes significativos. Aparentando se tratar, por isso, de situações com sujeição sonora equivalentes. Fato esse que não condiz com o contexto sonoro existente. Por esse motivo conclui-se que o TALA60 não é apropriado para um diagnóstico ambiental sonoro adequado.

Esse fato se justifica pela posição do receptor em relação à pista de pouso e decolagem e ao tempo de passagem da aeronave. A Figura 3.23 ilustra o comportamento do nível de ruído ao longo do tempo (tempo de exposição) em função da distância receptor-aeronave. Percebe-se que a escola M-F1, por estar mais próxima da aeronave, alcança níveis de ruído mais altos, enquanto que a escola P-IF4, níveis mais baixos. O tempo de travessia da aeronave pelos receptores são diferentes para cada caso. Aquele mais afastado (P-IF4) encontra-se também mais distante em referência à altura da aeronave. Isso resulta em maior tempo de travessia do equipamento pelo ponto onde se localiza a edificação. No segundo caso, o receptor se encontra mais próximo da pista e, por esse motivo, a aeronave se posiciona em altura menor. Resultando, em travessia mais rápida da aeronave pelo ponto M-F1.

Figura 3.23: Relação entre a posição dos receptores e o seu tempo de exposição acima dos 60dB(A) de referência



Fonte: autora

A partir do TALA70 essa situação começa a ser modificada e já se evidencia o "pior" receptor em um contexto mais crítico do que o M-F1. Ainda que em alguns momentos do dia os valores do TALA70 para os dois receptores sejam equiparados. Por fim, a partir do TALA 80, essa situação é completamente alterada e o receptor M-F1 é o único que se mostra exposto ao ruído. Evidenciando, portanto, a exposição aos maiores níveis de ruído.

Tendo isso em vista, a busca por um diagnóstico sonoro de aeroportos com amparo da métrica TALA torna-se mais adequado às circunstâncias a partir do

TALA70. Isso pelo motivo do TALA60 não evidenciar a situação dos receptores quanto à sujeição sonora.

3.7 Índice de interferências do ruído aeroportuário nas atividades escolares

De forma a potencializar o processo de interlocução e, com isso tornar mais fácil a tomada de decisões, este tópico apresenta o "Índice de interferência do ruído aeroportuário nas atividades escolares". O propósito fundamenta-se na relevância mais evidente dos dados de exposição do ruído para diagnóstico sonoro de receptores críticos no entorno de aeroportos. Facilitando o entendimento do impacto sonoro em escolas.

O índice baseia-se na determinação do número de vezes que o ruído tornou-se um fator de interrupção no desenvolvimento das atividades de aprendizado. Trata-se da quantificação dos momentos em que o ruído alcançou valores acima de 70dB(A). Para isso divide-se o resultado do TALA70 pelo tempo da passagem de uma aeronave.

Segundo os dados de monitoramento do Grupo de Estudos do Ruído Aeroportuário - GERA, a passagem de uma aeronave tem a duração média de 30 segundos. Dessa forma, se forem observados, por exemplo, dois minutos e meio acima de 70dB(A) no período referente a um turno escolar de 5h, isso significa dizer que houve aproximadamente 5 momentos de interrupção causados pelo ruído das aeronaves.

Cabe evidenciar que as distâncias em que cada receptor se encontra da pista e do trajeto das aeronaves são os fatores que mais influenciam no TALA alcançado. Porém, é importante esclarecer que, se a rota exata de cada aeronave for um recurso acessível, o índice pode ser dado pelo número de aeronaves que sujeitam o receptor a níveis acima de 70dB(A). Todavia esses dados foram determinados por suposição e, portanto, não representam rigorosamente quais as aeronaves e quantas delas passam por determinada rota. Mesmo assim é importante destacar que essa estimativa muito se aproxima da realidade e pode ser considerada aplicável. O índice proposto, com isso, funciona apenas como uma maneira simplificada para qualificar informações de forma mais aparente.

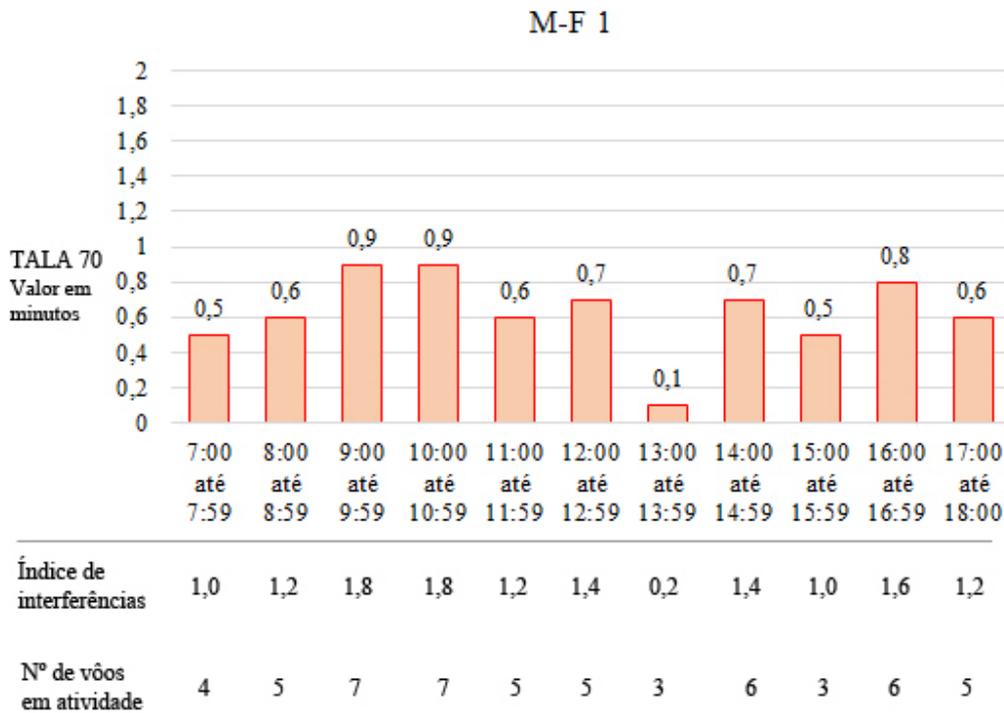
Convém destacar também que a escolha do TALA70 deve-se aos seguintes fatores:

1. Primeiramente, considerou-se que é a partir do nível 70dB(A) que a métrica TALA demonstrou menor margem de erro. Observou-se maior confiabilidade na comparação de exposição ao ruído entre as escolas de "pior" e "melhor" caso. Isso expõe mais visivelmente a relação de sujeição ao ruído, o que não acontece com o TALA60.

2. Em segundo lugar, averiguou-se que os TALA80 e 90 não compreendem todos os receptores. Ou seja, para as escolas inseridas na área de estudos, apenas os níveis de 60 e 70 dB(A) abrangem todos os casos. Essa relação pode ser observada nas tabelas A.17, A.18, A.19 e A.20.

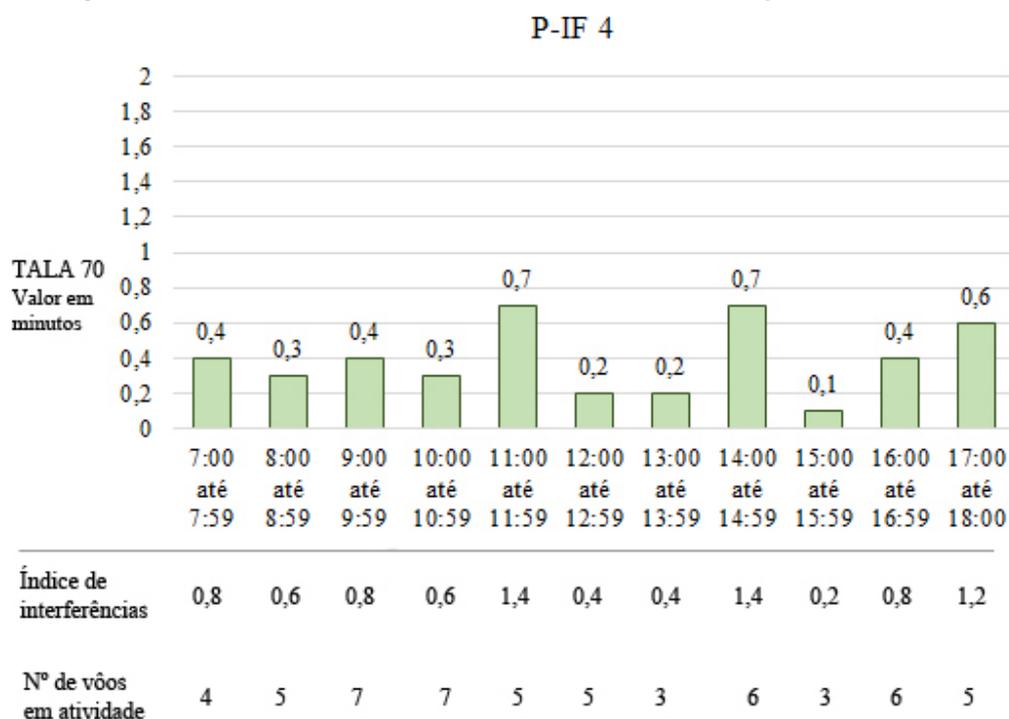
Como exemplo de aplicação do índice proposto, os gráficos das figuras 3.24 e 3.25 mostram a quantidade de minutos em que o ruído esteve acima de 70 dB(A), por hora e para os receptores analisados no tópico anterior - M-F1 e P-IF4. O índice de interferências do ruído para cada período é apresentado na parte inferior dos gráficos. O cálculo é feito pela divisão da quantidade de minutos com nível acima de 70 dB(A) - resultado do TALA70 - pelo tempo da passagem da aeronave (em média 30 segundos).

Figura 3.24: Gráfico TALA70 e o índice de interrupção para M-F1



Fonte: autora

Figura 3.25: Gráfico TALA70 e o índice de interrupção para P-IF4



Fonte: autora

Nota-se que para o caso M-F1 as atividades de pouso e decolagem das aeronaves marcaram 7 interrupções no período matutino (de 7:00 a 12:00) e em torno de 5 durante o período vespertino (de 13:00 a 18:00). Considerando que entre 12:00 e 12:59 é intervalo entre os turnos, das 14 vezes, aproximadamente, que o ruído esteve acima dos 70 dB(A), em 12 houve interferências diretas durante o período em que são desenvolvidas as atividades escolares.

Para o caso P-IF4, as atividades de pouso e decolagem das aeronaves causaram em torno de 4 interrupções no período matutino (de 7:00 a 12:00) e 4 durante o período vespertino (de 13:00 a 18:00). Verifica-se, então, que aproximadamente 8 vezes o ruído esteve acima dos 70 dB(A). Assim, em praticamente todas as escolas, houve interferências diretas durante o período de atividades.

A constatação do resultado do TALA, dado em minutos e verificado de hora em hora, resulta valores visualmente "baixos". Por exemplo, o receptor de "pior" caso alcança, na situação mais desfavorável (entre 9:00-9:59 ou 10:00-10:59), o resultado de 0,90 minutos para o TALA70. A exposição da quantidade 0,90, por ser unidade de tempo e com valor numérico entre 0 e 1, torna pouco evidente a relação entre prejuízos escolares e ruído aeroportuário.

O índice proposto, por outro lado, considera o número aproximado de vezes que o ruído aeroportuário interfere nas atividades escolares. Constatam-se, para a mesma situação apresentado acima (entre 9:00-9:59 ou 10:00-10:59), 2 desses momentos de

interrupção. Essa medida transmite a ideia de quantas vezes, durante o período considerado, os alunos estão propícios a situações de desconcentração proveniente do ruído das aeronaves. O que, conseqüentemente, contribui para a percepção dos prejuízos sonoros.

Outra utilidade para o uso do índice de interferências é a notoriedade da intermitência do ruído aeroportuário quando se considera maiores intervalos de tempo. Por exemplo, em um dia letivo - de 7:00 a 18:00, o resultado do TALA70, para o M-F1, é de 6,90 minutos. Esse valor não deixa claro que o ruído é descontínuo e, por esse motivo, prejudica a percepção sobre a inconstância deste. Com o uso do índice, no entanto, verificam-se 12 momentos de interrupção para o mesmo intervalo de tempo. Dessa maneira, nota-se com mais clareza que existe descontinuidade do ruído aeroportuário.

Dessa forma, apesar do índice proposto não informar quantidade exata de interferências nas atividades escolares, ele funciona como um indicador que simplifica o entendimento sobre o impacto do ruído aeroportuário nas escolas. Auxilia, então, na comunicação entre as pessoas e, conseqüentemente, contribui para a exposição do tema. Contribuindo também para orientação de medidas de controle aplicáveis.

Capítulo 4

Análise dos resultados

Ao se observar a tabela de níveis sonoros DNL e L_D A.16, percebe-se que os valores para cada receptor são semelhantes. A justificativa para essa situação baseia-se no intervalo de tempo que o aeroporto se encontra em funcionamento. Portanto, apesar do DNL ser uma média em 24h, as atividades aeroportuárias predominantes no período diurno tornam insignificante a diferença entre os níveis de ruído DNL e L_D .

Os valores de L_D encontrados já são suficientes para alcançar conformidade com o critério de aceitabilidade dentro da sala de aula - 50 dB(A). Isso tendo em vista o fator de correção em -10 dB(A) para conversão do nível do ambiente externo para o interno com janela aberta, de acordo com a NBR 10152. A exceção é apenas para o receptor M-F1, que chega a 7,3 dB(A) a mais que o limite de 50dB(A), aconselhado pela NBR 10152.

No que diz respeito aos valores de DNL , quando comparados ao limite de 65 dB(A) dado pelo PZER para ambiente escolar, encontram-se a maioria fora da zona de responsabilidade das autoridades aeroportuárias. A exceção mais uma vez é o receptor M-F1, com 3,2dB(A) acima.

Diferentemente das demais métricas analisadas, o TALA determina a relação do tempo em que o ruído esteve acima de determinado nível, em minutos. Essa métrica foi verificada no intervalo de funcionamento das escolas, de 7:00 às 18:00 h, em períodos de uma hora. Essa divisão de períodos é importante para permitir visualizar mais claramente a presença do ruído inconstante das aeronaves.

As tabelas A.17, A.18, A.19 e A.20 expressam o tempo em que o ruído aeroportuário permaneceu acima do nível sonoro de parâmetro para cada receptor. Caracterizando, com isso, as intermitências que acontecem durante as onze horas consideradas. Dos 39 casos analisados onde o ruído ultrapassou os limites de 60 e 70 dB(A), 20 deles alcançaram valores acima de 80dB(A) - TALA80 e 1 excedeu 90 dB(A) - TALA90.

Para uma análise mais detalhada sobre os resultados obtidos do TALA, buscou-se

fazer uma relação entre medição e simulação, de modo a verificar a confiabilidade do uso dessa métrica. De maneira complementar, relacionar os valores do TALA simulados entre dois receptores, caracterizados como o "piores" e "melhor" caso em relação ao nível de ruído atingido e a distância do aeroporto. O primeiro, M-F1, encontra-se mais próximo da pista e contém os maiores níveis sonoros dados pelas métricas cumulativas. Já o segundo, P-IF4, localiza-se no extremo da área delimitada para estudos e alcança os níveis mais baixos. Dessa maneira, foi possível qualificar o uso do TALA no que concerne à caracterização da exposição sonora e, por consequência, fundamentar um diagnóstico sonoro mais conveniente com a situação existente.

Dentro desse contexto, o TALA60 destaca-se por não apresentar contrastes significativos em relação a sujeição sonora dos receptores analisados. Ao contrário, os TALA70, 80 e 90 demonstraram resultados mais acertados com a realidade. Assegurando, consequentemente, a viabilidade necessária para um diagnóstico sonoro mais eficiente.

Com o intuito de evidenciar a condição dos receptores quanto à possível situação de desatenção dos alunos, foi formulado "Índice de interferência do ruído aeroportuário nas atividades escolares". Esse tem o propósito de simplificar o entendimento a respeito da inconstância do ruído. Esse índice pode ser verificado nos exemplos apontados pelos gráficos 3.24 e 3.25. Os casos escolhidos mais uma vez foram o M-F1 e o P-IF4, pela representatividade das situações em que se encontram.

O índice alcançado nas situações apresentadas demonstrou a diferença de quase o dobro do "piores" para o "melhor" caso. Há o total de 14 interrupções que o ruído aeroportuário causa nas atividades escolares da escola M-F1, enquanto que, para o P-IF4, o total de 8. Essa diferença entre os dois casos evidencia o contexto sonoro em acordo com a situação existente.

Atenta-se que a intenção do índice é favorecer o entendimento do ruído aeroportuário como um fator que prejudica a atenção dos alunos, tendo em vista sua intermitência. Dessa forma, é possível qualificar informações de um jeito que a inconstância do ruído fique mais evidente.

No que diz respeito à compatibilidade entre o nível de ruído verificado e o uso educacional, tem-se o seguinte:

- Para as regulamentação setorial - os níveis de ruído nos receptores, verificados através da métrica *DNL*, alcançaram valores abaixo dos 65dB(A) que delimita a área incompatível com o ruído aeroportuário. A única exceção (o receptor M-F1) apresenta pouca discrepância em relação a esse limite, com aproximadamente 3 dB(A) acima do recomendado.
- Para a NBR 10152 - os níveis de ruído nos receptores, verificados através da métrica *LD*, alcançaram valores próximos a 60dB(A). Quando aplicado o fator

de correção em -10dB(A) para a a verificação do nível de ruído no ambiente interno, verifica-se que a maioria dos casos estão próximos dos 50dB(A) recomendados pela NBR10152. A única exceção (o receptor M-F1) apresenta aproximadamente 7dB(A) acima do recomendado.

No geral, quando se tem por base os critérios exigidos pela norma NBR10152 e pela regulamentação setorial, os dados obtidos neste trabalho levam à conclusão de não haver impacto sonoro significativo no cenário apresentado - unidades educacionais em proximidade ao aeroporto de Vitória.

Contudo, não são apenas os níveis de ruído acima do limite indicado por norma que caracterizam prejuízo às atividades escolares. A constância do ambiente sonoro também é importante para não interferir na concentração dos alunos. Um ruído descontínuo provoca interrupções e isso é intensificador do impacto sonoro para as escolas.

É importante evidenciar que os critérios para a caracterização do ambiente sonoro usados pelas regulamentações setoriais e pelas normas técnicas são baseados em métricas cumulativas. Como resultado, gera níveis sonoros "diluídos" ao longo do tempo, desfigurando a natureza intermitente do ruído aeroportuário. Por essa razão o TALA destaca-se frente as demais métricas no que diz respeito ao diagnóstico ambiental sonoro em escolas.

Conjuntamente, a verificação de hora em hora para os valores do TALA permite detalhar a situação sonora existente. Isso ajuda a evidenciar fatores de incômodo sonoro, no contexto das escolas, mais condizentes com a realidade local.

Por fim, cabe ressaltar que o índice de interferências é um indicativo que simplifica informações relevantes sobre os prejuízos às atividades escolares. O que, conseqüentemente, está atribuído à intensidade do impacto sonoro e à necessidade de atenuação do ruído.

Capítulo 5

Considerações Finais

Este trabalho surgiu da necessidade de um estudo mais detalhado da caracterização do ambiente sonoro no entorno de aeroportos. O estudo teve enfoque nas unidades de ensino por se tratar de receptores críticos, cujas atividades dependem de um ambiente sonoro adequado. Como estudo de caso foi selecionado o Aeroporto de Vitória, no Espírito Santo.

Nos capítulos iniciais foram descritas as dificuldades de integração urbana de aeroporto no que diz respeito à compatibilidade entre os usos da cidade com o ruído das atividades de pouso e decolagem das aeronaves. Além disso, buscou-se apresentar uma revisão teórica sobre os efeitos adversos do ruído no ambiente de estudos e os prejuízos do ruído aeroportuário no geral. Como complemento, também foram descritos alguns conceitos fundamentais sobre acústica que servem de base para o entendimento do trabalho.

O método adotado baseou-se no mapeamento do ruído aeroportuário e na quantificação dos níveis sonoros na escala dos receptores sob condição de diferentes métricas. Esse procedimento permitiu analisar de maneira mais detalhada o ambiente sonoro existente e, com isso, demonstrar com mais eficiência fatores de incompatibilidade do ruído aeroportuário com as atividades educacionais.

Notou-se que, para o caso de Vitória, a análise do ruído aeroportuário no ambiente escolar pelas métricas DNL e L_D apontam para ausência quase total de problemas com o ruído das aeronaves dentro das salas de aula. Essas métricas são utilizadas pelas autoridades aeroportuárias e municipais, respectivamente. Evidenciando, portanto, a dificuldade de integração urbana dos aeroportos brasileiros no que diz respeito à compatibilidade do ruído urbano com o uso educacional próximo aos aeroportos.

É visível que, para relação harmoniosa entre cidade e aeroporto, é indispensável uma revisão tanto nos critérios das zonas de proteção do ruído apresentadas pelo PEZR quanto dos planos diretores dos municípios. Porém, a construção de novas restrições quanto ao uso e à ocupação do solo nas áreas mais próximas ao sítio

aeroportuário são medidas de longo prazo. As cidades onde a malha urbana já ocupa as áreas sensíveis ao ruído das operações de aeronaves carecem de tomada de ações a curto-médio prazo e que assegurem o compromisso pela implementação.

Diante dessa complexidade, fica evidente a necessidade de gestão integrada que estabeleça critérios locais de integração do aeroporto com sua área de influência. Isto é, uma cooperação entre municípios e autoridades setoriais que agregue orientações objetivas e meios efetivos de viabilizar a aplicação de medidas mitigatórias na escala do receptor. Isso com a finalidade de se estabelecer o funcionamento apropriado dos edifícios.

Os requisitos que levam à proposição de providências concretas para integração urbana de aeroportos podem incluir, por exemplo, a redução necessária de ruído a partir dos materiais de revestimento dos edifícios. Sendo importante o uso de isolantes para fachada e teto e de materiais absorventes para o interior dos cômodos. Pode-se citar também como exemplo: a geometria dos elementos de composição do edifício, a textura das superfícies e o uso de esquadrias com propriedades acústicas.

Medidas como essas podem ser direcionadas pelo código de obras municipal, tanto para futuros edifícios quanto na reforma daqueles já construídos. Essa lei é importante por integrar as recomendações das normas técnicas aos procedimentos a serem seguidos pelo plano diretor municipal em relação à construção civil. Além disso, ele é o instrumento que orienta a administração municipal a controlar e fiscalizar o espaço construído e seu entorno, variando suas premissas de projeto de acordo com o tipo de edificação. Diante disso, nota-se que a proposição de medidas mitigatórias para atenuação do ruído aeroportuário na escala de receptor também está relacionada ao planejamento local.

Assim sendo, a caracterização do ruído aeroportuário nos receptores, evidenciando fatores de incômodo, auxilia na compreensão do impacto sonoro. Assegura, portanto, meios mais confiáveis de garantir um diagnóstico sonoro próximo à realidade existente. Isso contribui para a busca de medidas mitigatórias eficientes ao melhoramento da qualidade de vida da população.

5.1 Limitações do estudo

Como fator limitante destaca-se a estimativa das rotas de decolagem na inserção de dados para geração do mapa de ruído realizados pelo INM. A porcentagem de voos que seguiu cada trajeto indicado pelas cartas aeronáuticas não é feita por dados oficiais da INFRAERO e, portanto, pode haver margem de erro. Por analogia, buscou-se relacionar as trajetórias possíveis em acordo com a orientação geográfica de destino dos voos.

Outro fator de limitação do trabalho foi a desconsideração das atividades de

aeronaves particulares e helicópteros. Para o primeiro caso a justificativa se baseia na falta de dados oficiais das operações de pouso e decolagem disponíveis. E para o segundo caso, a aplicação exige a realização de novos trabalhos, por ser realizado com critérios operacionais diferentes dos aviões.

5.2 Recomendações para trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, recomenda-se o estudo de caracterização do ambiente sonoro pelo ruído dos helicópteros, como forma de complementar a condição de ruído aéreo existente nas cidades.

Somado a isso, sugere-se considerar as particularidades de demais receptores críticos, como hospitais por exemplo, para caracterização dos fatores de incômodo sonoro. Conjuntamente, aconselha-se a verificação da necessidade de atenuação do ruído.

Indica-se também a estimativa do nível de atenuação, para compatibilidade das atividades exercidas no edifício, em comparação com os níveis de aceitabilidade do ruído indicados pela NBR 10152. Essa pode ser complementada por um estudo de atenuação de fachada a fim de diminuir o ruído interno. Sugerindo, por exemplo, quais os elementos arquitetônicos adequados para essa finalidade.

Referências Bibliográficas

- [1] SILVA, P. *Acústica Arquitetônica e Condicionamento de Ar*. Editora Termo Acústica, 2002.
- [2] DE SOUZA, L. C. L., DE ALMEIDA, M. G., BRAGANÇA, L., et al. *Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura*. Edufscar, 2011.
- [3] DA SILVA, B. A. C. *Development of a Methodology for Evaluation and Communication of Aircraft Noise Impacts Around Airports*. Doutorado em pesquisa operacional e transporte aereo, Instituto Tecnológico de Aeronáutica ITA, São José dos Campos-SP, 2016.
- [4] CROCKER, M. J. *Handbook of Acoustics*. 1998.
- [5] PLOTKIN, K., SHARP, B., CONNOR, T., et al. *Updating and Supplementing the Day-Night Average Sound Level (DNL)*. Wyle report 11-04 dot-faa-ae-2011-03, The Volpe National Transportation Systems Center, Wyle Environmental and Energy Research Consulting (EERC), jun. 2011.
- [6] GOLDSCHAGG, P. “Using supplemental aircraft noise information to assist airport neighbours understand aircraft noise”, *Transportation Research Part D - Transport and Environment*, v. 21, pp. 14–18, 2013. ISSN: 1361-9209. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2013.01.008>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920913000126>>.
- [7] DE CARVALHO, L. A., SLAMA, J. G., NASSI, C. D. “A complementary metric to define a buffer zone in Brazilian airports”, *Journal of Transport Literature*, v. 8, n. 4, pp. 316–328, 2014. ISSN: 2238-1031. Challenges in Latin American Air Transport.
- [8] REVOREDO, T., SLAMA, J. “Noise metrics comparison and its use on urban zoning in airport surveys: A Brazilian case study”, *Journal of Air Transport Management*, v. 14, n. 6, pp. 304 – 307, 2008. ISSN:

0969-6997. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2008.08.003>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699708001002>>. Challenges in Latin American Air Transport.

- [9] HELENO, T. A., SLAMA, J. G., BENTES, F. M. “Analysis of airport noise through {LAeq} noise metrics”, *Journal of Air Transport Management*, v. 37, pp. 5 – 9, 2014. ISSN: 0969-6997. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2014.01.004>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699714000052>>.
- [10] ADMINISTRATION, U. S. F. A. *Potomac Consolidated Terminal Radar Approach Control (TRACON) Facility Airspace Redesign: Environmental Impact Statement*. U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, 2002. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=k-YOQAAMAAJ>>.
- [11] WOODWARD, J. M., BRISCOE, L. L., DUNHOLTER, P. *Aircraft Noise : A Toolkit for Managing Community Expectations*. Transportation Research Board (TRB); Washington, D.C., 2009. Disponível em: <<http://www.trb.org/Publications/Blurbs/162800.aspx>>.
- [12] ISO. “Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels”, *ISO 1996-2*, pp. 1–40, 2007.
- [13] OZKURT, N., SARI, D., AKDAG, A., et al. “Modeling of noise pollution and estimated human exposure around İstanbul Atatürk Airport in Turkey”, *Science of The Total Environment*, v. 482–483, pp. 486 – 492, 2014. ISSN: 0048-9697. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.017>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713009315>>.
- [14] DIRECTIVE, E. “Directive 2002/49/EC of the European parliament and the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise”, *Official Journal of the European Communities, L*, v. 189, n. 18.07, pp. 2002, 2002.
- [15] DE KLUIZENAAR, Y., JANSSEN, S. A., VAN LENTHE, F. J., et al. “Long-term road traffic noise exposure is associated with an increase in morning tiredness”, *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 126, n. 2, pp. 626–633, 2009. doi: 10.1121/1.3158834. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1121/1.3158834>>.

- [16] VAN KEMPEN, E., KRUIZE, H., BOSUIZEN, H., et al. “The association between noise exposure and blood pressure and ischemic heart disease: a meta-analysis”, *Environmental Health Perspectives*, v. 110, n. 3, pp. 307–317, 2002. ISSN: 0091-6765.
- [17] KEMPEN, E. V., BABISCH, W. “The quantitative relationship between road traffic noise and hypertension: a meta-analysis”, *Journal of Hypertension*, v. 30, n. 6, pp. 1075–1086, 2012. ISSN: 0263-6352.
- [18] NIEMANN, H., BONNEFOY, X., BRAUBACH, M., et al. “Noise-induced Annoyance and Morbidity Results from the Pan-European LARES Study”, *Noise and Health*, v. 8, n. 31, pp. 63–79, 2006. ISSN: 14631741.
- [19] DAVIES, H., TESCHKE, K., KENNEDY, S., et al. “Occupational exposure to noise and mortality from acute myocardial infarction”, *Epidemiology*, v. 16, n. 1, pp. 25–32, 2005. ISSN: 1044-3983.
- [20] OMS. “Guidelines for community noise”, *Organizaçã Mundial da Saúde*, pp. 1–141, 1999.
- [21] DE OLIVEIRA ENIZ, A. *Poluição Sonora em escolas do Distrito Federal*. Tese de Mestrado, Universidade Católica de Brasília, 2004.
- [22] BRANCO, E. R. P. *O ruído nas escolas*. Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra, 2013.
- [23] STANSFELD, S., BERGLUND, B., CLARK, C., et al. “Aircraft and road traffic noise and children’s cognition and health: a cross-national study”, *The Lancet*, v. 365, n. 9475, pp. 1942 – 1949, 2005. ISSN: 0140-6736. doi: [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)66660-3](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)66660-3). Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673605666603>.
- [24] MATHESON, M., CLARK, C., MARTIN, R., et al. “The effects of road traffic and aircraft noise exposure on children’s episodic memory: The RANCH Project”, *Noise e Health*, v. 12, n. 49, pp. 244–254, 2010. Disponível em: <http://www.noiseandhealth.org/>.
- [25] CLARK, C., MARTIN, R., VAN KEMPEN, E., et al. “Exposure-Effect Relations between Aircraft and Road Traffic Noise Exposure at School and Reading Comprehension The RANCH Project”, *American Journal of Epidemiology*, v. 163, n. 1, pp. 27, 2006. doi: 10.1093/aje/kwj001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1093/aje/kwj001>.

- [26] GRANDJEAN, E. *Manual de ergonomia: adaptando o trabalho ao homem*. Bokman, 1998. ISBN: 9788573073539. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=x_02AAAACAAJ>.
- [27] RENATA DE BRITO ROCHA, J. G. S. “Adequação do zoneamento urbano ao zoneamento sonoro dos aeroportos”. v. 512, pp. 629–640, Rio de Janeiro, 2008. VII Simpósio de Transporte Aéreo.
- [28] PHUN, V. K., TERADA, J., HIRATA, T., et al. “Analysis of Aircraft Noise Sensitivity at an Urban Airport Using the Concept of a Reference Noise Level”, *Asian Transport Studies*, v. 3, n. 3, pp. 345–361, 2015. doi: 10.11175/eastsats.3.345.
- [29] BARROSO, E. M. F. *Loteamento Fechado*. Editora Barauna, 2015.
- [30] DE MENEZES CALDAS, T. C. “Integração Urbana de Aeroportos, um desafio para o planejamento”. v. 410, pp. 327–333, Rio de Janeiro, 2008. VII Simpósio de Transporte Aéreo.
- [31] GOMES, C., BAYER, M. S. M. “Interações entre aeroporto, cidade e região: desafios para uma ação a respeito do caso de São José dos Campos (SP)”, *Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP*, v. 18, n. 29, pp. 154–172, 2011. ISSN: 2317-2762. doi: 10.11606/issn.2317-2762.v18i29p154-172. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/posfau/article/view/43731>>.
- [32] BAYER, M. S. M. *Espaço Urbano, Aeroporto e Legislação Aeronáutica: o caso de São José dos Campos-SP*. Dissertação de mestrado, Universidade do Vale do Paraíba, São Paulo, 2009.
- [33] ABNT. “Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento”, *NBR 10151*, pp. 1–4, jun. 2000.
- [34] CONAMA. “RESOLUÇÃO CONAMA n. 1”, *Conselho Nacional do Meio Ambiente*, p. 6408, 1990.
- [35] RBAC161. “Planos de Zoneamento do Ruído de Aeródromos”, *Agência Nacional de Aviação Civil*, pp. 14–15, 2013.
- [36] SÁNCHEZ, L. *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. Oficina de Textos, 2006. ISBN: 9788586238598. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=II9iBAAACAAJ>>.
- [37] A GAZETA. “Infraero não prevê obra no aeroporto de Vitória”, *Vitória*, v. 4 de fevereiro, pp. 11, 1991.

- [38] A GAZETA. “Novo Local será selecionado”, *Vitória*, v. 4 de junho, 1991.
- [39] A GAZETA. “Aeroporto estrangulado”, *Vitória*, v. 1 de fevereiro, 1990.
- [40] BID. “Liderando o Desenvolvimento Sustentável das Cidades”, *Banco Interamericano de Desenvolvimento*, pp. 1–31, 2011.
- [41] COMPANY, M. . *Estudo do setor de transporte aéreo do Brasil*. Câmara Brasileira do Livro, 2010. ISBN: 978-85-63579-00-3.
- [42] ADMINISTRATION, F. A. “User’s Guide, INM 7.0”, *Integrated Noise Model*, 2007.

Apêndice A

Tabela A.1: Rotas e seus segmentos

CABECEIRA 05				
DEP	Destino/ rotas	Segmentos	Tipo	Distância (km)
DEP 01	GIDOD, AKTIN ANDOD, ARPEV BURVI, VAKAM NIKSU, MABSI	1	Reta	10
DEP 03	NIKSU	1	Reta	10
DEP 05	MABSI, SEKMI	1	Reta	10
DEP 07	-			
APP 01	TODOS	1	Reta	10
CABECEIRA 23				
DEP	Destino/ rotas	Segmentos	Tipo	Distância (km)
DEP 02	GIDOD, AKTIN ANDOD, ARPEV BURVI, VAKAM NIKSU, MABSI	1	Reto	10
		1	Reto	5
		2	Curva a esquerda	60°
DEP 04	NIKSU, CALVO MINIG, LIVAM KIKAT	1	Reto	2,5
		2	Curva a direita	60°
DEP 06	NIKSU, CALVO MINIG, LIVAM KIKAT	1	Reto	10
DEP 08	SEKMI, MABSI	1	Reto	10
APP 02	TODOS	1	Reta	10

Tabela A.2: Porcentagem por Aeronave e por Rota

Aeronave	SAIDAS									CHEGADAS			
	Nº DE VÔOS	65% Cabeceira 05			35% Cabeceira 23				Nº DE VÔOS	65%	35%		
		DEP 01	DEP 03	DEP 05	DEP 02	DEP 04	DEP 06	DEP 08		APP 01	APP 02		
EMB190(S)	DIURNO	15	4,57	2,74	2,44	2,24	0,76	0,76	1,47	DIURNO	16	10,4	5,6
	NOTURNO	1	0,30	0,18	0,00	0,15	0,05	0,05	0,00	NOTURNO	0	0	0
737700(S)	DIURNO	13	4,23	0,65	3,63	2,28	0,00	0,35	1,95	DIURNO	14	9,1	4,9
	NOTURNO	1	0,32	0,00	0,27	0,17	0,00	0,00	0,15	NOTURNO	0	0	0
737800(S)	DIURNO	1	0,32	0,00	0,33	0,17	0,00	0,00	0,18	DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NOTURNO	0	0	0
767300(S)	DIURNO	2	0,65	0,33	0,33	0,29	0,12	0,12	0,17	DIURNO	2	1,3	0,7
	NOTURNO	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NOTURNO	0	0	0
A319(S)	DIURNO	2	0,65	0,33	0,33	0,29	0,12	0,12	0,17	DIURNO	2	1,3	0,7
	NOTURNO	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NOTURNO	0	0	0
A320(S)	DIURNO	9	2,93	0,32	2,63	1,26	0,32	0,32	1,22	DIURNO	10	6,5	3,5
	NOTURNO	1	0,33	0,00	0,29	0,14	0,04	0,04	0,00	NOTURNO	0	0	0
727200(S)	DIURNO	1	0,33	0,00	0,32	0,17	0,00	0,00	0,17	DIURNO	0	0	0
	NOTURNO	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	NOTURNO	1	0,65	0,35

Tabela A.3: Unidades de ensino localizados na área sensível ao ruído aeroportuário

Sigla	Nome	Tipo	Endereço	Latitude	Longitude
M-F 1	EMEF Arthur da Costa e Silva	Escola Municipal de Ensino Fundamental	Rua Presidente Rodrigues Alves, n. 255, República - Vitória	-20,269288	-40,294940
P-FM 1	Escola Contec - Unidade Carapina	Escola Privada de Ensino Fundamental e Médio	Rua Edson Pompemayer, n. 11, Rosário de Fátima - Serra	-20,231552	-40,271166
E-FM 1	EEEFM Belmiro Teixeira Pimenta	Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio	Rua dos Perdizes, n. 5, Eurico Salles - Serra	-20,237849	-40,276399
M-F 2	EMEF Augusto Ruschi	Escola Municipal de Ensino Fundamental	Rua Edson Pompemayer, s/n, Manoel Plaza - Serra	-20,232607	-40,269669
P-IF 1	Escola Beija-Flor	Escola Privada de Ensino Infantil e Fundamental	Rua dos PiriQUITOS, n. 1, Eurico Salles - Serra	-20,236065	-40,272571
P-F 1	EPPG Cristo Redentor	Escola Particular de Ensino Fundamental	Av. Presidente Costa e Silva, n. 60, República - Vitória	-20,269191	-40,296864
M-I 1	CMEI Marlene Orlande Simonetti	Centro Municipal de Educação Infantil	Praça Therezinha Grecchi, s/n, República - Vitória	-20,271050	-40,294001
E-M 1	EEEM Amulpho Mattos	Escola Estadual de Ensino Médio	Rua Presidente Nereu Ramos, n. 172, República - Vitória	-20,271882	-40,294160
P-M 1	Charles Darwin - Mata da Praia	Escola Privada de Ensino Médio	Rua Desembargador Vicente Caetano, n. 116, Mata da Praia - Vitória	-20,278196	-40,300155
M-F 3	EMEF Izaura Marques da Silva	Escola Municipal de Ensino Fundamental	Av. Leitão da Silva, n. 3291, Andorinhas - Vitória	-20,286174	-40,306467
M-F 4	EMEF São Diogo	Escola Municipal de Ensino Fundamental	Rua Olavo Bilac, s/n, São Diogo II - Serra	-20,218284	-40,257755
P-I 1	Creche Passo a Passo	Escola Privada de Ensino Infantil	Rua Olavo Bilac, n. 1, São Diogo I - Serra	-20,218148	-40,299397
M-F 05	EMEF Professora Maria Magdalena Pisa	Escola Municipal de Ensino Fundamental	Av. Presidente Getúlio Vargas, n. 66, São Geraldo - Serra	-20,226861	-40,268996
E-FM 02	EEEFM Rômulo Castello	Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio	Rua Independência, s/n, Rosário de Fátima - Serra	-20,231038	-40,273138
M-F 06	EMEF Dr. Hélio Ferraz	Escola Municipal de Ensino Fundamental	Rua Rio Hipirãnga, s/n, Hélio Ferraz - Serra	-20,241590	-40,269529
P-IF 02	CE Interativo	Centro Educacional Privado (Infantil, fundamental)	Rua Manoel Vivacoa, s/n, Jabour - Vitória	-20,258435	-40,293269
P-IF 03	Escola Cisne Branco	Escola Privada Infantil e Fundamental	Rua Alexandre Martins de Figueiredo, n. 96, Solon Borges - Vitória	-20,262371	-40,295717
P-P 01	Centro de Educação Profissional do Espírito Santo	Escola Privada de Educação Profissional	Av. Fernando Ferrari, n. 2194, Goiabeiras - Vitória	-20,266710	-40,297818

Sigla	Nome	Tipo	Endereço	Latitude	Longitude
P-S 01	FUCAPE	Ensino Superior Privado	Av. Fernando Ferrari, n. 1358, Boa Vista - Vitória	-20,273357	-40,300326
F-S 01	UFES - Campus Goiabeiras	Universidade Federal	Av. Fernando Ferrari, n. 1852, Goiabeiras - Vitória	-20,275566	-40,301991
F-I 01	Criarte UFES	Centro Federal de Educação Infantil	Av. Fernando Ferrari, n. 514, Goiabeiras - Vitória	-20,279580	-40,305000
M-F 07	EMEF Experimental de Vitória	Escola Municipal de Ensino Fundamental	Av. Fernando Ferrari, n. 514, Goiabeiras - Vitória	-20,279831	-40,304866
M-I 02	CMEI Maria Nazareth Meneguelli	Centro Municipal de Educação Infantil	Rua Léa, n. 180, Santa Martha - Vitória	-20,287615	-40,308441
M-F 08	EMEF Marieta Escobar	Escola Municipal de Ensino Fundamental	Rua João Batista Martinho, n.82, Santa Martha - Vitória	-20,291316	-40,309494
M-I 03	CMEI Nelcy da Silva Braga	Centro Municipal de Educação Infantil	Rua João Azevedo, n. 300, São Cristóvão - Vitória	-20,293951	-40,312954
E-FM 03	EEEFM Aflordizio Carvalho da Silva	Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio	Rua Engenheiro Rubens Bley, n. 100, da Penha - Vitória	-20,295366	-40,311448
M-I 04	CEMEI Theodoro Faé	Centro Municipal de Educação Infantil	Rua Carlos Bonissi, n.62, Itararé - Vitória	-20,295759	-40,309717
P-S 02	Faculdade Teológica do Espírito Santo	Ensino Superior Privado	Rua José Nery do Rosário, n.17, Bonfim - Vitória	-20,296557	-40,314558
F-S 02	UFES - Campus Maruípe	Universidade Federal	Av. Marechal Campos, n.1468, Bonfim - Vitória	-20,299503	-40,316014
M-F 09	EMEF Prezideu Amorim	Escola Municipal de Ensino Fundamental	Rua Dr. Aluisio de Menezes, n.220, Bonfim - Vitória	-20,300645	-40,314158
M-I 05	CEMEI Dr. Pedro Feu Rosa	Centro Municipal de Educação Infantil	Rua Dr. Aluisio de Menezes, n.298, Bonfim - Vitória	-20,300435	-40,313367
M-I 06	CEMEI Valdivia da Penha Antunes Rodrigues	Centro Municipal de Educação Infantil	Rua São Marcos, n.55, Santos Dumont - Vitória	-20,301151	-40,316621
P-IF 04	Colégio Faesa Jucutuquara	Ensino Privado Infantil e Fundamental	Rua Barão de Mauá, n.30, Jucutuquara - Vitória	-20,308106	-40,320312
P-S 03	UNIVES Faculdade de Ciências e Educação do Espírito Santo	Ensino Superior Privado	Av. Maruípe, n.2535, Santa Martha - Vitória	-20,290726	-40,307485
P-S 04	FATEC Faculdade de Tecnologia Consultime	Ensino Superior Privado	Av. Maruípe, n.2535, Santa Martha - Vitória	-20,290953	-40,307498
P-S 05	Faculdade de Educação de Vitória	Ensino Superior Privado	Av. Maruípe, n.2535, Santa Martha - Vitória	-20,291078	-40,307431
P-IF 05	Centro Educacional Renascer	Ensino Privado Infantil e Fundamental	Rua Comissário Octávio Queirós, n.195, Jardim da Penha - Vitória	-20,281409	-40,299947
P-IF 06	Colégio Faesa Mata da Praia	Ensino Privado Infantil e Fundamental	Rua João Nunes Coelho, n.150, Mata da Praia - Vitória	-20,278364	-40,296121
P-IF 07	Escola Bem me Quer	Ensino Privado Infantil e Fundamental	Rua Zelv de Paula, n.12, República - Vitória	-20,270415	-40,291332

Tabela A.4: Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 7:00 - 7:59

Aeronave	SAIDAS									CHEGADAS			
	Nº DE VÔOS	65% Cabeceira 05			35% Cabeceira 23				Nº DE VÔOS	65%	35%		
		DEP 01	DEP 03	DEP 05	DEP 02	DEP 04	DEP 06	DEP 08				APP 01	APP 02
EMB190(S)	DIURNO	1	0,325	0,325		0,11	0,11	0,11		DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
737700(S)	DIURNO									DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
737800(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
767300(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A319(S)	DIURNO									DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
A320(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
727200(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			

Tabela A.5: Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 8:00 - 8:59

Aeronave	SAIDAS									CHEGADAS			
	Nº DE VÔOS	65% Cabeceira 05			35% Cabeceira 23				Nº DE VÔOS	65%	35%		
		DEP 01	DEP 03	DEP 05	DEP 02	DEP 04	DEP 06	DEP 08				APP 01	APP 02
EMB190(S)	DIURNO	1	0,216	0,216	0,216	0,175			0,175	DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
737700(S)	DIURNO	1	0,325		0,325	0,175			0,175	DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
737800(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
767300(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A319(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A320(S)	DIURNO	1	0,325		0,325	0,175			0,175	DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
727200(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			

Tabela A.6: Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 9:00 - 9:59

Aeronave	SAIDAS									CHEGADAS			
	Nº DE VÔOS	65% Cabeceira 05			35% Cabeceira 23				Nº DE VÔOS	65%	35%		
		DEP 01	DEP 03	DEP 05	DEP 02	DEP 04	DEP 06	DEP 08				APP 01	APP 02
EMB190(S)	DIURNO	2	0,65		0,65	0,35			0,35	DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
737700(S)	DIURNO	1	0,325		0,325	0,175			0,175	DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
737800(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
767300(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A319(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A320(S)	DIURNO	1	0,325		0,325	0,11	0,11	0,11		DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
727200(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			

Tabela A.7: Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 10:00 - 10:59

Aeronave	SAIDAS									CHEGADAS			
	Nº DE VÔOS	65% Cabeceira 05			35% Cabeceira 23				Nº DE VÔOS	65%	35%		
		DEP 01	DEP 03	DEP 05	DEP 02	DEP 04	DEP 06	DEP 08				APP 01	APP 02
EMB190(S)	DIURNO	1	0,325	0,325		0,11	0,11	0,11		DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
737700(S)	DIURNO	2	0,65		0,65	0,35			0,35	DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
737800(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
767300(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A319(S)	DIURNO	1	0,325	0,325		0,11	0,11	0,11		DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A320(S)	DIURNO	1	0,325		0,325	0,11	0,11	0,11		DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
727200(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			

Tabela A.8: Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 11:00 - 11:59

Aeronave	SAIDAS								CHEGADAS			
	Nº DE VÔOS	65% Cabeceira 05			35% Cabeceira 23				Nº DE VÔOS	65% APP 01	35% APP 02	
		DEP 01	DEP 03	DEP 05	DEP 02	DEP 04	DEP 06	DEP 08				
EMB190(S)	DIURNO								DIURNO	2	1,3	0,7
	NOTURNO								NOTURNO			
737700(S)	DIURNO								DIURNO	2	1,3	0,7
	NOTURNO								NOTURNO			
737800(S)	DIURNO								DIURNO			
	NOTURNO								NOTURNO			
767300(S)	DIURNO								DIURNO			
	NOTURNO								NOTURNO			
A319(S)	DIURNO								DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO								NOTURNO			
A320(S)	DIURNO								DIURNO			
	NOTURNO								NOTURNO			
727200(S)	DIURNO								DIURNO			
	NOTURNO								NOTURNO			

Tabela A.9: Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 12:00 - 12:59

Aeronave	SAIDAS								CHEGADAS				
	Nº DE VÔOS	65% Cabeceira 05			35% Cabeceira 23				Nº DE VÔOS	65% APP 01	35% APP 02		
		DEP 01	DEP 03	DEP 05	DEP 02	DEP 04	DEP 06	DEP 08					
EMB190(S)	DIURNO	1	0,216	0,216	0,216	0,175			0,175	DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
737700(S)	DIURNO	2	0,65		0,65	0,35			0,35	DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
737800(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
767300(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A319(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A320(S)	DIURNO	1	0,325		0,325	0,175			0,175	DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
727200(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			

Tabela A.10: Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 13:00 - 13:59

Aeronave	SAIDAS									CHEGADAS			
	Nº DE VÔOS	65% Cabeceira 05			35% Cabeceira 23				Nº DE VÔOS	65%	35%		
		DEP 01	DEP 03	DEP 05	DEP 02	DEP 04	DEP 06	DEP 08				APP 01	APP 02
EMB190(S)	DIURNO	2	0,65	0,325	0,325	0,35	0,11	0,11	0,175	DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
737700(S)	DIURNO									DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
737800(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
767300(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A319(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A320(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
727200(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			

Tabela A.11: Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 14:00 - 14:59

Aeronave	SAIDAS									CHEGADAS			
	Nº DE VÔOS	65% Cabeceira 05			35% Cabeceira 23				Nº DE VÔOS	65%	35%		
		DEP 01	DEP 03	DEP 05	DEP 02	DEP 04	DEP 06	DEP 08				APP 01	APP 02
EMB190(S)	DIURNO									DIURNO	3	1,95	1,05
	NOTURNO									NOTURNO			
737700(S)	DIURNO									DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
737800(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
767300(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A319(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A320(S)	DIURNO	1	0,325		0,325	0,11	0,11	0,11		DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
727200(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			

Tabela A.12: Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 14:00 - 14:59

Aeronave	SAIDAS								CHEGADAS			
	Nº DE VÔOS	65% Cabeceira 05			35% Cabeceira 23				Nº DE VÔOS	65%	35%	
		DEP 01	DEP 03	DEP 05	DEP 02	DEP 04	DEP 06	DEP 08		APP 01	APP 02	
EMB190(S)	DIURNO								DIURNO	3	1,95	1,05
	NOTURNO								NOTURNO			
737700(S)	DIURNO								DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO								NOTURNO			
737800(S)	DIURNO								DIURNO			
	NOTURNO								NOTURNO			
767300(S)	DIURNO								DIURNO			
	NOTURNO								NOTURNO			
A319(S)	DIURNO								DIURNO			
	NOTURNO								NOTURNO			
A320(S)	DIURNO	1	0,325		0,325	0,11	0,11	0,11	DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO								NOTURNO			
727200(S)	DIURNO								DIURNO			
	NOTURNO								NOTURNO			

Tabela A.13: Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 15:00 - 15:59

Aeronave	SAIDAS								CHEGADAS			
	Nº DE VÔOS	65% Cabeceira 05			35% Cabeceira 23				Nº DE VÔOS	65%	35%	
		DEP 01	DEP 03	DEP 05	DEP 02	DEP 04	DEP 06	DEP 08		APP 01	APP 02	
EMB190(S)	DIURNO	1	0,325	0,325		0,11	0,11	0,11		DIURNO		
	NOTURNO									NOTURNO		
737700(S)	DIURNO	1	0,325		0,325	0,175			0,175	DIURNO		
	NOTURNO									NOTURNO		
737800(S)	DIURNO									DIURNO		
	NOTURNO									NOTURNO		
767300(S)	DIURNO	1	0,325	0,325		0,175			0,175	DIURNO		
	NOTURNO									NOTURNO		
A319(S)	DIURNO									DIURNO		
	NOTURNO									NOTURNO		
A320(S)	DIURNO									DIURNO		
	NOTURNO									NOTURNO		
727200(S)	DIURNO									DIURNO		
	NOTURNO									NOTURNO		

Tabela A.14: Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 16:00 - 16:59

Aeronave	SAIDAS								CHEGADAS				
	Nº DE VÔOS	65% Cabeceira 05			35% Cabeceira 23				Nº DE VÔOS	65%	35%		
		DEP 01	DEP 03	DEP 05	DEP 02	DEP 04	DEP 06	DEP 08		APP 01	APP 02		
EMB190(S)	DIURNO	1	0,325		0,325	0,175			0,175	DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
737700(S)	DIURNO	1	0,325	0,325		0,175		0,175		DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
737800(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
767300(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A319(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A320(S)	DIURNO	1	0,325	0,325		0,11	0,11	0,11		DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
727200(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			

Tabela A.15: Porcentagem por Aeronave e por Rota, cenário 17:00 - 18:00

Aeronave	SAIDAS								CHEGADAS				
	Nº DE VÔOS	65% Cabeceira 05			35% Cabeceira 23				Nº DE VÔOS	65%	35%		
		DEP 01	DEP 03	DEP 05	DEP 02	DEP 04	DEP 06	DEP 08		APP 01	APP 02		
EMB190(S)	DIURNO	1	0,325		0,325	0,175			0,175	DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
737700(S)	DIURNO									DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
737800(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
767300(S)	DIURNO									DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
A319(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			
A320(S)	DIURNO									DIURNO	1	0,65	0,35
	NOTURNO									NOTURNO			
727200(S)	DIURNO									DIURNO			
	NOTURNO									NOTURNO			

Tabela A.16: Níveis sonoros dos receptores em *DNL* e *LD*

Unidades de ensino	DNL	LD
E-FM 1	60.1	60.7
E-FM 2	57.2	57.8
E-FM 3	58.2	57.6
E-M 1	60.8	61.3
F-I 1	56.4	56.9
F-S 1	57.5	58.0
F-S 2	56.3	55.9
M-F 1	68.2	67.3
M-F 2	61.6	61.6
M-F 3	60.4	59.8
M-F 4	55.6	56.3
M-F 5	57.6	58.3
M-F 6	55.1	55.6
M-F 7	56.9	57.3
M-F 8	59.3	58.6
M-F 9	56.5	56.1
M-I 1	62.1	62.4
M-I 2	58.5	58.4
M-I 3	56.7	56.7
M-I 4	56.4	56.6
M-I 5	56.0	55.8
M-I 6	56.4	55.8
P-F 1	60.3	60.7
P-FM 1	59.9	60.4
P-I 1	57.1	57.4
P-IF 1	63.2	63.0
P-IF 2	55.8	56.3
P-IF 4	55.2	54.6
P-IF 5	58.1	58.5
P-IF 6	55.6	56.2
P-IF 7	58.0	58.5
P-M 1	63.9	62.8
P-P 1	56.6	57.1
P-S 1	58.1	58.6
P-S 2	56.4	56.2
P-S 3	58.7	58.4
P-S 4	58.4	58.3
P-S 5	58.2	58.1
PI-F 3	57.7	58.1

Tabela A.17: TALA60 dos receptores, em minutos

Unidades de ensino	TALA60 de hora em hora										
	7:00 até 7:59	8:00 até 8:59	9:00 até 9:59	10:00 até 10:59	11:00 até 11:59	12:00 até 12:59	13:00 até 13:59	14:00 até 14:59	15:00 até 15:59	16:00 até 16:59	17:00 até 18:00
E-FM 1	0,8	1,7	2,2	2,6	0,8	2	0,2	1,3	1,3	1,8	1
E-FM 2	0,8	1,5	2	2,3	0,8	1,7	0,2	1,3	1,1	1,7	1
E-FM 3	1,1	1,2	1,7	1,6	1,5	1,1	0,3	1,7	0,6	1,5	1,4
E-M 1	1,1	1,4	1,9	2	1,4	1,4	0,3	1,6	0,9	1,7	1,3
F-I 1	1,1	1,3	1,7	1,7	1,5	1,2	0,3	1,7	0,6	1,5	1,4
F-S 1	1,1	1,3	1,8	1,8	1,5	1,3	0,3	1,7	0,7	1,6	1,4
F-S 2	1,2	1,2	1,7	1,5	1,7	1	0,4	1,7	0,5	1,5	1,5
M-F 1	0,9	1,3	1,8	1,9	1,1	1,5	0,2	1,4	0,9	1,6	1,2
M-F 2	0,8	1,4	1,9	2,2	0,8	1,6	0,2	1,2	1,1	1,6	0,9
M-F 3	1,1	1,2	1,7	1,6	1,5	1,1	0,3	1,6	0,6	1,5	1,3
M-F 4	0,9	1,4	1,9	2,1	0,9	1,6	0,2	1,2	1	1,6	1
M-F 5	0,9	1,4	1,9	2,2	0,9	1,6	0,2	1,2	1	1,6	1
M-F 6	0,7	1,6	2	2,5	0,5	1,9	0,1	1,1	1,3	1,7	0,8
M-F 7	1,1	1,3	1,7	1,7	1,5	1,1	0,3	1,7	0,6	1,6	1,4
M-F 8	1,1	1,2	1,7	1,6	1,5	1,2	0,3	1,6	0,6	1,5	1,4
M-F 9	1,2	1,2	1,7	1,5	1,7	1,1	0,4	1,7	0,5	1,5	1,5
M-I 1	1,1	1,4	1,9	2	1,4	1,4	0,3	1,6	0,9	1,7	1,3
M-I 2	1,1	1,2	1,7	1,6	1,6	1,2	0,3	1,7	0,6	1,6	1,4
M-I 3	1,2	1,2	1,7	1,6	1,6	1,1	0,4	1,8	0,6	1,6	1,5
M-I 4	1,2	1,3	1,8	1,7	1,6	1,2	0,4	1,8	0,6	1,6	1,5
M-I 5	1,2	1,2	1,7	1,5	1,7	1,1	0,4	1,8	0,5	1,6	1,5
M-I 6	1,1	1,2	1,6	1,5	1,7	1	0,4	1,7	0,5	1,5	1,5
P-F 1	1,1	1,4	2	2	1,4	1,5	0,3	1,6	1	1,7	1,3
P-FM 1	0,8	1,5	2	2,3	0,8	1,7	0,2	1,3	1,1	1,6	1
P-I 1	0,8	1,4	1,9	2,1	0,9	1,6	0,2	1,2	1	1,6	1
P-IF 1	0,8	1,5	2	2,4	0,7	1,8	0,2	1,2	1,2	1,6	0,9
P-IF 2	0,9	2,7	3,5	4,2	0,4	3,4	0,1	1,3	2,8	2,7	1,4
P-IF 4	1,1	1,1	1,5	1,2	1,7	0,9	0,4	1,7	0,4	1,4	1,4
P-IF 5	1,1	1,3	1,7	1,7	1,5	1,2	0,3	1,7	0,6	1,6	1,4
P-IF 6	1	1,3	1,8	1,8	1,4	1,3	0,3	1,6	0,8	1,6	1,3
P-IF 7	1,1	1,9	2,5	2,7	1,1	2,1	0,3	1,6	1,6	2,1	1,3
P-M 1	1	1,2	1,6	1,6	1,3	1,2	0,3	1,5	0,7	1,4	1,2
P-P 1	1	2,1	2,8	3,2	0,9	2,6	0,2	1,5	2,1	2,3	1,3
P-S 1	1,1	1,4	1,8	1,9	1,4	1,3	0,3	1,7	0,8	1,6	1,3
P-S 2	1,1	1,2	1,7	1,5	1,6	1,1	0,4	1,7	0,5	1,5	1,5
P-S 3	1,1	1,3	1,8	1,6	1,6	1,2	0,3	1,7	0,6	1,6	1,4
P-S 4	1,1	1,3	1,8	1,7	1,6	1,2	0,3	1,7	0,6	1,6	1,4
P-S 5	1,1	1,3	1,8	1,7	1,6	1,2	0,3	1,7	0,6	1,6	1,4
PI-F 3	1,1	3,2	4,1	5	0,4	4,1	0,1	1,4	3,6	3,2	1,3

Tabela A.18: TALA70 dos receptores, em minutos

Unidades de ensino	TALA70 de hora em hora										
	7:00 até 7:59	8:00 até 8:59	9:00 até 9:59	10:00 até 10:59	11:00 até 11:59	12:00 até 12:59	13:00 até 13:59	14:00 até 14:59	15:00 até 15:59	16:00 até 16:59	17:00 até 18:00
	E-FM 1	0,4	0,7	1	1,2	0,3	0,9	0,1	0,6	0,6	0,8
E-FM 2	0,3	0,6	0,7	0,9	0,2	0,7	0,1	0,4	0,5	0,6	0,3
E-FM 3	0,5	0,5	0,7	0,6	0,7	0,4	0,2	0,7	0,2	0,6	0,6
E-M 1	0,5	0,7	0,9	0,9	0,7	0,7	0,2	0,8	0,4	0,8	0,6
F-I 1	0,4	0,5	0,7	0,6	0,5	0,5	0,1	0,6	0,3	0,6	0,5
F-S 1	0,4	0,6	0,7	0,7	0,6	0,5	0,1	0,7	0,3	0,7	0,6
F-S 2	0,4	0,4	0,5	0,4	0,7	0,3	0,2	0,7	0,1	0,5	0,6
M-F 1	0,5	0,6	0,9	0,9	0,6	0,7	0,1	0,7	0,5	0,8	0,6
M-F 2	0,4	0,6	0,9	1	0,4	0,7	0,1	0,6	0,5	0,7	0,4
M-F 3	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,5	0,2	0,8	0,2	0,7	0,7
M-F 4	0,3	0,4	0,6	0,6	0,4	0,5	0,1	0,4	0,4	0,5	0,4
M-F 5	0,3	0,6	0,8	0,8	0,4	0,6	0,1	0,5	0,4	0,6	0,4
M-F 6	0,1	0,5	0,6	0,8	0	0,7	0	0,2	0,5	0,5	0,1
M-F 7	0,4	0,5	0,7	0,7	0,6	0,5	0,1	0,7	0,3	0,6	0,6
M-F 8	0,5	0,5	0,7	0,6	0,7	0,4	0,2	0,8	0,2	0,6	0,7
M-F 9	0,4	0,4	0,6	0,4	0,7	0,3	0,2	0,7	0,1	0,5	0,6
M-I 1	0,5	0,7	0,9	0,9	0,7	0,7	0,2	0,8	0,4	0,8	0,7
M-I 2	0,5	0,5	0,7	0,7	0,8	0,5	0,2	0,8	0,2	0,7	0,7
M-I 3	0,5	0,5	0,7	0,6	0,7	0,4	0,2	0,7	0,2	0,6	0,6
M-I 4	0,5	0,5	0,7	0,6	0,7	0,4	0,2	0,7	0,2	0,6	0,6
M-I 5	0,4	0,4	0,6	0,5	0,7	0,3	0,2	0,7	0,2	0,5	0,6
M-I 6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,7	0,3	0,2	0,7	0,1	0,5	0,6
P-F 1	0,5	0,7	0,9	0,9	0,6	0,7	0,1	0,7	0,5	0,8	0,6
P-FM 1	0,4	0,7	0,9	1	0,4	0,7	0,1	0,6	0,5	0,7	0,5
P-I 1	0,3	0,5	0,7	0,7	0,4	0,5	0,1	0,5	0,4	0,6	0,4
P-IF 1	0,4	0,7	0,9	1,1	0,4	0,8	0,1	0,6	0,5	0,8	0,4
P-IF 2	0,2	0,5	0,7	0,8	0	0,8	0	0,1	0,9	0,5	0,2
P-IF 4	0,4	0,3	0,4	0,3	0,7	0,2	0,2	0,7	0,1	0,4	0,6
P-IF 5	0,5	0,6	0,8	0,7	0,7	0,5	0,2	0,8	0,3	0,7	0,6
P-IF 6	0,2	0,4	0,5	0,6	0,2	0,4	0,1	0,2	0,3	0,4	0,3
P-IF 7	0,2	0,5	0,6	0,8	0,1	0,6	0,1	0,2	0,6	0,5	0,3
P-M 1	0,5	0,6	0,8	0,8	0,7	0,6	0,2	0,8	0,3	0,7	0,6
P-P 1	0,1	0,4	0,5	0,7	0	0,6	0	0,1	0,7	0,4	0,2
P-S 1	0,4	0,6	0,8	0,8	0,6	0,6	0,1	0,7	0,3	0,7	0,6
P-S 2	0,5	0,4	0,6	0,5	0,7	0,3	0,2	0,7	0,2	0,6	0,6
P-S 3	0,5	0,5	0,7	0,6	0,8	0,5	0,2	0,8	0,2	0,7	0,7
P-S 4	0,5	0,5	0,7	0,6	0,8	0,5	0,2	0,8	0,2	0,7	0,7
P-S 5	0,5	0,5	0,7	0,6	0,8	0,5	0,2	0,8	0,2	0,7	0,7
PI-F 3	0,2	0,8	1,1	1,3	0	1,2	0	0,2	1,3	0,8	0,3

Tabela A.19: TALA80 dos receptores, em minutos

Unidades de ensino	TALA80 de hora em hora										
	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
	até 7:59	até 8:59	até 9:59	até 10:59	até 11:59	até 12:59	até 13:59	até 14:59	até 15:59	até 16:59	até 18:00
E-FM 1	0	0,1	0,1	0,2	0	0,2	0	0,1	0,1	0,1	0
E-FM 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E-FM 3	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1
E-M 1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0	0,1	0,2	0,2	0,1
F-I 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F-S 1	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0	0
F-S 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-F 1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,1	0,4	0,2	0,4	0,3
M-F 2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0	0,2	0,1	0,2	0,1
M-F 3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0	0,1	0,2	0	0,1	0,2
M-F 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-F 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-F 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-F 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-F 8	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1
M-F 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-I 1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2
M-I 2	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1
M-I 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-I 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-I 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-I 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-F 1	0	0,1	0,2	0,2	0	0,2	0	0,1	0,2	0,1	0,1
P-FM 1	0	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1
P-I 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-IF 1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0,2	0,1	0,2	0,1
P-IF 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0
P-IF 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-IF 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0
P-IF 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-IF 7	0	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0,1	0
P-M 1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3
P-P 1	0	0	0	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0	0
P-S 1	0	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0,1	0
P-S 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-S 3	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1
P-S 4	0	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0,1
P-S 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
PI-F 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0

Tabela A.20: TALA90 dos receptores, em minutos

Unidades de ensino	TALA90 de hora em hora										
	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
	até 7:59	até 8:59	até 9:59	até 10:59	até 11:59	até 12:59	até 13:59	até 14:59	até 15:59	até 16:59	até 18:00
E-FM 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E-FM 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E-FM 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E-M 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F-I 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F-S 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F-S 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-F 1	0,1	0	0,1	0	0,1	0	0	0,1	0	0,1	0,1
M-F 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-F 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-F 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-F 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-F 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-F 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-F 8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-F 9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-I 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-I 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-I 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-I 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-I 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M-I 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-F 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-FM 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-I 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-IF 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-IF 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-IF 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-IF 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-IF 6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-IF 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-M 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-P 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-S 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-S 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-S 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-S 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P-S 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PI-F 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0