

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**Ruído de Tráfego Veicular em Corredores de Transporte Urbano:  
Estudo de Caso em Belo Horizonte - MG**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

**VICTOR MOURTHÉ VALADARES**

Florianópolis  
Fevereiro de 1997

**VALADARES, Victor Mourthé. Ruído de tráfego veicular em corredores de transporte urbano: estudo de caso em Belo Horizonte - MG. Florianópolis, 1997. 122p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.**

**Orientador: Samir Nagi Yoursi Gerges**

**Defesa: 28/02/97**

**Análise do ruído de tráfego veicular em vias arteriais de uma área especificada cidade de Belo Horizonte, em termos da poluição sonora, da resposta estimada da comunidade lindeira, do suposto incômodo nela causado e das distribuições estatísticas dos níveis de pressão sonora. Evidencia relações entre as grandezas acústicas, de tráfego e geométricas sob determinadas condições meteorológicas. Determinação do nível de potência sonora dos veículos em condições de tráfego, objetivando o desenvolvimento de um modelo de previsão simplificado.**

**Palavras-chave: Conforto Ambiental; Poluição sonora; Ruído de tráfego; Modelos**

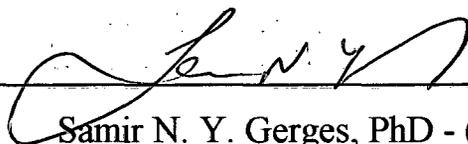
**Ruído de tráfego Veicular em Corredores de Transporte Urbano:  
Estudo de Caso em Belo Horizonte - MG**

***Victor Mourthé Valadares***

Esta Dissertação foi julgada para obtenção do título de

Mestre em Engenharia

Especialidade **Engenharia Civil** e aprovado em sua forma final pelo  
programa de **Pós-Graduação em Engenharia Civil**

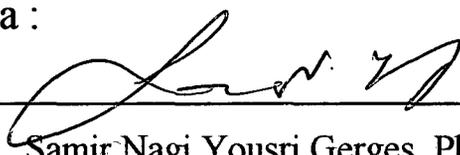


Samir N. Y. Gerges, PhD - ( Orientador )



Carlos Alberto Szücs, PhD - ( Coordenador do Curso )

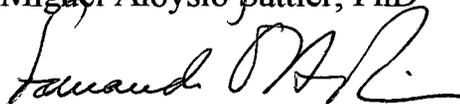
Comissão Examinadora :



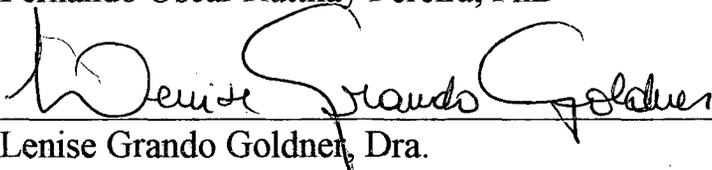
Samir Nagi Yousri Gerges, PhD - ( Presidente )



Miguel Aloysio Sattler, PhD



Fernando Oscar Ruttkay Pereira, PhD



Lenise Grando Goldner, Dra.

*É muito importante sentir gratidão por tudo aquilo que conseguimos realizar,  
especialmente por quem, de forma sublime,  
procurou transcender o ato desta realização ...*

*Obrigado por tudo Marcinha !*

## Agradecimentos



à Coordenação do Curso, pela oportunidade, estrutura e incentivos fornecidos para o desenvolvimento do presente trabalho;



ao Prof. Samir, pelo acolhimento, integridade e paciência na orientação do trabalho;



ao CNPq, pelo apoio financeiro através da bolsa de estudos;



aos membros da comissão examinadora, pelos comentários e sugestões;



aos colegas de curso pela amizade e companheirismo e todos aqueles que direta e indiretamente, participaram deste trabalho;



à Polícia Rodoviária Federal, MJ-DNER - 8ª Superintendência - SC, pelo empréstimo do radar na pesquisa piloto em Florianópolis;



ao 4º Batalhão da Polícia Militar de Santa Catarina - Companhia de Trânsito, pelo apoio dado na pesquisa piloto em Florianópolis;



ao BHTRANS - MG, pelo apoio técnico nas pesquisas de tráfego em Belo Horizonte;



à Polícia Militar de Minas Gerais, 4ª Companhia do Batalhão de Trânsito e Polícia Rodoviária Estadual, pela segurança e apoio nas pesquisas de velocidade na Região Metropolitana de Belo Horizonte;



à PRODABEL, pelo fornecimento dos mapas planialtimétricos da área selecionada para a presente pesquisa.

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b>	vii
<b>Lista de Tabelas</b>	xii
<b>Resumo</b>	xiv
<b>Abstract</b>	xv
<b>Capítulo 1 - Introdução</b>	1
1.1 - Consideração Iniciais	1
1.2 - Objetivos	6
1.3 - Estrutura da Dissertação	6
<b>Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica</b>	8
2.1 - Categorias de Linhas de Pesquisa Abordadas	8
2.2 - Grandezas Consideradas	9
2.2.1 - Grandezas Acústicas	13
2.2.2 - Grandezas de Tráfego	22
2.2.3 - Grandezas Meteorológicas	25
2.2.4 - Grandezas Geométricas	26
2.5 - Relações entre as Grandezas	28
<b>Capítulo 3 - Metodologia</b>	33
3.1 - Levantamentos para Base de Dados	33
3.2 - Levantamento do Ruído de Tráfego Veicular	34
3.2.1 - Seleção e Localização da Área de Estudo	34
3.2.2 - Seleção e Localização das Vias e dos Pontos de Medição	36
3.2.3 - Seleção dos Períodos de Coleta dos Dados	40
3.2.4 - Métodos, Grandezas Coletadas e Instrumentação	41
3.3 - Levantamento do Nível de Potência Sonora do Tráfego Veicular	46
3.3.1 - Seleção e Localização da Área, Ponto e Período de Medição	46
3.3.2 - Métodos, Grandezas Coletadas e Instrumentação	46

<b>Capítulo 4 - Resultados e Análise dos Dados</b>	50
4.1 - Resultados do Levantamento do Ruído de Tráfego Veicular	50
4.1.1 - Considerações em Relação à Lei Ambiental do Município	60
4.1.2 - Correlação entre $L_{A 10, 1h}$ e $L_{Aeq, L 1h}$	68
4.1.3 - Distribuições de Frequência Relativa dos Níveis de Pressão Sonora	71
4.1.4 - Distribuições Estatística Acumulada dos Níveis de Pressão Sonora	84
4.2 - Determinação do Nível de Potência Sonora do Tráfego Veicular	90
4.3 - Relações entre os Dados Acústicos, de Tráfego, Meteorológicos e Geométricos	91
4.3.1- Análise Comparativa dos Procedimentos de Cálculo 1 e 2 para Previsão do $L_{Aeq, 1h}$	95
<b>Capítulo 5 - Discussão dos Resultados e Conclusões</b>	99
5.1 - Considerações Finais sobre a Poluição Sonora	99
5.2 - Considerações Finais sobre as Distribuições Estatísticas de Frequência Relativa	101
5.3 - Considerações Finais sobre as Distribuições Estatísticas Acumuladas	104
5.4 - Considerações Finais sobre o Nível de Potência Sonora do Tráfego Veicular	104
5.5 - Considerações Finais sobre os Procedimentos de Cálculo para Previsão do $L_{Aeq, 1h}$	105
5.6 - Futuros Trabalhos	105
<b>Bibliografia</b>	107
<b>Anexo</b>	113

# Summary

<b>List of Figures</b>	vii
<b>List of Tables</b>	xii
<b>Resumo</b>	xiv
<b>Abstract</b>	xv
<b>Chapter 1 - Introduction</b>	1
1.1 - Initial Considerations	1
1.2 - Purposes	6
1.3 - Dissertation Structure	6
<b>Chapter 2 - Bibliography Reviewer</b>	8
2.1 - Research Categories	8
2.2 - Quantities in Consideration	9
2.2.1 - Acoustics Quantities	13
2.2.2 - Traffic Quantities	22
2.2.3 - Meteorological Quantities	25
2.2.4 - Geometric Quantities	26
2.5 - Quantities in Relation	28
<b>Chapter 3 - Methodology</b>	33
3.1 - Data base Surveys	33
3.2 - Road Traffic Noise Survey	34
3.2.1 - Selection and Situation of the Studied Area	34
3.2.2 - Arterials and Point Measurements Selection and Situation	36
3.2.3 - Measurement Time Selection	40
3.2.4 - Methods, Quantities and Instrumentation	41
3.3 - Sound Power Level Survey of Road Traffic Noise	46
3.3.1 - Area, point and Time Measurement Selection and Localization	46
3.3.2 - Methods, Quantities and Instrumentation	46

<b>Chapter 4 - Results and Data Analysis</b>	50
4.1 - Road Traffic Noise Survey Results	50
4.1.1 - Noise Pollution	60
4.1.2 - $L_{A10,1h}$ and $L_{Aeq,1h}$ Correlation's	68
4.1.3 - Sound Pressure Level Relative Frequency Statistical Distribution	71
4.1.4 - Sound Pressure Level Cumulative Statistical Distribution	84
4.2 - Sound Power Level from Road Traffic Noise	90
4.3 - Relations between Acoustic, Traffic, Geometric and Meteorological Quantities	91
4.3.1- Comparative Analysis between $L_{Aeq,1h}$ Prevision Model 1 and 2	95
<b>Chapter 5 - Results Discussion and Conclusions</b>	99
5.1 - Last Considerations about Noise Pollution	99
5.2 - Last Considerations about Relative Frequency Statistic Distribution	101
5.3 - Last Considerations about Cumulative Statistic Distribution	104
5.4 - Last Considerations about Road Traffic Sound Power Level	104
5.5 - Last Considerations about $L_{Aeq,1h}$ Prevision Models	105
5.6 - Works in Future	105
<b>Bibliography</b>	117
<b>Annex</b>	113

# Lista de Figuras

## Capítulo 2

- 1 - Três tipos básicos de ondas sonoras na atmosfera associado com o receptor próximo ao chão \_\_\_\_\_ 12
- 2 - Grandezas geométricas básicas:( a ) distância do receptor-linha de tráfego, calculada por  $[(a^2 + h_R^2)^{1/2}]$ , relação entre a altura das fachadas e a distância entre elas  $[h_F/w]$ ; ( b ) situação para investigar o efeito dos intervalos na correção BC. Cada intervalo é caracterizado pela largura L e sua posição k, medida do ponto médio do intervalo à linha normal às fachadas que contém o ponto receptor R \_\_\_\_\_ 28

## Capítulo 3

- 3 - Situação da área de estudo no Município de Belo Horizonte \_\_\_\_\_ 35
- 4 - Delimitação da área de estudo \_\_\_\_\_ 35
- 5 - Vias e pontos de medição selecionados \_\_\_\_\_ 37
- 6 - Registro fotográfico das vias selecionadas. Trecho em aclive da rua Padre Eustáquio onde situa-se o quarteirão que contém o ponto de medição P1: à esquerda, em frente o Restaurante e Mercearia Aqui e Agora \_\_\_\_\_ 37
- 7 - Registro fotográfico das vias selecionadas. A Fig. 7.a apresenta o trecho em declive da rua Três Pontas, onde situa-se o quarteirão que contém o ponto de medição P2: à esquerda entre o veículo estacionado e a esquina; Na Fig.7.b é visto o trecho em nível da rua Padre Eustáquio onde situa-se o quarteirão que contém o ponto de medição P3: à esquerda de frente ao edifício de três pavimentos \_\_\_\_\_ 38
- 8 - Registro fotográfico das vias selecionadas. A Fig.8.a apresenta o trecho em nível da avenida D. Pedro II onde situa-se o quarteirão que contém o ponto de medição P4 : à direita entre os dois postes.; Na Fig. 8.b vê-se a avenida Teresa Cristina, de onde se visualiza o trecho em nível onde situa-se o quarteirão que contém o ponto de medição P5: à esquerda mais no centro da figura, uma quadra e meia depois do posto de gasolina \_\_\_\_\_ 39

9 - ( a ) *Período de 6h-8h* : em pico, com transição entre horário noturno e diurno pela Lei Municipal [PBH, 1993]; ( b ) *Período de 18h-20h* : em pico, com transição entre horário diurno e vespertino pela mesma lei; *Período de 21h-23h* : fora de pico, com transição entre horário vespertino e noturno pela referida lei \_\_\_\_\_ 40

## Capítulo 4

10 - Comportamento dos dados : ( a ) acústicos, ( b ) de volume de veículos, ( c ) de velocidade média, ( d ) meteorológicos. Coleta em 07/9, nos pontos P1, P2 e P3\_\_ 53

11- Comportamento dos dados : ( a ) acústicos, ( b ) de volume de veículos, ( c ) de velocidade média, ( d ) meteorológicos. Coleta em 10/9, nos pontos P1, P2 e P3\_\_ 54

12 - Comportamento dos dados : ( a ) acústicos, ( b ) de volume de veículos, ( c ) de velocidade média, ( d ) meteorológicos. Coleta em 07/9, nos pontos P4 e P5\_\_ 56

13 - Comportamento dos dados : ( a ) acústicos, ( b ) de volume de veículos, ( c ) de velocidade média, ( d ) meteorológicos. Coleta em 10/9, nos pontos P4 e P5\_\_ 57

14 - Localização espacial das grandezas geométricas no ambiente construído. Na Fig. 14 ( a ) são ilustradas as larguras da via, dos passeios, do canteiro central e a distância entre as edificações. Na Fig. 14 ( b ) são ilustradas a localização do ponto de medição para coleta das grandezas acústicas, alturas do canteiro central e das edificações \_\_\_\_\_ 59

15 - Comparação entre o  $L_{Aeq,1h}$  medido e o  $L_{Aeq,Lei}$  preconizado pela Lei 4.253 de 04/12/85: ( a ) e ( b ) para os pontos P1, P2 e P3 nos meses de julho e outubro respectivamente; ( c ) e ( d ) para P4 e P5 em julho e outubro, respectivamente \_\_\_\_\_ 61

16 - Comparação entre o  $L_{A 10,1h}$  e o  $L_{A 90,1h}$  com o  $L_{A eq,Lei}$  preconizado pela Lei 4.253 de 04/12/85: ( a ) e ( b ) para os pontos P1, P2 e P3 nos meses de julho e outubro respectivamente; ( c ) e ( d ) para P1, P2 e P3 em julho e outubro, respectivamente \_\_\_\_\_ 63

- 17 - Comparação entre o  $L_{A 10,1h}$  e o  $L_{A 90,1h}$  com o  $L_{A eq,Lei}$  preconizado pela Lei 4.253 de 04/12/85: ( a ) e ( b ) para os pontos P4 e P5 nos meses de julho e outubro respectivamente;( c ) e ( d ) em P4 e P5, julho e outubro, respectivamente 64
- 18 - Dispersão e regressão linear para  $L_{A 10, 1h}$  como função de  $L_{A eq,L 1h}$ \_\_\_\_\_ 69
- 19 - Aplicação da equação (22) na área onde se realizou os levantamentos de ruído veicular em corredores de transporte urbano. As linhas tracejadas apresentam tolerância de  $\pm 1,5dB(A)$ \_\_\_\_\_ 70
- 20 - Superposição dos gráficos das equações (22), (23) e (24)\_\_\_\_\_ 70
- 21 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P1 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96 \_\_\_\_\_ 74
- 22 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P1 nos períodos: ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/96 \_\_\_\_\_ 75
- 23 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P2 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96 \_\_\_\_\_ 76
- 24 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P2 nos períodos: ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/96 \_\_\_\_\_ 77
- 25 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P3 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96 \_\_\_\_\_ 78
- 26 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P3 nos períodos: ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/96 \_\_\_\_\_ 79
- 27 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P4 nos períodos : ( a ) 6h-7h,07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96 \_\_\_\_\_ 80

- 28 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P4 nos períodos: ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/96 \_\_\_\_\_ 81
- 29 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P5 nos períodos : ( a ) 6h-7h,07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96 \_\_\_\_\_ 82
- 30 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P5 nos períodos: ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/96 \_\_\_\_\_ 83
- 31 - Variação horária das distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora em cada ponto de medição dentro dos períodos do levantamento: ( a ) ponto P1, 07/96; (b) ponto P2, 07/96; ( c ) ponto P3, 07/96; ( d ) ponto P4, 07/96; ( e ) ponto P5, 07/96 \_\_\_\_\_ 85
- 32 - Variação por ponto de medição do comportamento das distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora do levantamento: ( a ) primeira hora do período 1, 07/96; ( b ) segunda hora do período 1, 07/96; ( c ) primeira hora do período 2, 07/96; ( d ) segunda hora do período 2; ( e ) primeira hora do período 3, 07/96;( f ) segunda hora do período 3 \_\_\_\_\_ 86
- 33 - Variação horária das distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora em cada ponto de medição dentro dos períodos do levantamento: ( a ) ponto P1, 10/96; (b) ponto P2, 10/96;( c ) ponto P3, 10/96; ( d ) ponto P4, 10/96; ( e ) ponto P5, 10/96 \_\_\_\_\_ 88
- 34 - Variação por ponto de medição do comportamento das distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora para cada hora nos períodos de medição: ( a ) primeira hora do período 1, 10/96; ( b ) segunda hora do período 1, 10/96; ( c ) primeira hora do período 2, 10/96; ( d ) segunda hora do período 2; ( e ) primeira hora do período 3, 10/96; ( f ) segunda hora do período 3, 10/96 \_\_\_\_\_ 89
- 35 - Dispersão e linhas de tendência de NWS como função da velocidade segundo dados coletados em levantamento específico para: ( a ) veículos leve e ( b ) veículos pesados\_\_\_\_ 90
- 36 - Esquema com hipóteses consideradas relativa ao fluxo dos veículos, sendo constante a velocidade,  $V$ , o espaçamento,  $b$ , entre os veículos e a distância,  $r$ , do observador \_\_\_\_\_ 92

37 - Valores medidos,  $L_{AeqM}$  e preditos pelos procedimentos de cálculo 1 e 2,  $L_{AeqC1}$  e  $L_{AeqC2}$ , respectivamente, do nível sonoro equivalente-contínuo durante 1h. Os gráficos de letra ( a ), ( b ), ( c ), ( d ) e ( e ) correspondem, respectivamente, aos pontos de medição P1, P2, P3, P4 e P5. Os números no eixo das abcissas correspondem aos períodos de medição, sendo os números ímpares referentes ao mês de julho e, os pares, referentes aos mês de outubro

---

# Lista de Tabelas

## Capítulo 2

1. Resultados de pesquisas sobre correlação entre incômodo devido ao ruído e níveis de ruído	16
2. Limites para o percentil $L_{10}$ relativos a usos do solo marginal em corredores de transporte	17
3. Níveis sonoros máximos preconizados pela Lei Ambiental para a Município de Belo Horizonte	18
4. Resposta estimada da comunidade ao ruído	18

## Capítulo 3

5. Vias selecionadas e distribuição dos pontos de medição	36
6. Grandezas acústicas coletadas no primeiro levantamento	42
7. Grandezas de tráfego a partir do primeiro levantamento	44
8. Grandezas meteorológicas a partir do primeiro levantamento	45
10 Grandezas acústicas coletadas no segundo levantamento	48

## Capítulo 4

11. Principais dados acústicos, de tráfego e meteorológicos em P1, na rua Padre Eustáquio	50
12. Principais dados acústicos, de tráfego e meteorológicos em P2, na rua Três Pontas	51
13. Principais dados acústicos, de tráfego e meteorológicos em P3, na rua Padre Eustáquio	51
14. Principais dados acústicos, de tráfego e meteorológicos em P4, na avenida D. Pedro II	51
15. Principais dados acústicos, de tráfego e meteorológicos em P5 na avenida Teresa Cristina	52
16 Grandezas geométricas nos pontos de medição	58
17. TNI, $L_{EP,d}$ e intervalo extremos dos NPS em P1	65
18 TNI, $L_{EP,d}$ e intervalo extremos dos NPS em P2	65

19 TNI, $L_{EP,d}$ e intervalo extremos dos NPS em P3	66
20 TNI, $L_{EP,d}$ e intervalo extremos dos NPS em P4	66
21 TNI, $L_{EP,d}$ e intervalo extremos dos NPS em P5	66
22 Agrupamento dos Histogramas de Distribuição de Frequência Relativa	72
23. Ponto de medição P1	108
24. Ponto de medição P2	108
25. Ponto de medição P3	108
26. Ponto de medição P4	108
27. Ponto de medição P5	109

## Capítulo 5

28. Resposta estimada ao ruído entre ruas e avenidas	111
29. Possíveis configurações dos histogramas das distribuições estatísticas para 24 h	113

## Resumo

O presente trabalho objetivou analisar o ruído de tráfego veicular em corredores de transporte urbano, procurando relacioná-lo com as características do tráfego, da geometria das vias e da ocupação do solo lindeiro destas, sob certas condições meteorológicas. Para desenvolver tal análise gerou-se uma base de dados, a partir de dois tipos de levantamento realizados na Região Metropolitana de Belo Horizonte- MG.

As análises realizadas enfocaram aspectos relacionados: ( a ) à poluição sonora e à resposta estimada da comunidade ao ruído na área de estudo; ( b ) às características das distribuições estatísticas dos níveis de pressão sonora; ( c ) ao teste de um modelo de previsão simplificado para prever valores dos níveis de pressão sonora equivalente-contínuos, a partir de dados de nível de potência sonora dos veículos, das características do tráfego e geométricas do ambiente construído.

Os resultados das análises realizadas são importantes para dar continuidade às pesquisas de ruído ambiental nas grandes cidades brasileiras, inserindo-se no desafio de se resgatar o conforto acústico da comunidade urbana, mais especificamente em termos do ruído proveniente do tráfego veicular em corredores de transporte urbano.

## Abstract

The purpose of this work was to perform an analysis on road traffic noise in arterial facilities on a built-up area to verify its relation with traffic and geometric characteristics inside some meteorological conditions. Two types of surveys were done in Belo Horizonte Metropolitan Area in Minas Gerais to generate a reference data base.

The analysis focused on : ( a ) noise pollution and the community response to noise at the studied area; ( b ) characteristics of sound pressure level statistic distributions related to traffic volume and its composition, and ( c ) methods to predict traffic noise levels, in terms of  $L_{Aeq,1h}$  , from sound power levels of the vehicles on traffic stream and the road envelope.

The results of this work are important to give sequence to environmental noise researches in big cities in Brazil, being as an effort to develop comprehensive studies on noise pollution, specially in terms of road traffic noise in urban arterial facilities.

## CAPITULO 1

### INTRODUÇÃO

#### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os seres humanos, entre os demais seres da natureza, possuem a idiosincrasia de desenvolver cultura, no amplo sentido antropológico do termo. Entre outras definições, a cultura pode ser definida como “[...] a parte do ambiente feita pelo [...]” ser humano [HERSKOVITS, 1963, p. 33]. Desta forma, ao desenvolverem cultura, as sociedades humanas criam um ambiente cultural, com características e estágios étnicos, sociais, filosóficos, político-econômico e técnico-científico, que o contrasta em maior ou menor intensidade com o ambiente natural, isto é, a natureza.

Adotando uma abordagem sistêmica inserida no contexto de conceitos da ecologia, é possível considerar parte deste ambiente cultural como ecossistemas urbanos. Centrando a atenção no fluxo de energia e fatores limitantes físicos desses ecossistemas caracterizados pelas cidades em estágios de industrialização e escala metropolitana, pode-se compreender em seu contexto, a origem e impacto do ruído ambiental [ODUM, 1988, p.1-3, 9-11, 45, p.141-48].

De forma semelhante aos ecossistemas naturais, os conceitos fundamentais relacionados com a energia (lei da conservação e lei da entropia) também se aplicam ao entendimento do fluxo de energia nos ecossistemas urbanos para a realização das atividades humanas. Nestes processos, a energia de alta utilidade (baixa entropia), sob uma forma mais concentrada, ou seja, com maior potencial de trabalho inerente, é convertida em outra forma de energia num estado de baixa utilidade (alta entropia), sob uma forma menos concentrada, ou seja, com menor potencial de trabalho inerente. Este fluxo energético é essencial para produção de bens e serviços básicos que viabilizam existência das sociedades urbanas como as conhecemos atualmente. Como exemplo tem-se o funcionamento de um motor à combustão interna que transforma energia química de alta qualidade em energia mecânica, que por sua vez se transforma em energia de baixa qualidade como ruído e calor (sumidouro do fluxo energético). A partir deste processo produz-se um bem socio-econômico elementar, como a vital circulação de matéria e indivíduos tanto internamente

como através dos ambientes de entrada e saída dos ecossistemas urbanos [ODUM, 1988, p. 55-62, 93-94].

Caracterizado essencialmente por um ecossistema incompleto ou heterotrófico, as cidades dependem de um grande influxo de energia concentrada para atender a demanda de seu intenso metabolismo por unidade de área. Como reflexo desta excessiva demanda, depara-se com um extenso efluxo de energia menos concentrada que aumenta entropia interna do sistema, caso não sejam controlados. Assim, a densidade com que as atividades humanas se desenvolvem nas grandes cidades evidencia uma alta demanda de energia de alta utilidade transformada em grande quantidade de energia de baixa utilidade, geralmente sob a forma de vários poluentes, entre eles o ruído ambiental [ODUM, 1988, p.45-50, 55-58].

Um nível satisfatório de qualidade de vida urbana requer um conjunto complexo de condições ambientais. Caso estas condições estejam fora dos limites de tolerância requisitados pela comunidade, isto representa uma perda de qualidade de vida. Assim, qualquer condição que aproxime de ou exceda os limites de tolerância é uma condição limitante ou um fator limitante que deve ser cuidadosamente monitorado e mantido dentro de limites de tolerância culturalmente predefinidos. Os fatores limitantes de caráter físico para a qualidade de vida satisfatória nas cidades são fatores ambientais que exercem influência sobre os grupos humanos e que geram reações psico-fisiológicas indesejáveis. O ruído ambiental está entre o conjunto de fatores físicos de reação psico-física que necessitam de melhor compreensão e controle, de maneira que seja possível assegurar sua existência dentro dos limites de tolerância acústica [ODUM, 1988, p.141-48], [BENTO COELHO, 1995, p. 35-36, 39-40].

Baseando-se na abordagem ecológica apresentada, pode-se, de uma forma geral, apontar a origem e definição do ruído ambiental. Assim, quanto à sua origem o ruído ambiental é oriundo das transformações energéticas inerentes às atividades de consolidação e evolução do ecossistema urbano-industrial cujo processo de desenvolvimento e apropriação do espaço físico nas cidades conduziram a uma urbanização de proporções e impactos até então só vivenciados pelos agrupamentos humanos a partir da revolução industrial [CHOAY, 1979]. Em termos de uma definição de ruído ambiental, este consiste em uma forma de energia pouco concentrada que possui pequena capacidade de realizar trabalho quando comparada quantitativamente com outras formas de energia. Porém sua presença é suficiente para excitar o sofisticado e sensível sensor de som representado pelo ouvido humano [GERGES, 1992, p.42] podendo chegar a provocar incômodo, perturbação ou mesmo danos irreversíveis no aparelho auditivo dos grupos humanos a

ele exposto. Tal fato requer um aprofundamento em seu conhecimento e desenvolvimento de um programa de controle e monitoramento que mantenha os níveis sonoros do ruído ambiental dentro de limites de tolerância.

Para a realidade brasileira, a Constituição Federal, no artigo 23, inciso VI, estabelece entre as competências comuns da União, Estados e Municípios, a proteção do meio ambiente e combate da poluição em qualquer de suas formas [BRASIL, 1988, p. 27].

Conselho Nacional de Meio Ambiente realizou três importantes resoluções referentes à poluição sonora. A resolução CONAMA nº 1, de 08/03/90, incorporando a norma NBR - 10.151 como referência para o interesse da saúde, no tocante à emissão de ruídos em decorrência de quaisquer atividades. A resolução CONAMA nº 2, de 08/03/90, que institui, em caráter nacional, o Programa Silêncio, visando controlar o ruído excessivo que possa interferir na saúde e bem-estar da população, incorporando a norma NBR - 10.152 como referência dos ruídos de fundo admissíveis. A resolução CONAMA nº 1e 2, de 11/02/93, que estabelece limites de tolerância de ruídos emitidos por veículos em aceleração e na condição de parado [BRASIL, 1993, p. III-82-83, p. III-102-113].

Na Constituição do Estado de Minas Gerais, no artigo 214, inciso III na seção relativa ao meio ambiente, entre as atribuições incumbidas ao Estado está prevenção e controle da poluição, entre outras formas de degradação ambiental [MINAS GERAIS, 1989, p. 103 ].

Na Lei Ambiental do Município, documento elaborado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura de Belo Horizonte [1993, doravante citada como PBH] no item relativo à Lei Orgânica de Belo Horizonte, no artigo 155, inciso VII, evidencia-se entre as obrigações do poder público o controle da poluição sonora visando manter o sossego e bem estar públicos. Neste mesmo documento [PBH, 1993] é citada a Lei Municipal no. 4253, de 04 /12/1985 que, em seu capítulo referente à poluição sonora, apresenta os níveis máximos de ruído ambiental permitidos por zonas de uso do solo definidas pela Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano [PBH, 1985, p 20-21, 48]. No caso dos níveis de ruído de tráfego de veículos automotores excederem os limites de tolerância dos níveis de ruído ambiental preconizados para qualquer zona de uso, cabe [...] “à Secretaria Municipal do Meio Ambiente articular-se com órgãos competentes, visando a adoção de medidas para a eliminação ou minimização do distúrbio sonoro” [PBH, 1993, p. 21].

No artigo *civilização da cidade e patologias urbanas* [QUERRIEN, 1995 em WITKOWSKI, 1995 , p. 61,62], o barulho é o primeiro item de uma breve série de patologias

que a cidade concentra, além dos seres humanos. Outro fato significativo é que dois terços da população humana do mundo já vivem em cidades no final do século XX, sendo que um quarto das queixas dos habitantes das grandes cidades refere-se ao barulho da circulação de automóveis. “[...] Todas as medidas para diminuir o problema [...]” do tráfego de veículos em áreas urbanas “[...] acarretam antes a circulação de um maior número de automóveis do que a redução do barulho [...]. Os engarrafamentos que justificaram a construção de vias expressas não foram suprimidos: o aumento do tráfego foi mais do que proporcional à quilometragem viária suplementar [...]”. Este é um exemplo de outros círculos viciosos presentes na gestão urbana “[...] todos eles ligados ao fato de que a cidade é um sistema sócio-técnico vivo, atraente e hierarquizado, que reinventa sua ecologia local [...] com lógica [...] própria [...] da civilização urbana.”

O ruído ambiental em excesso nas cidades de grande polarização originou a modalidade de poluição sonora [MOTA, 1981, p. 55] cujas principais fontes são a de circulação, principalmente o tráfego de veículos. É possível fazer tal inferência, tendo em vista a forma consensual de estruturação e ocupação dos espaços urbanos.

A forma como se estrutura os espaços urbanos aumenta a exposição de sua população ao ruído de tráfego quando esta é baseada num sistema viário que retalha a porção da terra urbana edificável sujeitando-a à uma infiltração indiscriminada do fluxo de veículos. No caso da cidade de Belo Horizonte, o ruído de tráfego já representa a maior contribuição do ruído ambiental [ALVARES & SOUZA, 1992, p. 26]. Do ponto de vista da ocupação do solo urbano, observou-se, a propensão de zonas residenciais desenvolverem-se segundo eixos viários [HYOT, 1978 in BAILLY, 1978, p. 116-17], como acontece com usos comerciais e de prestação de serviços. Na cidade de Belo Horizonte, observa-se que, normalmente, há forte interação entre eixos viários e polarização de múltiplas atividades em suas margens. Assim a cidade tende a se adensar e crescer às margens de linhas de transporte beneficiando-se das facilidades oriundas da acessibilidade [ANDRÉS, 1975, p. 13-20].

Em diagnóstico de ruído urbano realizado pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente em Belo Horizonte [PBH, 1988], observa-se como resultado que esta cidade já pode ser considerada ruidosa. Pelos dados coletados numa amostra de 155 locais, selecionados conforme a lei de uso e ocupação do solo local, o nível equivalente de ruído em várias regiões supera limites fixados pela Lei Municipal no. 4253, de 04/12/1985, com vários casos excedendo valores da ordem de 5 dB(A). Trata-se, essencialmente, de ruído de fontes móveis, mais especificamente de tráfego de

veículos. Como locais críticos constatou-se : área central da cidade e, dentre os principais corredores de transporte urbano da cidade, a Rua Padre Eustáquio, Rua Padre Pinto (Venda Nova), Avenida Pedro II, Avenida Antônio Carlos, Avenida Amazonas e Anel Rodoviário.

O referido diagnóstico [PBH, 1988] também dispõem que a sujeição ao ruído pelo cidadão metropolitano evidencia deterioração de qualidade de vida. Diante das diferentes fontes de poluição sonora, o ruído de tráfego é preponderante, com conseqüências psico-físicas, cuja ação pode ser nociva à saúde e à própria habitação.

Baseados neste mesmo diagnóstico [PBH, 1988] e dando continuidade a ele, ALVARES & SOUZA [1992, p. 23], constataram situações em que níveis de ruído ambiental em Belo Horizonte não só infringem a Lei Municipal no. 4.253 de 04/12/1985, como também a recomendação da Associação Brasileira de Normas Técnicas [1987, doravante citada como ABNT-NBR 10.151, p.6], pertinente ao assunto, comprometendo o conforto auditivo da comunidade. Em termos de ruído externo e interno incluindo medições em áreas sensíveis [BENTO COELHO, 1995, p. 35], avaliando-se somente o aspecto do tráfego de veículos, foram levantados níveis sonoros equivalentes,  $L_{Aeq}$ , e valores de índice de ruído de tráfego, TNI. Os valores de  $L_{Aeq}$  excederam os limites de tolerância localmente preconizados. No caso do TNI, os valores encontrados “[...] devem estar provocando incômodos em 100% da população [...]” [OLLERHEAD : 1973, in ALVARES & SOUZA : 1992] “[...]e chegariam a classificação de incômodo “elevado” para cerca de 50% da população [...]” [SHULTZ : 1976, in ALVARES & SOUZA : 1992].

O Plano de Restruturação do Sistema de Transporte Coletivo de Belo Horizonte proposto pela Empresa de Transporte e Trânsito de Belo Horizonte S.A. [1996, p. 6, doravante citada como BHTRANS] consistiu num passo importante, mas não suficiente, para a melhoria do ambiente acústico dos corredores de tráfego. Entre seus objetivos gerais, estão previstos melhorias: ( a ) [...] “dos níveis de conforto e segurança para os usuários, inclusive enquanto pedestre” [...]; ( b ) “das condições ambientais ao longo dos corredores” [...]. Das diretrizes fixadas neste documento [BHTRANS, 1996, p.7], a racionalização da [...] “utilização do sistema viário através da redução do volume de ônibus nos corredores [...] de forma a reduzir o congestionamento e aumentar a velocidade comercial” requer estudos específicos de forma a avaliar o impacto em termos da poluição sonora, por exemplo, à margem destes corredores. A partir de estudos de capacidade em termos de estimativa dos níveis de serviços dos corredores de transporte, correlacionados à resposta estimada da comunidade ao ruído proveniente do tráfego

veicular, pode-se melhor definir os volumes de tráfego nos corredores, considerando os níveis de ruído como um fator limitante importante na definição da Capacidade Ambiental destas.

Diante do acima exposto, o presente trabalho procura dar uma continuidade às pesquisas sobre ruído ambiental na cidade de Belo Horizonte, mais especificamente sobre ruído de tráfego. Procura-se, com ele, melhor compreender as relações entre dados acústicos e de tráfego sob certas condições meteorológicas e dentro de certas características físicas das vias e de ocupação do solo lindeiro. Espera-se que seus resultados sejam úteis à estimativa e controle de ruído de tráfego em áreas urbanas, e que os mesmos incentivem estudos de capacidade ambiental de vias, dentro do contexto de gerenciamento de tráfego metropolitano, tendo em vista que a poluição sonora tem se tornado um importante fator limitante para a qualidade de vida nas grandes cidades.

## 1.2 OBJETIVOS

Em termos gerais, o presente trabalho objetivou estudar as relações entre ruído veicular e as características de tráfego e geométricas do ambiente construído, em termos da via e sua ocupação lindeira, nos principais corredores de transporte urbano dentro de uma área selecionada da cidade de Belo Horizonte, sob certas condições meteorológicas.

Mais especificamente, realizou-se três tipos de análises, à margem dos corredores de transporte urbano pesquisados, procurando, nelas, evidenciar as relações acima descritas sempre que possível. Assim, a primeira análise desenvolvida foi à respeito da poluição sonora, das correlações entre o décimo percentil,  $L_{10}$ , e o nível de pressão sonora equivalente-contínuo,  $L_{eq}$ , e do comportamento das distribuições estatísticas dos níveis de pressão sonora proveniente do ruído do tráfego veicular. Em seguida, à partir da estimativa do nível de potência sonora do tráfego veicular, este foi correlacionado com a velocidade do fluxo dos veículos. Por fim, fez-se uma análise comparativa do desempenho de dois modelos de previsão do nível de pressão sonora equivalente-contínuo horário,  $L_{Aeq,1h}$ , sendo que um dos modelos foi desenvolvido neste trabalho.

## 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Através deste primeiro capítulo procura-se situar a questão do ruído de tráfego dentro do ruído ambiental nas cidades e mais especificamente em Belo Horizonte, assim como definir os objetivos do trabalho e a estrutura de sua apresentação.

No segundo capítulo fez-se uma revisão bibliográfica sobre ruído de tráfego, em termos das principais características de sua emissão, aspectos relevantes do ambiente construído influentes nos níveis sonoros resultantes e dos métodos de medição em campo, para veículos trafegando nas vias. Também recorreu-se a bibliografias referentes à engenharia de tráfego, estudo de capacidade ambiental de vias em áreas urbanas para melhor definição dos termos utilizados, assim como contextualizar a relação da poluição sonora com o tráfego de veículos.

A metodologia para levantamentos dos dados de ruído emitido pelos veículos em fluxo, simultaneamente aos dados de tráfego e meteorológicos é apresentada no terceiro capítulo. Neste capítulo também se definiu o método para medição do nível de potência sonora de veículos em condições reais de tráfego, que representa uma grandeza acústica importante de caracterização das fontes sonoras, quando se pretende fazer previsões nos níveis de pressão sonora, por exemplo.

Em seguida, no quarto capítulo, são apresentados os resultados dos levantamentos realizados e as análises desenvolvidas conforme descritas no item 1.2 deste capítulo.

A discussão dos resultados e as conclusões relevantes da pesquisa são apresentados no quinto capítulo. Nesta discussão procura-se apresentar informações úteis à atividade de planejamento urbano e de transportes em termos de melhor definir as características do tráfego e geométricas com vistas ao controle do ruído de tráfego veicular nos corredores de transporte urbano. Por fim, é chamada a atenção para necessidade de continuidade de pesquisas em ruído ambiental, como um esforço de manter a qualidade de vida nas grandes cidades, inclusive do ponto de vista do conforto acústico.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1 CATEGORIAS DE LINHAS DE PESQUISA ABORDADAS

A partir de uma visão geral sobre os últimos 25 anos de pesquisas em ruído de tráfego, pode-se não só categorizar as linhas de pesquisa nesta temática, como também reconhecer suas tendências neste final de século [BURGESS, 1996, p.371].

As seguintes categorias de linhas pesquisa em ruído de tráfego podem ser definidas:

- *ruído veicular*, que refere-se a tudo relacionado com o ruído emitido por veículos considerados isoladamente;
- *ruído de pneus e em pista*, que busca representar o efeito de um veículo em movimento sobre a superfície da pista;
- *ruído do tráfego veicular*, que refere-se aos efeitos relativos ao fluxo de veículos no tráfego urbano, suburbano e de estradas;
- *modelos de previsão*, que envolve o desenvolvimento de procedimentos de cálculo para estimativa do ruído oriundo do tráfego de veículos;
- *barreiras*, que refere-se às investigações sobre o efeito de projeto de barreira para redução da dispersão do ruído de tráfego;
- *efeitos*, do ruído de tráfego nos seres humanos e nos animais;
- *ruído interno*, que refere-se ao ruído no interior do veículo, objetivando reduzir o ruído para os passageiros para conforto e comunicação.

É possível verificar uma tendência crescente de linhas de pesquisa em ruído de tráfego, sendo que as publicações nesta área estão entre 7 e 10% do total de publicações referentes à área de pesquisa em acústica e vibrações, segundo estatísticas dos últimos 25 anos de produção científica que foram veiculadas nas conferências do Inter-Noise [BURGESS, 1996, p.373].

O ruído de tráfego ainda consiste num importante tópico de pesquisa. Enquanto os acréscimos do número de quilômetros do sistema viário foram pequenos, o crescente número de veículos nesta malha inevitavelmente levará a níveis maiores de ruído nas vizinhanças, à menos

que haja controle de ruído suficiente no futuro, tanto à nível do veículo considerado como uma fonte sonora isolada, ou no caminho de transmissão até o receptor [BURGESS, 1996, p. 374]. Este fato do aumento do tráfego ser mais do que proporcional à quilometragem viária suplementar produzida também já foi criticada conforme disposto no item 1.1. [QUERRIEN, 1995 : em WITKOWSKI, 1995 : 61,62].

O presente trabalho insere-se, predominantemente, na categoria de *ruído de tráfego veicular*, inserido no contexto das áreas urbanas. Porém, as demais categorias foram enfocadas na medida em que a análise que se propôs fazer neste trabalho exigia informações dessas. Nos itens que se seguem, serão revistos as principais grandezas necessárias à análise desenvolvida, os métodos de levantamento dessas grandezas, assim como estas grandezas tem sido relacionadas entre si, principalmente em termos de modelos de previsão. A partir desta revisão, definiu-se o processo metodológico apresentado no Capítulo 3, para se alcançar os objetivos definidos no Capítulo 1.

## 2.2 GRANDEZAS CONSIDERADAS

O ruído de tráfego veicular em áreas urbanas, consiste basicamente da radiação sonora produzida pelos veículos motorizados em condições de fluxo, trafegando em vias do sistema viário urbano. Esta radiação é oriunda de diversas fontes presentes na estrutura inerente dos veículos, responsáveis por colocá-lo em movimento, assim como da interação deste movimento com o fluido envolvente e a superfície da pista. [GRAY, 1980, p.795-98].

As principais fontes de radiação sonora dos veículos de passeio em movimento para o ambiente exterior são : ( a ) os pneus em contato com o solo; ( b ) os sistemas de injeção, refrigeração e exaustão de gases; ( c ) a vibração produzida por componentes dos sistemas mecânicos e ( d ) contato do veículo com o ar [LAMURE, 1975 : em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p. 85], [SILVA, 1978 P. ] e [BENTO COELHO, 1995, p.36-38]. No caso de veículos pesados tem-se: ( a ) a radiação sonora aérea do motor e sua transmissão, que tem se mostrado predominante entre as demais fontes; ( b ) sistema de exaustão, que consiste na maior fonte para as baixas frequências de ruído; ( c ) sistema de injeção, que representa a segunda maior fonte nas baixas frequências, após o sistema de exaustão; ( d ) sistemas de refrigeração, que podem ser significantes nas faixas das médias e altas frequências e ( e ) atrito entre o pneus e a pista [LAMURE, 1975 : em ALEXANDRE e BARDE, 1975 : 86].

Os aspectos influentes nos níveis de ruído do tráfego veicular podem ser sumariados como: ( a ) as vias e suas características como superfície e número de pistas; ( b ) os diferentes tipos de fontes de ruído no tráfego; ( c ) a velocidade do tráfego de veículos; ( d ) condições meteorológicas; ( e ) período durante o qual as medições são desenvolvidas [ALIM, 1980, p.1-2].

As condições de tráfego podem influenciar no padrão de radiação sonora do fluxo. Uma cuidadosa distinção deve ser delineada entre a emissão de veículos considerados isoladamente e do conjunto dos veículos em condições de tráfego. No primeiro caso, tem-se uma fonte de caráter mais pontual, com um decaimento do nível sonoro de aproximadamente 6 dB a cada duplicação da distância. No segundo caso, um conjunto de veículos atua mais como uma fonte em linha, com um decaimento do nível sonoro de aproximadamente 3dB a cada duplicação da distância [HASSALL e ZAVERI, 1979, p.185-86].

Em condições de baixo volume de tráfego os veículos podem estar suficientemente espaçados para serem considerados como fontes pontuais. Nestas circunstâncias, a velocidade do fluxo aumenta, sendo que, para velocidades acima de 60km/h, presencia-se uma influência maior deste parâmetro no nível máximo emitido pela passagem do veículo. Em condições de alto volume de tráfego, a situação acima se modifica, pois os veículos passam a estar mais próximos entre si, sendo melhor caracterizados como fontes em linha. Neste caso a velocidade do fluxo diminui, sendo que, para velocidades inferiores à 60km/h, o nível máximo emitido por cada veículo é menos dependente da velocidade devido ao fato dos veículos estarem sendo conduzidos em diversas marchas [LAMURE, 1975 : em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p. 95-96, 98-100].

Em termos de composição do tráfego, a pequena presença de veículos pesados não modifica a velocidade média do fluxo, porém, quando há uma grande quantidade de veículos pesados estes contribuem para diminuir a velocidade do tráfego. Para um fluxo estacionário a uma velocidade uniforme, a presença de veículos pesados notavelmente aumenta os níveis de ruído. Quando o tráfego é pesado um aumento na percentagem de veículos pesados reduz a velocidade média e os acréscimos dos níveis de ruído são todos menos importantes quando o movimento livre e contínuo total dos veículos é maior [LAMURE, 1975 : em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p.106-108].

As características geométricas do ambiente construído podem, por meio de reflexões e difusão sonora, por exemplo, influenciar nos níveis de ruído irradiados em receptores localizados

à margem das vias [CHEW, 1989, p.203-212], [MAKAREWICZ e KOROWSKI, 1994, p. 149-151], [CHEW, 1995, p.29-46], [HEUTSCHI, 1995,p.259-60] ou em situações diversas, próprias da configuração urbana [MAKAREWICZ, 1983, p.543,546-57], [MAKAREWICZ e KRASNOWSKA,1992, p. 65-73].

No caso da declividade das pistas, para um trecho em aclive levemente acentuado e longo mas pouco congestionado em áreas urbanas com tráfego movendo-se com velocidade inferior à 60km/h, tem-se como resultado um pequeno decréscimo na velocidade e pequeno aumento nos níveis de ruído. Se o trecho em aclive tende a ser mais congestionado, a introdução de uma significativa percentagem de veículos pesados reduz a velocidade geral do fluxo do tráfego e o aumento do nível de ruído devido à declividade é maior. Aumentos do nível de ruído em trechos curtos em aclive são mais complexos pois as mudanças de marchas são mais freqüentes e o conseqüente maior exigência do motor não limita a responsabilidade pelos níveis maiores de ruído aos veículos pesados apenas. [LAMURE, 1975 : em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p.108-109].

Poucos estudos tem sido realizados à respeito do comportamento dos níveis de ruído nas proximidades dos cruzamentos ou em trechos de vias congestionadas. Nas imediações dos cruzamentos os níveis de ruído dependem da posição relativa entre o ponto de medição e o cruzamento. [LAMURE, 1975 : em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p.109]. Pesquisas mais recentes avaliam com mais detalhe o efeito de interseções sinalizadas no ruído de tráfego. Nestas intercessões o ruído de tráfego pode aumentar significativamente. Um controle de tráfego pobre implica no incremento do ruído gerado por freqüentes paradas/arrancadas em interseções sinalizadas ou não [TRACZ, 1995, p.149]. Os níveis de ruído dependem bastante das condições das arrancadas e da intensidade da aceleração. A presença de veículos pesados incrementa o nível de flutuação do ruído devido às paradas e arrancadas Uma via urbana congestionada emite níveis de ruído que dificilmente podem ser preditos a partir do volume e velocidade do tráfego. O efeito da largura das vias deve também ser considerado [LAMURE, 1975 : em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p.111]. No caso da situação brasileira, estudos de capacidade ambiental em vias urbanas tem destacado a questão do ruído de uma forma geral ou mais especificamente em interseções semaforizadas [ FREITAS, 1990], [CHIQUETTO, 1991, p. 17-18].

As variações diárias dos níveis de ruído são principalmente dependentes do volume de tráfego e podem também apresentar uma periodicidade sazonal e semanal. O estudo das

variações nas 24h são importantes, por exemplo, na definição de índices de incômodo [LAMURE, 1975 : em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p.111].

A análise de propagação do som em longas distâncias no ambiente externo vem se tornando importante também em termos dos níveis sonoros emitidos em áreas sensíveis adjacentes ao tráfego veicular dos corredores de transporte urbano, mas não situadas à margem destes corredores. De uma forma geral, convencionou-se estabelecer três regiões atmosféricas básicas para análise da propagação do som ao ar livre. A primeira região consiste na camada limite de superfície (até o intervalo entre 30 e 60 metros de altitude do piso), a segunda denomina-se região intermediária (entre 30 e 60 metros de altitude até entre 500 e 600 metros de altitude) enquanto que a terceira representa a atmosfera livre, acima da região intermediária. Associado a cada uma destas regiões estão 3 tipos de ondas sonoras. O primeiro se refere as ondas de superfície originadas de uma fonte sonora próxima ao chão que propaga-se em direção ao receptor, também localizado próximo ao chão, apenas na camada limite da região. O segundo são ondas originadas de fontes tanto na região de livre atmosfera ou intermediária, que propagam-se diretamente para o receptor próximo ao chão. O terceiro são fontes sonoras que se propagam a partir de uma fonte sonora próxima ao chão para o receptor no solo, porém atravessando a região intermediária, atingindo a atmosfera livre para então alcançar o receptor. No caso do ruído de tráfego veicular em áreas urbanas, o primeiro tipo de onda sonora parece ser mais comum de ocorrer que o terceiro. A Figura 1, a seguir, sintetiza os três tipos de ondas sonoras em questão.

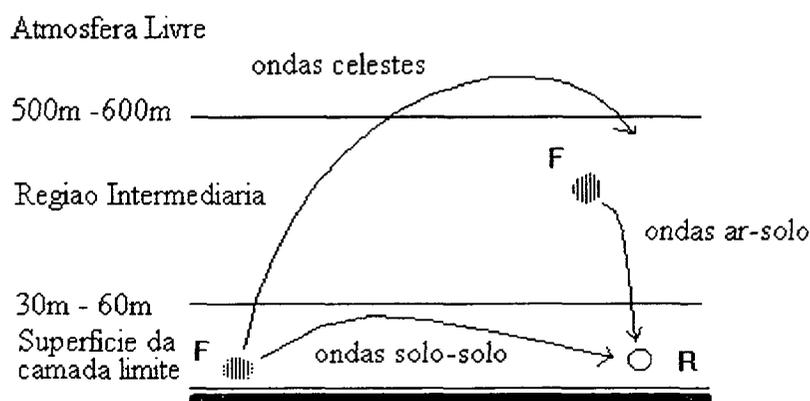


Figura 1. Três tipos básicos de ondas sonoras na atmosfera associado com o receptor próximo ao chão (Fonte : adaptado de REYNOLDS, 1981)

A energia sonora radiada por fontes sonoras ao ar livre está sujeita à atenuação durante sua propagação até os receptores. São fatores causadores desta atenuação : ( a ) a distância entre a fonte e o receptor; ( b ) a presença de barreiras entre a fonte e o receptor; ( c ) a absorção atmosférica; ( d ) a vegetação; ( e ) variação da temperatura e ( f ) efeito do vento [GERGES, 1992, p.223-39].

Do que foi exposto nos parágrafos acima pode-se selecionar um conjunto de grandezas de natureza acústica, de tráfego, geométricas e meteorológicas que estão interrelacionadas na questão do tráfego veicular em áreas urbanas, mais especificamente nos corredores de transporte e seu impacto na vizinhança. É oportuno, portanto, selecionar o conjunto de grandezas que serão utilizadas na análise que se propôs desenvolver e defini-las.

### 2.2.1 Grandezas Acústicas

As pesquisas sobre ruído de tráfego tiveram estímulos a partir do momento que este passa a ser considerado como uma modalidade de poluição ambiental, [MOTA, 1981: 55] e, portanto, constituindo-se num problema generalizado nas grandes aglomerações humanas desde o início da década de 70 [BURGESS, 1996, p.371]. A busca de conhecimentos do *efeito* do ruído veicular nas comunidades urbanas e sua conseqüente influência na perda da qualidade de vida nas cidades incentivou esforços de pesquisa que indicassem :

- ( a ) qual o método mais apropriado para se caracterizar o ruído do tráfego veicular;
- ( b ) como medir o incômodo nas populações expostas;
- ( c ) que grandezas acústicas são mais representativas para correlacionar níveis de ruído de tráfego com o incômodo causado na população e
- ( d ) que níveis de ruído medidos por tais grandezas devem se constituir nos limites de tolerância para o conforto acústico no meio externo.

Os resultados destas pesquisas foram úteis para o controle da poluição causada por esta modalidade de ruído ambiental. A seguir, cada item acima será descrito com mais detalhe. Em relação ao item ( a ), os valores do décimo percentil de uma distribuição estatística acumulada dos níveis de pressão sonora, que correspondem à probabilidade de 0,1 de serem excedidos pelos demais níveis presentes,  $L_{10}$  , [dB], são considerados como um índice representativo do ruído de tráfego através das pesquisas desenvolvidas pelo Building Research Establishment, na Inglaterra

[1976, p.1, doravante citada como BRE], [SILVA, 1978, p.49]. Como no contexto urbano o ruído de tráfego, embora predominante em certas circunstâncias, consista numa parcela do ruído ambiental, além de se apresentar variável no tempo e no espaço, tem-se proposto a utilização do nível sonoro equivalente-contínuo,  $L_{eq}$ , [dB] como um índice geral de descrição do ruído ambiental em comunidade, mas aplicável também à fontes sonoras específicas de caráter variável no tempo ou flutuante. Com a adoção deste índice pela International Standard Organization, através da ISO 1996-1,2,3 / 1982,1987 - “Description and measurement of environmental noise” há uma tendência de se adotar tal grandeza acústica como índice de referência para descrição do ruído ambiental e mesmo de tráfego veicular [BENTO COELHO et. al., 1996, 18-21]. Modelos de previsão do ruído de tráfego veicular tem sido desenvolvidos tanto em termos do  $L_{10}$  como do  $L_{eq}$ , considerados como as variáveis dependentes [LAMURE, 1975: em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p.111] [BRE, 1976, part1, p.1-8], [BRE, 1976, part 1 p.1-4], [BROWN, 1978, p.3], [MAKAREWICZ, 1983, p. 543].

O nível de pressão sonora equivalente-contínuo representa o nível contínuo (estacionário) equivalente em dB(A) que possui o mesmo potencial de lesão auditiva que o nível variável de pressão sonora considerado, quando se trata de avaliar a exposição sonora à qual os indivíduos estão sujeitos [GERGES, 1992, p. 57]. Esta grandeza acústica é definida como :

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left\{ \left[ \frac{1}{T} \cdot \int_0^T [p_A^2(t) / p_o^2] \cdot dt \right] \right\} \quad (1)$$

$L_{Aeq,T}$ : nível de pressão sonora equivalente-contínuo, [dB(A)];

$p_A(t)$ : pressão sonora instantânea do sinal acústico, compensada pela escala A, [Pa];

$p_o$ : pressão sonora de referência, [20  $\mu$ Pa];

T : intervalo de tempo considerado da variação de  $p_A(t)$ .

Para se estimar a exposição diária de um indivíduo ao ruído de tráfego, em termos de atividades que necessitam ser desempenhadas ao ar livre no meio urbano, pode-se utilizar o conceito do nível de exposição diária pessoal, [dB(A)], apresentado na Diretiva 86/188/CEE, relativa à proteção dos indivíduos contra os riscos devido à exposição ao ruído durante o trabalho publicado pela Comunidade Européia em 24/06/87 [ BENTO COELHO, 1995, p. 33].

O  $L_{EP,d}$  incorpora em sua definição o  $L_{Aeq,T}$ , sendo expresso por :

$$L_{EP,d} = L_{Aeq,Te} + 10 \cdot \log (T_e/T_o) \quad (2)$$

onde:

$$L_{A_{eq,Te}} = 10 \cdot \log \left\{ \left[ \frac{1}{T_e} \int_0^{T_e} [p_A^2(t) / p_o^2] \cdot dt \right] \right\} \quad (3)$$

$T_e$  : tempo de duração diário da exposição pessoal de um indivíduo ao ruído, [h];

$T_o$  : 8h.

Para uma distribuição estatística dos níveis de pressão sonora caracterizada como uma distribuição gaussiana, que corresponde bem às situações de tráfego estacionário e pesado, a equação (4) foi proposta relacionando o percentil  $L_{10}$  com o  $L_{eq}$  [LAMURE, 1975 : em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p.111]:

$$L_{10} = L_{eq} + 1,3\sigma - 0,11\sigma^2 \quad (4)$$

$L_{10}$  : nível excedido em 10% do tempo de observação, [dB];

$L_{eq}$  : nível de pressão sonora equivalente-contínuo no mesmo período de observação, [dB];

$\sigma$  : desvio padrão dos níveis no tempo de observação, [dB].

No caso do item ( b ), da página 13, o nível de pressão sonora global compensado pela escala A, tem sido largamente utilizado para representar a resposta do ouvido humano aos estímulos sonoros do ambiente acústico, devido ao fato de ter se mostrado muito bem correlacionado com a resposta subjetiva, mesmo quando comparada com outras escalas de caracterização do ruído [SILVA, 1978, p.43], [GERGES, 1992, p.55]. Associado a este fato, a facilidade de se medir essa grandeza tem levado à sua adoção em vários códigos e normas nacionais e internacionais. Por causa da resposta individual ao ruído variar bastante e as escalas de ruído serem bastante correlacionada uma com as outras, é freqüentemente argumentado que os níveis de pressão sonora global compensado pela na escala A são tão bons quanto qualquer outro método de medida subjetiva do ruído [HASSALL e ZAVERI, 1979 p.54-55]. A escala de compensação A consiste, então, na mais usual escala de caracterização dos níveis de pressão sonora do ruído flutuante, por exemplo. Pode-se obter amostras desses níveis para se extrair informações estatísticas, seja em termos do nível de pressão sonora equivalente-contínuo,  $L_{eq}$ , ou dos percentis  $L_{10}$  e  $L_{90}$ . Os valores dessas grandezas são dados de base para se gerar índices mais complexos de caracterização do ruído como o TNI, que será comentado no próximo parágrafo.

Em termos do item ( c ), da página 14, apesar dos problemas inerentes de se medir os efeitos do ruído de tráfego na comunidade, grandezas acústicas tem sido indicadas e propostas, procurando atender requerimentos como [LANGDON, 1975 : em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p.38] :

- acuidade de representação da resposta humana às condições do ruído;
- simplicidade na medição, dispensando complexas cadeias de instrumentação;
- ser bem correlacionado com outros parâmetros físicos, como volume de tráfego e velocidade dos veículos por hora, para o caso de ruído de tráfego veicular;
- capacidade de ser compreendido e aplicado pelos administradores, planejadores, engenheiros, entre outros, no que concerne à implementação de normas ambientais;
- se aplicado ao ruído de tráfego, é vantajoso se pudesse, em princípio, ser aplicado em situações onde o ruído fosse resultante de outras fontes ruidosas.

Dentre os muitos estudos desenvolvidos à respeito de quais seriam estas grandezas, o resultado de três pesquisas correlacionando incômodo com níveis de ruído são sumariadas na Tabela 1. O caso inglês propôs o índice de ruído de tráfego, TNI, que é definido como:

$$\text{TNI} = 4 \cdot (L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30 \quad (5)$$

TNI : índice de ruído de tráfego, [TNI];

$L_{10}$ : nível de pressão sonora excedido por 10% dos níveis presentes no intervalo T, [dB(A)];

$L_{90}$ : nível de pressão sonora excedido por 90% dos níveis presentes no intervalo T, [dB(A)].

TABELA 1. Resultados de pesquisas sobre correlação entre incômodo devido ao ruído e níveis de ruído

Descrição	Paris, 1971	Londres, 1968	Estocolmo, 1968
Amostras	693	1120	326
Faixa de variação do $L_{50}$ em dB(A)	53 - 75	53,5 - 68	43 - 67
Grandezas de melhores resultados	$L_{50}$ $r = 0,84$ $L_{10}$ $r = 0,84$ $L_{eq}$ $r = 0,84$	TNI $r = 0,88$ $L_{10, 18h}$ $r = 0,8$	$L_{eq}$ $r = 0,96$ $L_{10}$ $r = 0,88$ $L_{50}$ $r = 0,82$
Nível de ruído em $L_{50}$ [dB(A)]	69	61	56
Limite sugerido	abaixo de 70 dB(A) para $L_{50}$	74 TNI 68 dB(A) para $L_{10, 18h}$	59 dB(A) para $L_{50}$
Tipo de tráfego	fluxo livre principalmente, com algum congestionamento	fluxo livre sem congestionamento	fluxo livre com pouco congestionamento

Fonte : adaptado de LANGDON [1975 : em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p.54].

A equação (3) não é exata em casos onde a distribuição estatística dos níveis de pressão sonora não pode ser considerada como uma distribuição gaussiana. Os percentis  $L_{90}$  e  $L_{10}$  representam, respectivamente, o nível médio de ruído de fundo e o nível médio dos picos dos níveis de pressão sonora do ambiente acústico. O termo  $(L_{10} - L_{90})$  indica sobre o clima acústico do local, possuindo bastante peso na definição do incômodo pela equação (5).

Devido à inexistência de estudos para o caso brasileiro sobre correlação entre incômodo provocado pelo ruído de tráfego e níveis de ruído, no presente estudo considerou-se o TNI como uma grandeza complementar para se estimar o incômodo causado pelo ruído de tráfego na análise desenvolvida no Capítulo 4. A resposta estimada da comunidade em relação ao ambiente acústico no qual está inserida, mais especificamente em relação ao ruído de tráfego veicular, será obtida a partir da utilização da norma brasileira NBR-10.151- “Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade”, estabelecida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas [1987, doravante citada como ABNT- NBR10.151,p.3-6], pela comparação entre valores medidos dos níveis de pressão sonora equivalente-contínuo e os níveis sonoros máximos preconizados pela Lei Municipal no. 4.253 de 04/12/1985, em seu capítulo referente à poluição sonora.

Quanto ao item ( d ), da página 14, já foi apresentado na Tabela 1 o limite de tolerância para o índice do TNI. A Tabela 2 exemplifica limites de tolerância para o percentil  $L_{10}$ , associando, no planejamento de corredores de tráfego, níveis de ruído com uso do solo adjacente, especificados pela Administração Federal de Padrões de Ruído nos Estados Unidos da América, PPM 90-2 de 8 / 2 / 73 [REYNOLDS, 1981, p. 488]. A Tabela 3 apresenta os níveis sonoros máximos preconizados pela Lei Municipal [PBH, 1993] referente à poluição sonora promulgada pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte. A Tabela 4 apresenta a resposta estimada da comunidade à margem destes corredores em termos do âmbito da desigualdade  $L_c \geq L_r$ , onde  $L_c$  e  $L_r$  representam, respectivamente, o nível sonoro corrigido e o nível de critério [ABNT- NBR-10.151, 1987]. Neste trabalho, os níveis de pressão sonora equivalente-contínuos medidos,  $L_{eq,T}$ , e aqueles níveis sonoros máximos preconizados pela Lei Municipal [PBH, 1993],  $L_{eq,Lei}$ , equivalem, respectivamente, ao  $L_c$  e  $L_r$ .

TABELA 2. Limites para o percentil  $L_{10}$  relativos a usos do solo marginal em corredores de transporte

Categoria de Uso do Solo	$L_{10}$ permitido [dB(A)]	Descrição da Categoria de Uso do Solo
A	60 - exterior	Trechos de solo nos quais a serenidade e quietude são de significado extraordinário e servem a uma importante necessidade pública, e onde a preservação destas qualidades é essencial se a área destina-se a servir as intenções propostas Exemplos : anfiteatros, parques particulares ou porções de parques ou espaços abertos dedicados ou reconhecidos localmente para atividades que requerem qualidades especiais de serenidade e quietude
B	70 - exterior	Residências, motéis, hotéis, salas de encontro públicos, escolas, igrejas, bibliotecas, hospitais, áreas de picnic, áreas de recreação, brinquedos públicos, áreas de esportes, e parques
C	75 - exterior	Solos em desenvolvimento, propriedades ou atividades não incluídas nas categorias A e B acima.
E	55 - interior	Residências, motéis, hotéis, salas de encontro públicos, escolas, igrejas, bibliotecas, hospitais e auditórios.

Fonte : adaptado de REYNOLDS, 1981

TABELA 3. Níveis sonoros máximos preconizados pela Lei Ambiental para a Município de Belo Horizonte

Zonas de Uso do Solo [conforme Lei Municipal no. 4034 de 25 de março de 1995]	Níveis Sonoros Máximos Permitidos Conforme Período do Dia, [dB(A)]		
	Período Diurno 7h-19h	Período Vespertino 19h-22h	Período Noturno 22h-7h
ZR-ZR2-SESE2	55	50	45
ZR3-ZR4-ZR4A-ZR4B-ZR5-SE4	60	55	50
ZR6-ZC	65	60	55
ZC2-ZC3-ZC4-ZC5-ZC6-ZI-SE3	70	60	60

Fonte: adaptado da Lei Ambiental do Município de Belo Horizonte, 1993.

TABELA 4. Resposta estimada da comunidade ao ruído

Valor em pelo qual $L_c$ excede $L_r$ [dB(A)]	Resposta estimada da Comunidade	
	Categoria	Descrição
0	Nenhuma	Não se observa reação
5	Pouca	Queixas Esporádicas
10	Média	Queixas generalizadas
15	Enérgicas	Ação comunitária
20	Muito Enérgicas	Ação comunitária vigorosa

Fonte : adaptado de ABNT - NBR - 10.151/1987

Uma importante grandeza de caracterização das fontes sonoras, consiste no seu nível de potência sonora, NWS, [dB]. A importância de se conhecer valores dessa grandeza acústica das fontes sonoras, reside no fato desta grandeza consistir numa propriedade acústica inerente da fonte de ruído, independente do ambiente onde ela se encontra, o que não acontece com o nível de pressão sonora, NPS, [dB]. Valores do NPS das fontes sonoras dependem de vários fatores, tais como : ( a ) distância entre a fonte e o medidor de nível sonoro, ( b ) orientação ou diretividade da fonte, ( c ) características do ambiente de medição. Assim, a potência sonora é um parâmetro absoluto de importância para o controle de ruído, pois a partir dele pode-se fazer,

por exemplo, predições dos valores dos NPS em qualquer tipo de ambiente [GERGES, 1992, p.126-27].

Modelos de previsão mais recentes em ruído de tráfego veicular tem incorporado esta grandeza no procedimento de cálculo das estimativas dos níveis de pressão sonora nas imediações dos corredores de transporte próximo às áreas sensíveis, [BRUNETTI et al., 1995, p.169-74], [GABILLET e VAN MAERCKE, 1995, p.137-42], [MIGERON, et al., 1995, p.131-36], [MILLARD e LOZIA, 1995, p.155-60].

Em termos de procedimentos normalizados, não existe norma internacional específica da determinação da potência sonora de veículos em condições reais de fluxo para aplicação, por exemplo no desenvolvimento de modelos de previsão que procurem relacionar grandezas acústicas característica das fontes, como o nível de potência sonora, com outras grandezas não acústicas para estimativa dos níveis sonoros produzidos pelo tráfego veicular. É mais comum ser encontradas normas para determinação dos níveis de pressão sonora globais máximos emitidos pela passagem de veículos, sob certas condições predefinidas, úteis à verificação se os veículos produzidos pela indústria automobilística atendem aos limites máximos permitidos pela legislação concernente ao assunto [BRASIL, 1993], [SANDBERG, 1996, P.353-58]. Porém tais níveis máximos também tem sido tem sido incorporados em procedimentos de cálculo para estimativa do nível sonoro equivalente-contínuo [LAMURE, 1975 : em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p.96], [MAKAREWICZ, 1983, p. 543].

Uma técnica denominada como Técnica de Integração Quadrática foi proposta para se estimar os níveis de potência sonora de veículos em condições de tráfego nas vias [YOSHIHISA e TACHIBANA, 1988, p. 1163]. Neste procedimento o ruído máximo do veículo medido, pelo circuito de resposta rápida, à 7,5m de seu percurso, à 1,2m de altura do piso, em condições de campo livre sobre o plano refletor da pista, é substituído: ( a ) pelo valor do nível de exposição sonora compensado na escala A,  $L_{AE}$ , para o caso de um único veículo trafegando ou ( b ) pelo valor do nível de pressão sonora equivalente-contínuo,  $L_{A eq T}$ , quando dois ou mais veículos estão passando sucessivamente.

Como hipóteses para a aplicação desta técnica, considera-se os veículos como fontes pontuais gerando cada um uma potência sonora constante,  $W$ , [W], percorrendo uma trecho retilíneo com uma velocidade constante,  $V$ , [km/h], sobre um plano reflexivo, sendo que uma pressão sonora,  $p(t)$ , [Pa], é recebida à uma distância,  $d$ , [m], da linha de percurso do veículo.

Nestas condições, para o caso de um único veículo trafegando, a seguinte relação existe [YOSHIHISA e TACHIBANA, 1988]:

$$\int_{-\infty}^{\infty} [p^2(t) dt] = (\rho c W / 2Vd) \quad (6)$$

$\rho c$  : impedância característica do ar.

Da equação (6) pode-se obter o nível de potência sonora de um único veículo em tráfego, expresso por :

$$NWS = L_{pE} + 10 \cdot \log V + 10 \cdot \log d + 3 \quad (7)$$

onde :

$$L_{pE} = 10 \cdot \log \left\{ \left( 1/T_o \right) \cdot \int_0^{T_o} [p^2(t) / p_o^2] \cdot dt \right\} \quad (8)$$

$L_{pE}$  : nível de exposição sonora de um evento ruidoso contínuo, [dB];

$T_o$  : intervalo de tempo de referência, [1s];

$p(t)$  : pressão sonora instantânea do sinal acústico, [Pa];

$p_o$  : pressão sonora de referência, [20  $\mu$ Pa].

No caso da presença de dois ou mais veículos trafegando sucessivamente, dentro de um período de tempo de  $t_1$  para  $t_2$ , [s], à uma velocidade constante,  $V$ , [km/h], sobre um plano reflexivo a seguinte relação existe:

$$\int_{t_1}^{t_2} [p^2(t) dt] = (\rho c / 2Vd) \cdot \sum_{i=1}^N W_i \quad (9)$$

$$\int_{t_1}^{t_2} [p^2(t) dt] = (\rho c / 2Vd) \cdot (N \cdot W_d) \quad (10)$$

$W_i$  : potência sonora da  $i$ -ésima fonte pontual, [W];

$W_d$  : potência sonora média, [W];

$N$  : número de fontes pontuais, [unid.].

Da equação (10) pode-se obter o nível de potência sonora de um conjunto de veículo em tráfego, expresso por :

$$NWS_d = L_{eq} + 10 \cdot \log_{10} T - 10 \cdot \log_{10} N + 10 \cdot \log_{10} V + 10 \cdot \log_{10} d + 3 \quad (11)$$

onde :

$$L_{eq} = 10 \cdot \log_{10} \left\{ \left( \frac{1}{t_2 - t_1} \right) \cdot \int_{t_1}^{t_2} [p^2(t) / p_o^2] \cdot dt \right\} \quad (12)$$

$L_{eq}$  : nível de pressão sonora equivalente-contínuo, [dB];

T: intervalo de tempo considerado (  $t_2 - t_1$  ), [s];

$p(t)$ : pressão sonora instantânea do sinal acústico, [Pa];

$p_o$ : pressão sonora de referência, [20  $\mu$ Pa].

No caso de níveis de pressão sonora compensados pela escala A, os níveis  $L_{eq}$ ,  $L_{pE}$ , NWS e  $NWS_d$  correspondem, respectivamente, aos níveis  $L_{Aeq,T}$ ,  $L_{AE}$ ,  $NWS_A$  e  $NWS_{Ad}$ . No primeiro estudo experimental realizado pelos proponentes desta técnica [YOSHIHISA E TACHIBANA, 1988, p. 1164-166], as amostras coletadas foram divididas em três grupos da seguinte forma : ( a ) grupo A - veículos isolados trafegando; ( b ) grupo B - veículos em conjunto trafegando, sendo possível determinar a potência sonora de cada veículo do conjunto e ( c ) grupo C- como o grupo B, porém a potência sonora de cada veículo não pode ser determinada individualmente. As equações (5) e (9) correspondem, respectivamente, aos métodos A e B de determinação dos níveis de potência sonora.

Aplicando-se o método A para o grupo - A de veículos e comparando os resultados obtidos pelo método convencional<sup>1</sup>, obteve-se um coeficiente de correlação de 0,984. A partir de uma análise de regressão não linear, correlacionou-se os níveis de potência sonora dos veículos do grupo - A com suas respectivas velocidades de passagem pelo ponto de medição, obtendo-se um coeficiente de correlação de 0,991. Para amostras pertencentes ao grupo - B, o nível de potência sonora médio determinado pelo método B foi comparado com aquele calculado pelo uso dos níveis de potência sonora de cada veículo determinado pelo método A, com os resultados apresentando um coeficiente de correlação de 0,998. Para verificar se o método B

<sup>1</sup> os autores referem-se à norma japonesa JIS D 1024 - 1976 "Measurements of noise emitted by automobiles".

pode ser utilizado para estimar o nível de potência sonora médio de veículos pertencentes ao grupo - C, fez-se uma correlação entre os níveis de potência sonora e as velocidades de veículos teste trafegando isoladamente à várias velocidades. À partir desta correlação, os autores calcularam o nível de pressão sonora médio dos veículo, comparando os valores calculados com aqueles estimados pelo método B, obtendo um coeficiente de correlação de 0,987. À partir de medições do nível de potência sonora de veículos em condições reais de fluxo, tais resultados foram correlacionados com as velocidades dos veículos. Para veículos leves, a equação de regressão apresentou um coeficiente de correlação de 0,738, sendo que para veículos pesados, este coeficiente foi de 0,733. Os autores concluíram seu estudo afirmando que este novo método pode determinar os níveis de potência sonora de veículos trafegando à uma velocidade constante, de uma maneira mais precisa e conveniente do que pelo método convencional [YOSHIHISA e TACHIBANA, 1988, p. 1166].

### **2.2.2 Grandezas de Tráfego**

Da aplicação do conceito de capacidade de suporte [ODUM, 1988, p.99] na busca da qualidade ambiental dos corredores de transporte urbano, surgem estudos e linhas de pesquisa de Capacidade Ambiental no campo da engenharia de tráfego. Entre os conceitos de capacidade ambiental tem-se que esta consiste na “capacidade que uma via ou área possui para acomodar veículos estacionados e/ou em movimento, em relação à necessidade de garantir determinados padrões mínimos de qualidade do meio ambiente” [SANTOS, 1989: em CHIQUETTO, 1991, p. 14-15]. Parâmetros utilizados para definir a Capacidade Ambiental no sistema viário consistem em fatores limitantes da capacidade de tráfego destes, permitindo um volume de tráfego inferior à capacidade física da estrutura viária. [CHIQUETTO, 1991, p. 17-18]. Embora isto à princípio possa parecer antieconômico, lembremos que, de uma forma geral, o meio urbano tem maximizado as funções econômicas a tal nível que houve uma defasagem no tempo e no espaço destas funções em relação aos aspectos sociais e ambientais da existência humana. [ODUM, 1988, p. 102]. O ruído está entre os critérios ambientais que podem definir o volume de tráfego máximo para uma determinada área. A Capacidade Ambiental em termos da poluição sonora é definida pela manutenção dos níveis de ruído dentro de limites de tolerância para a saúde e o conforto acústico da comunidade [CHIQUETTO, 1991, p. 17-18].

Um estudo realizado por TRACZ e BOHATKIEWIZ (1995) à respeito do efeito das condições de tráfego no ruído de tráfego veicular nas interseções sinalizadas do sistema viário tem procurado relacionar os níveis de serviço das vias, LOS, com os níveis de ruído e incômodo presentes nestas. Segundo o manual de capacidade de vias desenvolvido pelo Transportation Research Board [1994, doravante citado como TRB], o nível de serviço consiste numa medida qualitativa que caracteriza as condições operacionais dentro do fluxo de tráfego e sua percepção pelos motoristas e passageiros. A descrição dos níveis de serviço caracterizam estas condições em termos de fatores como velocidade e tempo de viagem, liberdade de manobras, interrupções no tráfego, conforto e conveniência. Seis níveis de serviço são definidos para cada tipo de via do sistema viário e podem ser obtidos através de metodologias específicas conforme o tipo de via, por exemplo. Os níveis de serviço variam da letra A até F, representando, respectivamente, a melhor e pior condição de operação da via [TRB, 1994, p.1-4].

No caso de estimativas do nível de serviço em vias arteriais urbanas, deve-se definir a localização e comprimento da via arterial a ser considerado, determinar sua classe a partir de um esquema de classificação específico e do conhecimento da velocidade de fluxo livre da via. Pode-se dividir a via em seções onde cada uma pode conter um ou mais trechos da via considerada. É necessário computar o tempo de corrida de cada trecho e seção, o atraso de percurso no caso de vias com fluxo interrompido, por exemplo, devido à presença de semáforos. Em seguida deve ser computado a velocidade média de viagem da via para, então, ser possível se estimar seu nível de serviço [TRB, 1985, p. 11-4, 11-5]. Um estudo de capacidade de vias, a partir da determinação dos níveis de serviço destas, procurando relacioná-los com a resposta estimada da comunidade no ambiente acústico nela produzido pelo fluxo veicular, consiste numa investigação importante dentro do contexto da Capacidade Ambiental.

Neste trabalho, medidas de fluxo de tráfego, como, velocidade, volume, taxa de fluxo e densidade, sua composição, em termos da porcentagem de veículos presentes segundo as categorias leves, médios, pesados e motocicletas, estão entre as grandezas de tráfego coletadas para o desenvolvimento da análise realizada.

A velocidade é definida como a taxa de movimento expressa como a distância por unidade de tempo, [km/h]. Para se realizar estudos de capacidade das vias, a velocidade usada corresponde à velocidade média de viagem. Esta velocidade é computada dividindo o comprimento da via ou trecho de interesse pelo tempo médio de viagem consumido dos veículos

ao percorrem o trecho considerado. A equação (11) descreve o cálculo desta grandeza [TBR, 1985, p. 1-4, 1-5] :

$$S = L / (1/n) \cdot \sum_{i=1}^n t_i = n \cdot L / \sum_{i=1}^n t_i \quad (13)$$

S: velocidade média de viagem, [km/h];

L: comprimento do trecho ou segmento da via, [km];

$t_i$  : tempo de viagem consumido por cada veículo no percurso do trecho, [h];

n : número de viagens observadas, [unidades].

Na equação (11) considera-se que o tempo de viagem observado inclui os eventuais atrasos devido à presença de interrupções fixas na via ou aos congestionamentos. Quando este tempo não inclui tais atrasos, tem-se a estimativa de outra grandeza denominada velocidade média de corrida, a qual é definida como a distância percorrida dividida pelo tempo médio de corrida, o qual apenas considera o movimento do veículo, sem interferências em seu percurso. Tanto a velocidade média de viagem como a velocidade média de corrida referem-se à velocidade média espacial. Este termo consiste no termo estatístico freqüentemente utilizado na bibliografia especializada para se referir à velocidade média, baseada nos tempos médios de viagem consumidos pelos veículos percorrendo um segmento viário. O adjetivo *espacial* do termo em questão é utilizado devido ao fato dos tempos de percurso se referirem ao segmento específico da via [TBR, 1985, p. 1-4, 1-5].

O volume de tráfego consiste no número de veículos que passa através de um dado ponto ou seção de uma faixa da pista ou da via durante um determinado intervalo de tempo, em termos de períodos anuais, diários, horários ou sub-horários. A taxa de fluxo representa a taxa horária equivalente na qual os veículos passam através de um dado ponto ou seção de uma faixa da pista ou da via, durante um dado intervalo de tempo inferior à 1h [TBR, 1985, p.1-5]. Assim :

$$Q_{RF} = Q_t \cdot (T / t) \quad (14)$$

$Q_{RF}$  : taxa de fluxo, [veic./h];

$Q_t$  : volume de veículos observado no período t, [veic./h];

T : período de 1h, [h];

t : intervalo de tempo inferior à T, [h].

No caso de se considerar taxas de fluxo de pico, ou seja, aquela obtida a partir do fluxo máximo observado numa seqüência de  $Q_t$ , durante um conjunto de períodos  $t$ , de mesmo intervalo de tempo:

$$Q_{RF \max} = Q_{t \max} \cdot (T / t) \quad (15)$$

$Q_{RF \max}$  : taxa de fluxo de pico, [veic./h];

$Q_{t \max}$  : volume máximo de veículos observado entre os período  $t$ , [veic./h];

$T$  : período de 1h, [h];

$t$ : intervalo de tempo por período do conjunto dos  $n$  períodos observados, com  $(n \cdot t) = T$ , [h].

As taxas de fluxo de pico,  $Q_{RF \max}$ , são de extrema importância na análise de capacidade das vias, uma vez que consideram a situação crítica do volume de tráfego [TBR, 1985, p.1-5].

A densidade refere-se ao número médio de veículos ocupando um dado comprimento da faixa da pista ou via em relação ao tempo. Esta grandeza pode ser computada a partir da velocidade média de viagem e da taxa de fluxo, que consistem em grandezas mais fáceis de serem obtidas [TBR, 1985, p.1-6]. Assim :

$$D = Q_{RF} / S \quad (16)$$

$D$  : densidade, [veic./km];

$Q_{RF}$ : taxa de fluxo, [veic./h];

$S$ : velocidade média de viagem, [km/h].

A densidade consiste num parâmetro crítico que descreve a operação do tráfego, em termos da proximidade entre os veículos, refletindo a liberdade de manobra dentro do fluxo de tráfego. Pode-se determinar o espaço que cada veículo do fluxo ocupa na via, considerando-os trafegando a uma velocidade constante e uniformemente espaçados entre si por:

$$e = 1 / (n-1) \quad (17)$$

$e$  : espaço da via ocupada por cada veículo no fluxo, [km/veic.];

$n$  : densidade,  $n \geq 2$ , [veic./km].

### 2.2.3 Grandezas Meteorológicas

Tendo em vista a influência que o vento, a temperatura do ar e a umidade relativa exercem na propagação sonora, podendo absorver parte dessa energia radiada, o presente trabalho

registrou a temperatura do ar de bulbo seco e úmido e velocidade do ar nas imediações do local selecionado. A partir destas temperaturas, calculou-se a umidade relativa do ar por relações de suas propriedades psicrométricas definidos em pesquisas em psicrometria [BIAGI e SILVA, 1990, p.1161-175].

A temperatura e velocidade do ar estão entre as grandezas básicas que definem um ambiente térmico. A temperatura do ar mede o estado térmico da massa de ar, informando-nos sobre sua capacidade de transferência de calor ou sobre a energia cinética média de sua moléculas. A temperatura é medida através de um dos fenômenos que ela produz, ou seja a dilatação, [COSTA, 1974, p. 18], o que requer atenção na sua medição à respeito da inércia térmica do sensor, entre outras precauções [ISO, 1985]. A temperatura de bulbo seco consiste na temperatura do ar propriamente dita, enquanto que a temperatura de bulbo úmido consiste naquela onde o bulbo do termômetro está envolvido numa mecha de algodão úmida conectado a um recipiente de onde a umidade é obtida por capilaridade. Estes dois tipos de temperatura podem ser utilizadas para se obter a umidade relativa do ar, através de um psicrômetro [ISO, 1985]. [...]“A umidade representa a quantidade de vapor presente no ar. A umidade absoluta é a quantidade real de água no ar expressa como peso de água por unidade de ar. Como a quantidade de vapor d’água contida em ar saturado varia com a temperatura e pressão, a umidade relativa representa a percentagem” [...]da quantidade [...] “, de vapor d’água realmente presente comparada com a” [...] quantidade referente em condições de [...] “saturação sob condições existentes de temperatura e pressão ”[...] [ODUM, 1988, p. 160]. À partir da temperatura do ar e da umidade relativa do ar pode-se estimar a atenuação exercida pelo ar na propagação das ondas sonoras, em termos de dB/km para as bandas de oitava de frequências centrais de 1kHz, 2kHz, 4kHz e 8kHz do espectro sonoro [GERGES 1992, p. 231-32].

A velocidade do ar é definida em magnitude e direção. Devido à sua flutuação, sugere-se que esta seja expressa pela sua média e desvio padrão. A principal direção do fluxo de ar pode ser descoberta por testes de fumaça, por exemplo [ISO, 1985].

#### **2.2.4 Grandezas Geométricas**

No caso dos corredores de transporte em áreas urbanas, a configuração mais comum de se encontrar consiste na via flanqueada por edificações em ambos os lados da direção do fluxo de veículos. Nesta circunstância, o nível de ruído de tráfego total num ponto receptor à margem da

via é influenciado pela : ( a ) radiação sonora direta entre fonte receptor e pela sua componente refletida pelo solo; ( b ) pelas múltiplas reflexões da energia sonora devido à ação conjunta do solo e as fachadas, e ( c ) pela difusão da energia sonora a cada reflexão. A quantificação da influência do ambiente construído nestas circunstâncias no nível total de ruído de tráfego, descrito pelo percentil  $L_{10}$ , foi proposto por CHEW [1995, p. 33], no estudo de vias expressas, como :

$$L_{10, \text{Corr}} = -12,47 \cdot \log r_1 + 9,69 \cdot \log (G + MR + D_0) \quad (18)$$

$L_{10, \text{Corr}}$  : efeito das características do ambiente construído no nível total  $L_{10}$ , [dB(A)];

G : efeito da influência de ( a ), no parágrafo anterior, [dB(A)];

MR : efeito da influência de ( b ), [dB(A)];

$D_0$  : efeito da influência de ( c ), [dB(A)].

Através de numerosas simulações em ray tracing modelando a propagação sonora em uma via típica flanqueadas por edificações, HEUTSCHI [1995, p. 259-74] propôs uma nova forma de se obter a parcela do ruído de tráfego, devido às reflexões entre as fachadas. Por este método pode-se considerar a presença dos intervalos entre as edificações ou devido aos cruzamentos de vias transversais, quando existirem. Através da utilização de uma seqüência de tabelas onde os dados de entrada consistem em grandezas geométricas do ambiente construído que caracterizam o conjunto via / edificações do trecho em estudo, pode-se estimar a correção da influência da presença das edificações no valor final do nível de pressão sonora equivalente-contínuo,  $L_{\text{eq}}$ .

O procedimento geral do método consiste em : ( a ) calcular o fator de correção considerando a via completamente flanqueada pelas edificações,  $BC_{\text{tot closed}}$ ; ( b ) calcular os fatores de redução,  $f_i$ , devido à presença de intervalos conforme o parágrafo anterior, e ( c ) calcular a correção considerando a influência destes intervalos pela expressão :

$$BC_{\text{tot gaps}} = BC_{\text{tot closed}} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \dots f_n \quad (19)$$

$BC_{\text{tot gaps}}$  : correção aplicada ao  $L_{\text{eq}}$ , pela influência das edificações e a presença de intervalos;

$BC_{\text{tot closed}}$  : correção da influência de edificações flanqueando completamente a via;

$f_i$  : fatores de redução aplicados ao  $BC_{\text{tot closed}}$  para introduzir influência dos intervalos.

A Figura 2 reúne as grandezas geométricas necessárias para se utilizar o método acima sumariado.

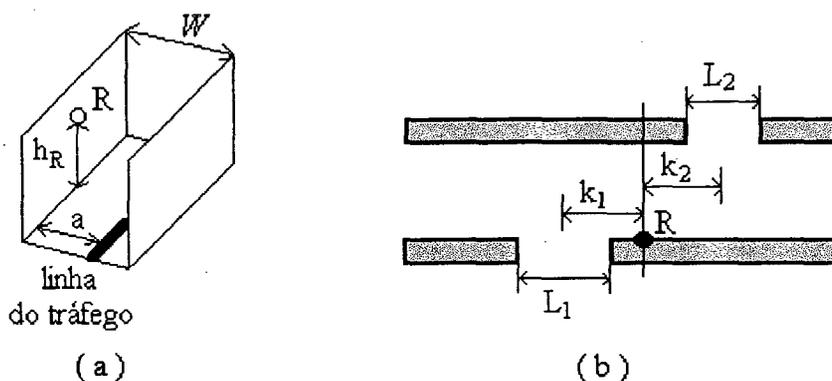


FIGURA 2. Grandezas geométricas básicas: ( a ) distância do receptor-linha de tráfego, calculada por  $[(a^2 + h_R^2)^{1/2}]$ , relação entre a altura das fachadas e a distância entre elas  $[h_F/w]$ ; ( b ) situação para investigar o efeito dos intervalos na correção BC. Cada intervalo é caracterizado pela largura  $L$  e sua posição  $k$ , medida do ponto médio do intervalo à linha normal às fachadas que contém o ponto receptor  $R$ . ( fonte : adaptado de HEUTSCHI,1995, p. 261, 264)

O método desenvolvido pelo Department of Environment-DOE, na Grã-Bretanha para cálculo do ruído proveniente do tráfego, denominado “Calculation of Road Traffic Noise” estima o efeito da declividade da pista no ruído de tráfego, pela equação (20) [BRASIL, 1980, p.168] :

$$C_D = 0,3 \cdot D \quad (20)$$

$C_D$ : correção para declividade, [dB(A)];  
 $D$ : declividade,  $[(h/d) \cdot 100\%]$ .

A equação (20) é utilizada no procedimento de cálculo do percentil  $L_{10}$ , considerando apenas o trecho em active e com a velocidade real do fluxo. Para velocidade de projeto, em fase de planejamento, a constante da equação (20) passa a ser 0,2. Esta mesma equação de correção é também adotada na predição do ruído de tráfego utilizado pelo Building Research Establishment Digest, que baseia-se no método desenvolvido pelo DOE [BRE, 1976].

## 2.4 Relações entre as Grandezas

Na busca de se procurar prever o comportamento dos níveis ruído do tráfego veicular em corredores de transporte urbano, a partir outras grandezas acústicas e/ou de tráfego e geométricas sob determinadas condições meteorológicas, inúmeros modelos matemáticos de

predição tem sido desenvolvidos. De uma forma geral, quanto a natureza dos modelos matemáticos, “[...] os símbolos matemáticos proporcionam uma taquigrafia útil para [...]” descrição de fenômenos “[...] complexos. As equações [...] permitem enunciar formalmente como [...]” variáveis dependentes e independentes interagem. “[...] O processo de transcrever conceitos físicos [...]” de um fenômeno “[...] para um conjunto de relações matemáticas, e a manipulação dos sistemas matemáticos assim obtidos, denominam-se análise de sistemas. O sistema matemático é chamado de modelo e constitui uma representação abstrata e imperfeita do mundo real” [ODUM, 1988, p. 323-24].

Quanto ao objetivo da construção dos modelos, há várias razões para construí-los. “[...] Ao proporcionar uma *descrição* abstrata e simplificada de algum sistema, eles poderão ser utilizados simplesmente para direcionar os esforços das pesquisas ou para definir um problema para um estudo mais detalhado. Mais freqüentemente, os modelos são desenvolvidos para a *predição* de mudança dinâmica em função do tempo. [...] Os modelos podem ser classificados em função de três propriedades ou objetivos, ou seja, de *realismo*, *precisão* e *generalidade*. O realismo refere-se ao grau de correspondência entre os enunciados matemáticos do modelo, quando traduzido em palavras e os conceitos [...] físicos [...] que se pretende estar representando. A precisão é a capacidade do modelo em prever uma mudança numérica e imitar os dados nos quais está fundamentado. A generalidade refere-se à amplitude de aplicabilidade do modelo [...]” [ODUM, 1988, p.324-26].

Dentre os instrumentos matemáticos básicos na construção de modelos, estão a teoria dos conjuntos e transformações, a matriz algébrica e as equações de diferença e diferenciais. O primeiro instrumento “[...] pode ser utilizado para representar qualquer tipo de modelo [...], sendo empregado no desenvolvimento de *mudança de estado*. Aqui enumeramos simplesmente as condições qualitativas ou estados que um sistema pode assumir e o modelo consiste em uma *regra de transformação* para especificar qual o próximo estado a ser assumido pelo sistema, sendo conhecido o estado atual. O segundo instrumento [...] ocupa-se da descrição e manipulação das listas e tabelas numéricas. As matrizes proporcionam uma forma simbólica geral de exposição das correlações do sistema [...]. O terceiro instrumento [...] é utilizado para desenvolver modelos que descrevem quantitativamente como os sistemas variam no tempo” [ODUM, 1988, p. 327].

Dois tipos de modelos matemáticos podem ser utilizados na construção de modelos de previsão em ruído de tráfego rodoviário, a saber, os determinísticos e os probabilísticos (ou

estocásticos). Os modelos determinísticos procuram relações entre variáveis dependentes e independentes numa equação. Os modelos probabilísticos, por conveniência ou ignorância abstraem de numerosos fatores que influenciam o fenômeno real, fazendo a previsão de uma verossimilhança com que cada um dos estados possíveis será observado. Neste tipo de modelo, os múltiplos fatores influentes ( os não tomados em consideração explicitamente, os não estimáveis, os não conhecidos e os aleatórios por natureza) são considerados como influência aleatória, conduzindo a uma distribuição estocástica para os resultados possíveis. Comparando-se os dois modelos, o segundo, dada sua maior generalidade e acordo com a realidade, apresentam vantagens em relação ao primeiro. De qualquer forma, determinístico ou probabilístico, o valor do modelo depende da adequação para conduzir a previsões e informar decisões satisfatórias sob o ponto de vista da engenharia [SILVA, 1978].

É possível que métodos de previsão em ruído de tráfego de veículos geralmente relacionem parâmetros descritivos de um *estado* de um campo acústico , caracterizado por índices ou escalas de avaliação de ruído ambiental baseada em índices estatísticos (  $L_N$  ) ou energéticos (  $L_{eq}$  ), com parâmetros característicos do tráfego (natureza, composição, densidade e velocidade do fluxo ) e da via de circulação ( traçado, declividade, largura, pavimentação, ocupação lindeira). Desta relação é possível determinar valores de densidade de tráfego que correspondam a um valor dentro de limites de tolerância preconizados, ou prever incômodos ou perturbações em comunidades humanas mais susceptíveis de exposição a esta modalidade de ruído ambiental [BENTO COELHO, 1995, p.35-42]. No caso de necessidade de informações para controle de ruído (atenuação por barreiras e isolamento em edificações), é necessária uma análise completa no domínio da frequência, gerando níveis sonoros em bandas de oitava do espectro sonoro do ruído em enfoque.

Existem pesquisas atuais em predição de ruído de tráfego baseadas na lógica fuzzy e neural, contrapondo-se às aproximações estatísticas, cuja relações apresentadas são linear sendo que esta característica em algumas situações representam uma séria limitação na capacidade de descrição real do fenômeno em questão [CAMMARATA, et al., 1994, p. 29].

No caso de tráfego fluindo livremente, métodos de predição estão bem estabelecidos por algum tempo. Recentemente, muita atenção tem sido dada ao problema de desenvolvimento de modelos similares aplicados às condições de tráfego congestionado, mais comum de ser encontrado nos centros das cidades. São alguns fatores que ainda precisam ser combinados num método de predição prático [HASSAL & ZAVERI , 1979, p. 185]:

- natureza intermitente do ruído emitido;
- a importância relativa de aceleração e freagem;
- efeitos das junções de vias;
- efeitos de controle de tráfego

Pesquisas mais recentes avaliam com mais detalhe o efeito de interseções sinalizadas no ruído de tráfego. Nestas interseções o ruído de tráfego aumenta de forma significativa. Um controle de tráfego pobre implica no incremento do ruído gerado por freqüentes paradas/arrancadas em interseções sinalizadas ou não. Nos métodos de cálculo de ruído de tráfego este incremento é levado em conta por meio de fatores corretivos do nível de emissão num ponto receptor, sendo que as diferenças no intervalo de nível de ruído dependem da distância do receptor em relação à interseção, de 0 dB ( $d > 100$  m) a 3 dB ( $d < 40$  m). De uma forma geral, os métodos de cálculo não incluem parâmetros de controle de sinal de tráfego e condições de tráfego nas interseções o que implica em erros nas estimativas de ruído. Assim é importante a análise da relação entre as condições de tráfego medidas e o nível de ruído de tráfego para aplicar o fator de correção na otimização do controle de tráfego [TRACZ, 1995].

Atualmente existe a nível internacional uma série de programas computacionais para previsão de ruído de tráfego desde situações simples até aquelas mais complexas. Estes programas são destinados a um vasto público, embora alguns estejam mais direcionados para pesquisadores, profissionais e outros para o próprio público não especializado.

Recentemente, vários países estão desenvolvendo ou testando modelos computacionais de previsão de ruído de tráfego como Alemanha Canadá, Dinamarca, França, Itália, Japão, Noruega, Países Baixos, Portugal. Constituem exemplos destes modelos os programas ASJ, DGMR, IMPACT, LIMA, MITHRA, MICROBRUIT, NBSTOY, RAYNOISE, RLSTR81, ROAR 1.1, RVS 3.114, SCM1, SOUNDPLAN, TRAF, VISIGO, entre outros. Os modelos matemáticos utilizados nestes programas para modelamento da fonte e propagação sonora variam entre fórmulas empíricas, associadas ou não à image source, ray-tracing, associado ou não a image source ou beam tracing. Dependendo da sofisticação dos modelos os resultados são dados em valores médios globais de nível de pressão sonora [dB(A)] e em bandas de frequência (1/1 oitava de 63 Hz à 8kHz), para ponto receptor à margem da via ou em qualquer outro ponto do contexto urbano, sujeito à exposição dos ruídos emitidos pela via ou conjunto de vias

simuladas. A representação dos resultados pode ser gráfica (mapa de ruído e gráficos) e/ou numérica (tabelas) conforme tal sofisticação [POMPOLI, 1994].

No Brasil, apenas modelos empíricos de previsão de ruído de tráfego tem sido desenvolvidos [DEL CARLO, 1979] e [MARTINS, et alli, 1984] baseados na análise de regressão linear múltipla, os modelos apresentam predição dos níveis percentis  $L_N$ , dos níveis de pressão sonora equivalente-contínuos,  $L_{Aeq}$ , avaliação do incômodo (TNI), para o primeiro estudo, o percentil  $L_{10}$  e os níveis de pressão sonora equivalente-contínuos,  $L_{Aeq}$ , para o segundo. Estes modelos só foram possíveis de ser elaborados a partir de um grande número de medições em campo referentes a níveis de ruído e parâmetros de tráfego, da via e do local da medição. Constituem-se basicamente por equações ou ábacos que relacionam índices de ruído com outros parâmetros como fluxo de tráfego, velocidade média dos veículos, composição do tráfego, declividade da via, revestimento, distância observador-via. Em seu desenvolvimento o pesquisador tem pouco controle sobre os elementos que afetam os níveis de ruído, gerando dificuldade de separação dos parâmetros que interagem na sua produção. Vale ressaltar que os resultados destes modelos são válidos para o ponto receptor ou observador localizado junto à calçada em vias de uso local, coletoras e arteriais. Os resultados são apresentados na forma de tabelas e gráficos.

## **CAPÍTULO 3**

### **METODOLOGIA**

#### **3.1 LEVANTAMENTOS REALIZADOS PARA BASE DE DADOS**

Através de levantamentos realizados em áreas específicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte, foram coletados dados referentes ao ruído emitidos por veículos em trânsito, os quais são denominados neste trabalho de dados acústicos. Simultaneamente à coleta destes dados, foram coletados dados de tráfego e meteorológicos. Também coletou-se dados geométricos e das características do ambiente construído considerados relevantes para o presente trabalho. Nestes levantamentos, produziu-se, então, as informações que se julgaram necessárias para alcançar os objetivos propostos no Capítulo 1, informações estas que foram definidas a partir da revisão bibliográfica realizada no Capítulo 2.

Foram realizados dois tipos de levantamentos, sendo que o primeiro objetivou coletar dados referentes aos níveis de ruído de veículos trafegando em vias arteriais urbanas, enquanto que o segundo teve como objetivo final quantificar os níveis de potência sonora dos veículos em condições de tráfego, mais próximas da realidade.

O primeiro tipo de levantamento foi realizado dentro de uma área selecionada da cidade de Belo Horizonte, mais especificamente às margens de seus principais corredores de transporte urbano em cinco pontos de medição. O segundo tipo de levantamento foi realizado numa área fora da cidade, mais especificamente às margens de uma rodovia em um único ponto de medição, tendo em vista certos requisitos impossíveis de serem atendidos dentro da área da cidade selecionada para o primeiro tipo de levantamento. Anterior à cada levantamento foram realizados levantamentos pilotos em Florianópolis para familiarização com os devidos procedimentos em campo durante os levantamentos definitivos.

## **3.2 LEVANTAMENTO DO RUÍDO DE TRÁFEGO VEICULAR**

Os sub-itens apresentados a seguir fornecem maiores detalhes a respeito do levantamento de ruído veicular em corredores de transporte urbano, em termos da seleção e localização das áreas e pontos de medição, dos períodos de coleta dos dados, dos métodos empregados na coleta destes e da instrumentação utilizada. Também são apresentados os métodos utilizados para análise dos dados coletados e para a produção de novos dados a partir dos coletados.

### **3.2.1 Seleção e Localização da Área de Estudo**

Foi feita uma amostragem não probabilística por tipicidade [ MARCONI e LAKATOS, 1986 ] para a escolha da área onde foram coletados os dados da pesquisa de campo. Havia, portanto, a intenção de se estudar uma modalidade específica do ruído ambiental em locais onde os dados fossem representativos das fontes sonoras objeto de avaliação. Procurou-se, com isto, minimizar, sempre que possível, a influência de outras fontes sonoras presentes no ruído ambiental.

A área selecionada está contida na região urbana delimitada pelos seguintes corredores de transporte : a rodovia federal BR-262, Av. Presidente Carlos Luz , Av. Dom Pedro II, Av. do Contorno, Av. Teresa Cristina, e Via Expressa Leste - Oeste. No interior desta região urbana existem 4 sub-regiões sendo que uma delas refere-se à área selecionada para o estudo. A área de estudo, então, é delimitada pelas seguintes vias arteriais : Av. Dom Pedro II, Av. Nossa Senhora de Fátima, Av. Teresa Cristina, Av. Presidente Juscelino Kubitscheck e Rua Moema. A Figura 3 ilustra a localização da área selecionada para o estudo dentro do município de Belo Horizonte. A Figura 4 apresenta a delimitação da área selecionada pelas vias arteriais acima mencionadas.

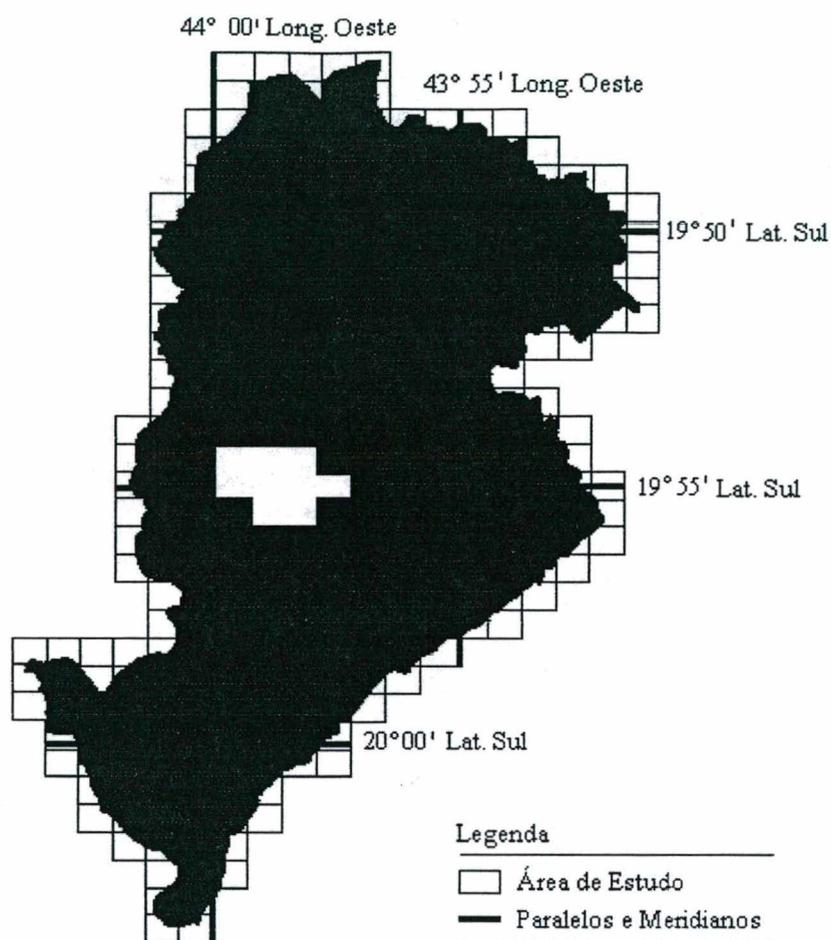


FIGURA 3 - Situação da área de estudo no Município de Belo Horizonte

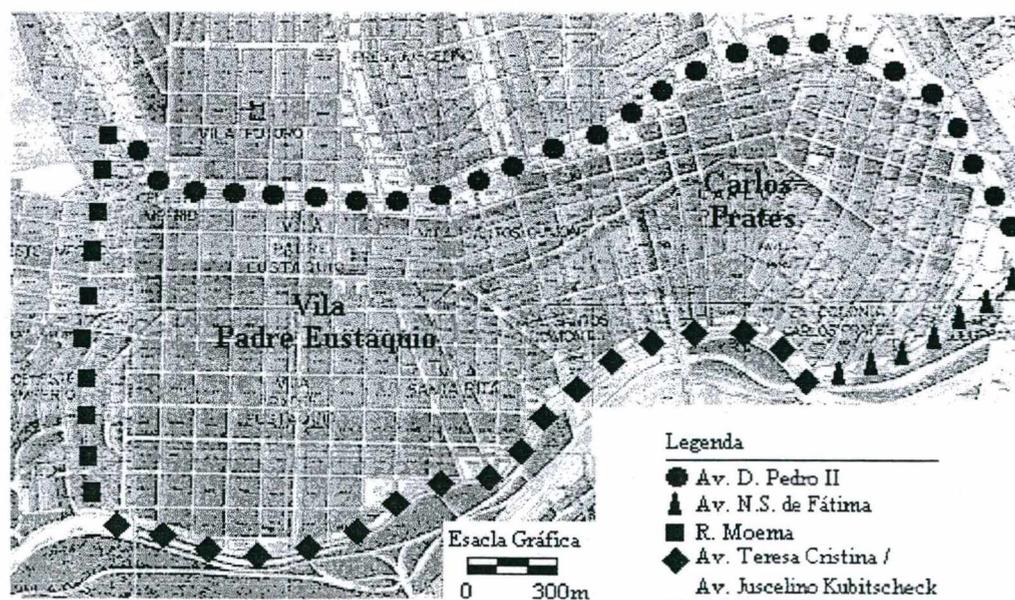


FIGURA 4 - Delimitação da área de estudo.

### 3.2.2 Seleção e Localização das Vias e dos Pontos de Medição na Área de Estudo

Dentro da referida área de estudo foram selecionados quatro corredores de transporte urbano, a saber, as ruas Padre Eustáquio e Três Pontas, e as avenidas Dom Pedro II e Teresa Cristina, sobre os quais se distribuiu cinco pontos de medição conforme a Tabela 5.

TABELA 5 Vias selecionadas e distribuição dos pontos de medição

Via Selecionada	Pontos de Medição	Localização
R. Padre Eustáquio	P1	Entre ruas Nova Lima e Uberlândia
R. Três Pontas	P2	Entre ruas Brasília e Nova Lima
R. Padre Eustáquio	P3	Entre ruas Castigliano e Progresso
Av. Dom Pedro II	P4	Entre ruas Perdizes e Jacarina
Av. Teresa Cristina	P5	Entre ruas Aquidaban e Tombos

Os pontos de medição foram localizados em situações geométricas variadas. O ponto 1 foi localizado em trecho de aclive na R. Padre Eustáquio. O ponto 2 em trecho de declive na R. Três Pontas. O ponto 3 em trecho plano na Rua Padre Eustáquio. Estas duas ruas consistem num binário de tráfego, apresentando, portando, sentidos único e contrário de tráfego. Os pontos 4 e 5 foram localizados em trechos plano nas avenidas Dom Pedro II e Teresa Cristina, respectivamente. Devido ao fato destas duas avenidas se desenvolverem em fundos de vales, não foi possível selecionar trechos em aclive e declive para a localização dos pontos de medição. Estas duas avenidas apresentam conjuntos de pistas de rolamento em sentidos contrários com a presença de elementos físicos separando os sentidos de tráfego.

Para que a comparação entre os dados coletados se tornasse mais consistente, locou-se os pontos de medição em trechos das vias onde houvessem pavimentações semelhantes. Pelo mesmo motivo, procurou-se manter a mesma distância horizontal entre o microfone do medidor de nível sonoro e a borda das vias para as quais este esteve orientado. A Figuras 5 situa os pontos de medição nas vias selecionadas na área de estudo e as Figuras 6, 7 e 8 referem-se ao registro fotográfico dos trechos da vias onde foram localizados os pontos de medição.

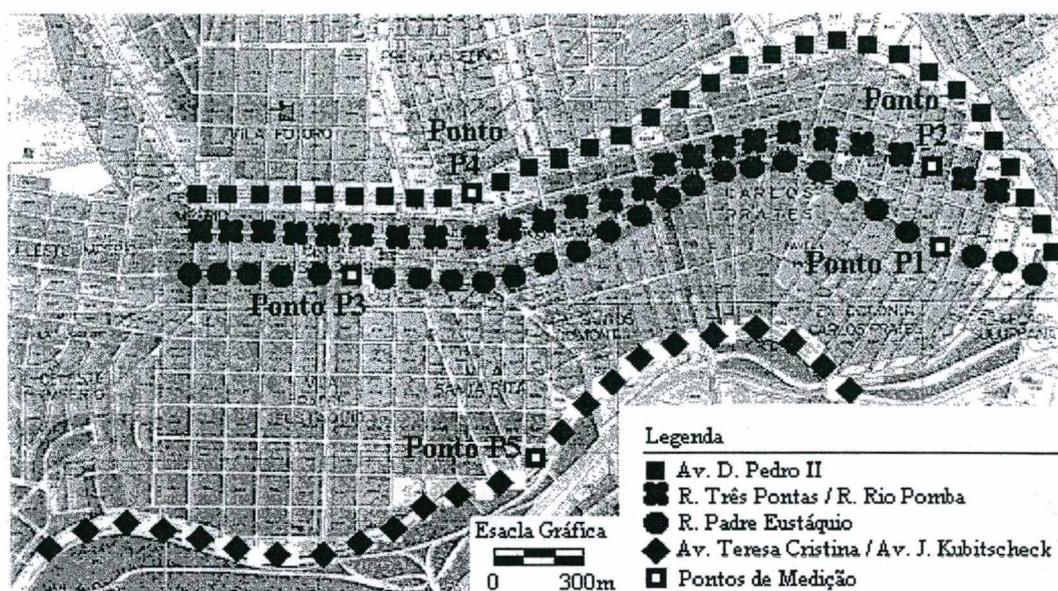
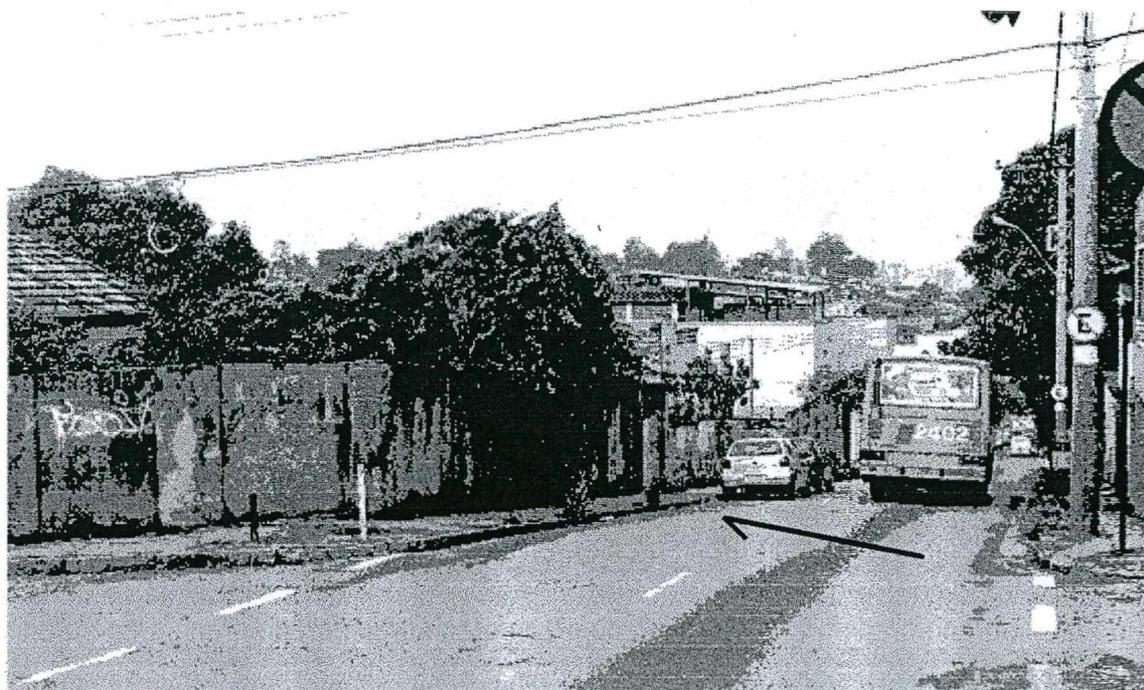


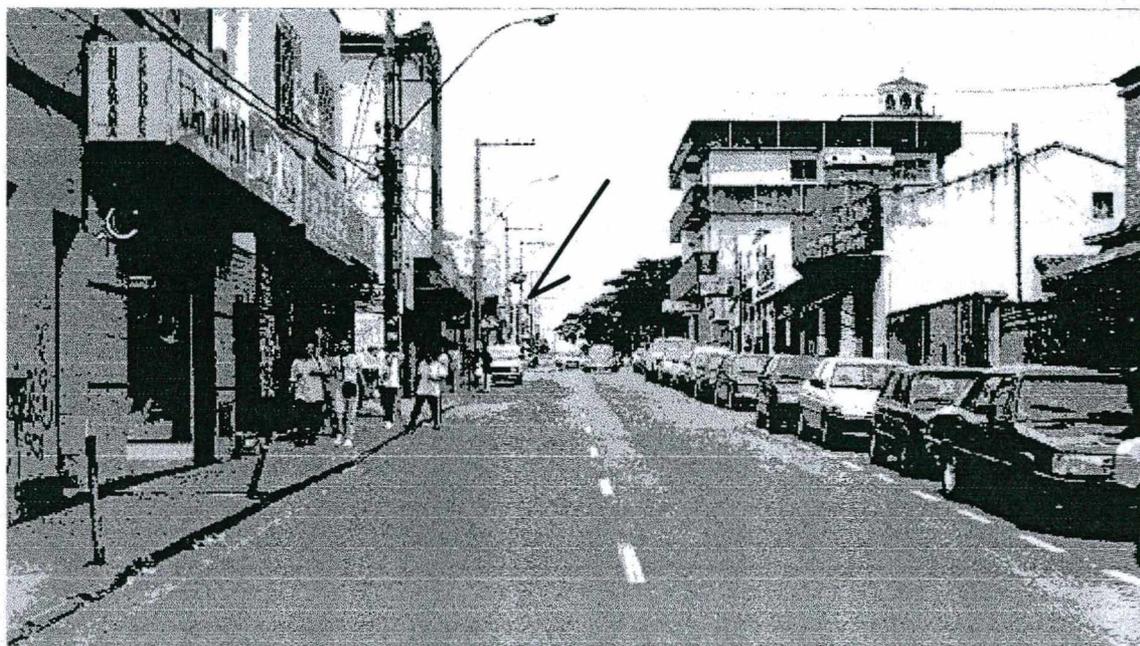
FIGURA 5 - Vias e pontos de medição selecionados



FIGURA 6 - Registro fotográfico das vias selecionadas. Trecho em acive da rua Padre Eustáquio onde situa-se o quarteirão que contém o ponto de medição P1: à esquerda, em frente o Restaurante e Merceria Aqui e Agora.

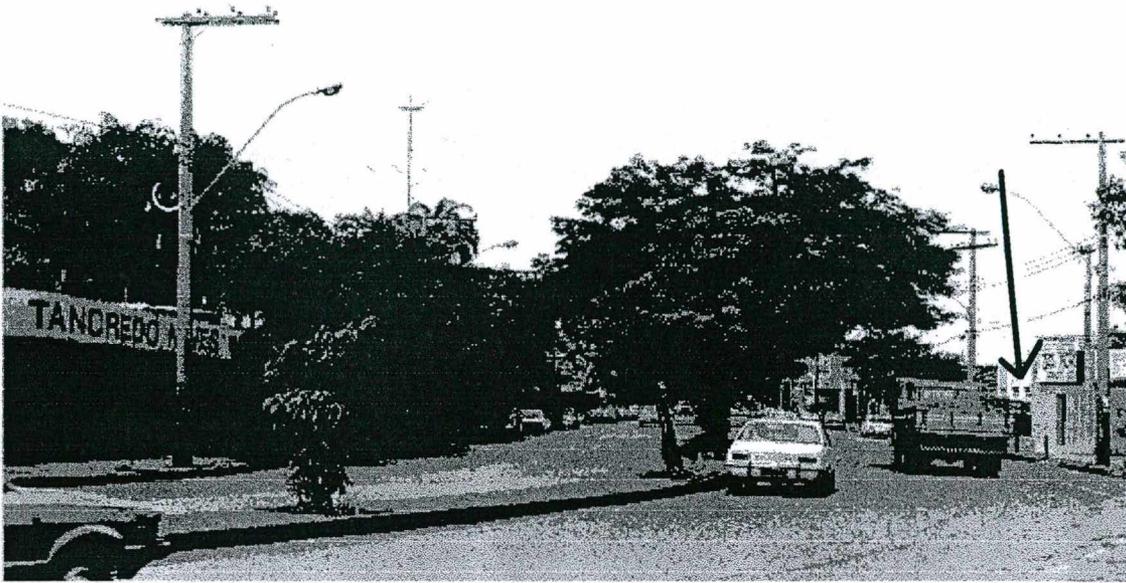


*Figura 7.a*

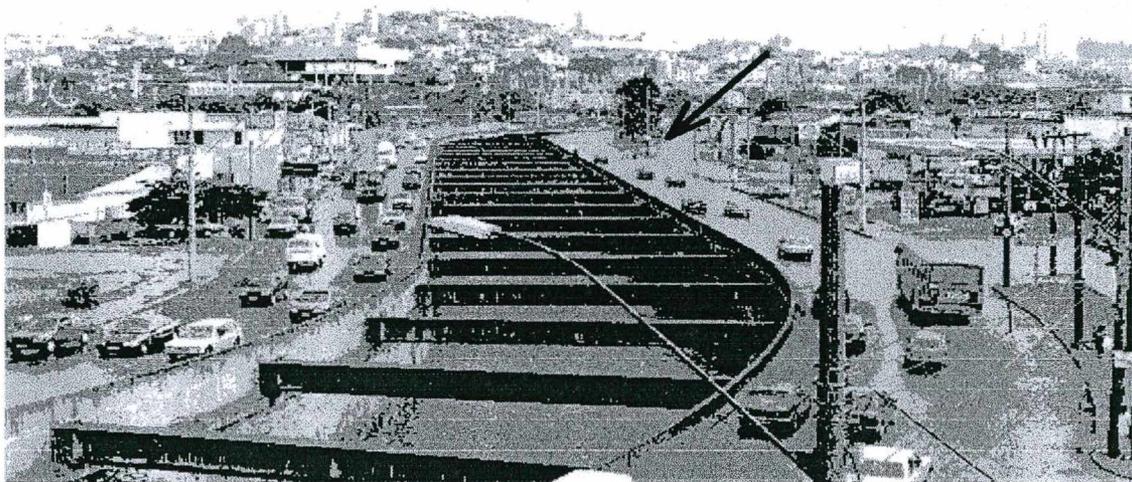


*Figura 7.b*

FIGURA 7 - Registro fotográfico das vias selecionadas. A Fig. 7.a apresenta o trecho em declive da rua Três Pontas, onde situa-se o quarteirão que contém o ponto de medição P2: à esquerda entre o veículo estacionado e a esquina. Na Fig. 7.b é visto o trecho em nível da rua Padre Eustáquio onde situa-se o quarteirão que contém o ponto de medição P3: à esquerda de frente ao edifício de três pavimentos.



*Figura 8.a*



*Figura 8.b*

FIGURA 8 - Registro fotográfico das vias selecionadas. A Fig. 8.a apresenta o trecho em nível da avenida D. Pedro II onde situa-se o quarteirão que contém o ponto de medição P4 : à direita entre os dois postes. Na Fig. 8.b vê-se a avenida Teresa Cristina, de onde se visualiza o trecho em nível onde situa-se o quarteirão que contém o ponto de medição P5: à esquerda mais no centro da figura, uma quadra e meia depois do posto de gasolina.

### 3.2.3 Seleção dos Períodos de Coleta dos Dados

Selecionou-se épocas do ano e horários diários em situações típicas e atípicas de tráfego assim como de pico e fora de pico, em termos de seu volume, principalmente. Entre os dois meses escolhidos, o mês de agosto contrasta com o mês de outubro devido ao fato de nele ocorrerem as férias escolares, podendo ser considerado uma situação atípica, enquanto que o mês de outubro deva ser considerado como em situação típica de tráfego. Durante o decorrer do dia existem períodos de volume de tráfego tendendo ao máximo ou não, como é o caso do início e meio da manhã, respectivamente. Há variações no comportamento do tráfego também durante os dias da semana. Limitou-se a coleta de dados no intervalo de dias entre as segundas e sextas-feiras, onde as condições de tráfego e conseqüente emissão do ruído dele proveniente fossem normais.

Para que se pudesse avaliar os valores coletados a partir da sua comparação com aqueles preconizados pela Lei Municipal [PBH, 1993], em termos dos níveis sonoros máximos permitidos, foi necessário coletar amostras dos dados acústicos nos horários diurno, vespertino e noturno, conforme são definidos na referida lei ( Tabela 3, no item 2.2.1.)

Evitou-se realizar a coleta de dados em períodos onde fosse insignificante a presença do ruído de tráfego, tendo em vista os objetivos propostos pelo trabalho. Mediante estas observações, selecionou-se seis períodos de medição referentes à cada dia das semanas de medição, evitando-se aqueles de fim de semana e eventuais feriados. A Figura 9 descreve, então, os períodos diários de medição.

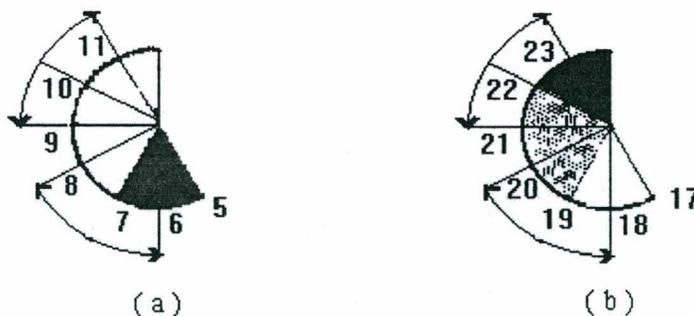


FIGURA 9 - ( a ) *Período de 6h-8h* : em pico, com transição entre horário noturno e diurno pela Lei Municipal [PBH, 1993]; ( b ) *Período de 18h-20h* : em pico, com transição entre horário diurno e vespertino pela mesma lei; *Período de 21h-23h* : fora de pico, com transição entre horário vespertino e noturno pela referida lei.

### 3.2.4 Métodos, Grandezas Coletadas e Instrumentação

Coletou-se os dados acústicos segundo a norma inglesa BS 7445 - "Description and measurement of environmental noise" em sua parte 1, que incorpora na íntegra o texto da norma ISO 1996-1 / 1982, de mesmo título [BRITISH STANDARD BS-7445, 1982]. A seguir são apresentadas informações sobre os intervalos de tempo, categorias de ruído medido, instrumentação utilizada, sua calibração, detalhes da medição, e outras informações requeridas para aplicação da referida norma.

Foram registrados neste trabalho e apresentados no Capítulo 4 os seguintes dados acústicos dentre os medidos: níveis de pressão sonora, níveis de pressão sonora equivalente-contínuos, níveis percentis, dando-se ênfase para aqueles níveis de pressão sonora que excedidos em 10% e 90% do tempo considerado nas séries de medições, e os níveis diário de exposição pessoal ao ruído de tráfego, ambos compensados pelo circuito A.

O intervalo de tempo nas medições sobre o qual integrou-se e se tirou a média dos valores da pressão sonora ao quadrado foi de 1 segundo. Este mesmo intervalo de tempo consistiu no intervalo de referência para se gerar os dados dos níveis de pressão sonora equivalente-contínuos e níveis percentis acima enfatizados. O intervalo de tempo de longa duração com extensão de uma hora foi escolhido de forma que os resultados das medições fossem considerados representativos e que se atendesse à condição de representatividade também dos dados de tráfego tendo em vista a simultaneidade da coleta de ambos os tipos de dados. Assim, dados referentes aos níveis de pressão sonora equivalente-contínuo obtidos para cada intervalo horário dentro dos períodos de medição consistem nos níveis de pressão médio de longa duração a que a norma se refere em seu item 3.10 e que foram fornecidos diretamente do medidor de nível sonoro utilizado. Adotou-se um tempo de exposição de 1h e 2h para cálculo dos níveis diário de exposição pessoal ao ruído.

A categoria de ruído objeto de análise no presente trabalho foi caracterizada como um tipo de ruído específico componente do ruído ambiental nas áreas onde se realizaram as pesquisas de campo. Diante do fato de que ela apresentava presença esporádica de componentes tonais e ausência de fenômenos sonoros impulsivos, não foram aplicados fatores de correção aos valores dos níveis de pressão sonora equivalente-contínuo relativos ao intervalo de tempo de referência.

A seguir, a Tabela 6 resume a denominação das grandezas acústicas medidas, seus símbolos, unidades entre outras informações.

TABELA 6 Grandezas acústicas coletadas no primeiro levantamento

Grandeza	Símbolo	Unid.	Informação Adicional
Níveis de pressão sonora	NPS	dB	em termos de histogramas e valores extremos
Níveis percentis	$L_{AN,T}$	dB	$N \in \{10\%, 90\%\}$ , com $T = 1h$
Níveis de pressão sonora equivalente-contínuo	$L_{Aeq,T}$	dB	intervalo de tempo de referência $T = 1s$
Níveis sonoros médios de longa duração	$L_{Aeq,LT}$	dB	intervalo de tempo de longa duração $T = 1h$
Níveis diário de exposição pessoal ao ruído	$L_{EP,d}$	dB	para 8 h com tempo de exposição de 1h ou 2h

Utilizou-se instrumentação da Brüel & Kjaer que constou de um medidor de nível sonoro integrador de precisão tipo 2236 sobre tripé, microfone tipo 4188, e Calibrador tipo 4230. Ao medidor de nível sonoro foi conectado um microcomputador, para que se pudesse realizar a transferência dos dados armazenados no medidor e arquivá-los mediante o programa de comunicação BK-Link desenvolvido, também, pela Brüel & Kjaer e operado durante as medições

O medidor de nível sonoro é considerado de tipo 1, tanto conforme padrões preconizados pela ANSI S1.4 - 1983 atendendo inclusive a proposta de atualização S1.43, de 06/09/92, conforme a IEC 651 (1979) e 804 (1985) [BRÜEL & KJAER, 1993]. Dentre as faixas de medição opcionais neste instrumento, optou-se pela faixa definida pelo intervalo [40dB - 120 dB], com nível máximo de pico em 123 dB. O circuito de compensação A em frequência para valores da raiz média quadrática com constante de média rápida selecionada, F, estão de acordo com a IEC 651 com tolerância inerentes aos instrumentos considerados tipo 1, tendo em vista sua capacidade de abranger o tipo de ruído objeto de avaliação neste trabalho.

O microfone utilizado consiste num microfone de campo livre de 1/2" com resposta praticamente plana em frequência dentro do âmbito espectral característico do ruído de tráfego. Durante as medições foi acoplado ao microfone um protetor de vento para se minimizar os erros provenientes do vento com velocidades acima de 2 m/s [ GERGES, 1992]

O calibrador utilizado atendia as condições de calibração exigidas pela documentação técnica do medidor de nível sonoro. Foram realizadas calibrações antes e após cada período de 2h de medição.

Pelas características de ocupação do solo ao longo das ruas Padre Eustáquio e Três Pontas, realizou-se medições com o medidor afastado de 1,00m das fachadas das edificações nos pontos P1, P2 e P3. No ponto P4, na avenida Dom Pedro II, foi possível locar o medidor à 2,00m da fachada. Apenas no ponto P5 pôde-se minimizar as influências das reflexões de elementos construtivos refletores. Assim, na avenida Teresa Cristina, a distância entre o medidor e a superfície refletora mais próxima, excluindo-se o piso, era de 11,85m. Apesar destas variações de distância em relação às fachadas das edificações, foram mantidas constantes a altura do medidor

de nível sonoro, sempre distando do piso de 1,20m, e a distância horizontal em relação à borda da via, de 0,50 m.

A partir dos níveis percentis  $L_{A10,1h}$  e  $L_{A90,1h}$  foi possível estimar os valores do índice de ruído de tráfego, TNI, durante um intervalo de 1 h nos vários períodos de medição.

Os dados de tráfego foram coletados por equipes de pesquisa de campo do BHTRANS, atual órgão gerenciador do Transporte no Município de Belo Horizonte. Foram registradas as seguintes grandezas de tráfego: ( a ) volume de veículos a intervalos de 10 minutos durante os períodos de medição diários, segundo a composição de tráfego, em termos de motocicletas, veículos leves ( capacidade para até 4 passageiros ), veículos médios (capacidade entre 4 e 9 passageiros ou para pequenas cargas ), veículos pesados (capacidade acima de 9 passageiros ou para cargas médias e pesadas ); ( b ) tempo, em [s], consumido pelos veículos em movimento para percorrem uma certa distância definida na via, em [m]. As grandezas de tráfego acima enumeradas foram coletadas nas proximidades dos pontos P1, P2, P3, P4 e P5 ( veja Fig. 5 ) e nos mesmos períodos onde se fizeram o levantamento das grandezas acústicas.

Uma vez obtidos os volumes de tráfego, mediante contagem do tráfego por registradores manuais, foi possível extrair, posteriormente, os volumes horários de cada categoria nos vários períodos das pesquisas de campo. Devido à predominância de veículos leves e pesados no volume total do tráfego, os dados apresentados neste trabalho, relativo ao volume de veículos leves, incorpora os volume de tráfego das categorias motocicletas e veículos médios. Assim, em termos de medição de volume de tráfego, são apresentados no Capítulo 4 os volumes totais e aqueles relativos às categorias leve e pesada de veículos, simbolizadas, respectivamente, por  $Q_T$ ,  $Q_L$  e  $Q_P$ , expressos na unidade [Veic./ h].

A partir dos tempos de percursos registrados, mediante sua cronometragem, foi possível extrair os valores de velocidade média espacial da via pela equação (13), item 2.2.2, e para as categorias de veículos da composição do tráfego. Os valores de velocidade média espacial calculados para a categoria leve inclui a contribuição de motocicletas e veículos médios, conforme as considerações feitas no parágrafo anterior. Em termos de velocidade média, o Capítulo 4 reúne, então, os valores referentes às velocidades médias espaciais relativas à via, aos veículos leves e pesados, sendo simbolizadas, respectivamente, por  $V_M$ ,  $V_L$  e  $V_P$  e expressas em [km/h].

A Tabela 7 resume as grandezas de tráfego apresentadas no Capítulo 4, incluindo a denominação destas, simbologias, unidades e algumas informações adicionais.

TABELA 7 Grandezas de tráfego a partir do primeiro levantamento

Grandeza	Símbolo	Unid.	Informação Adicional
Volume de tráfego total	$Q_T$	Veic/h	baseada em registros de volume a cada 10 min
Volume de tráfego de veículos leves	$Q_L$	Veic/h	como acima, incorporando demais categorias
Volume de tráfego de veículos pesados	$Q_P$	Veic/h	baseada em registros de volume a cada 10 min
Velocidade média espacial da via	$V_M$	km/h	baseada no tempo de veículos em movimento
Velocidade média espacial veículos leves	$V_L$	km/h	como acima, incorporando demais categorias
Velocidade média espacial veículos pesados	$V_P$	km/h	baseada no tempo de veículos em movimento

As grandezas meteorológicas medidas tiveram como referência para sua coleta a norma ISO 7726 / 1985. São estas grandezas a temperatura do ar de bulbo seco,  $T_{BS}$ , [°C], bulbo úmido,  $T_{BU}$ , [°C], e a velocidade do ar,  $v_a$ , [m/s].

As medições de temperatura foram realizadas por um psicrômetro giratório IOPE mod. SP-G2 com termômetros de expansão em mercúrio, com escala no âmbito do intervalo [-10°C;+60°C] e de precisão de  $\pm 0,2$  °C, considerando-se um tempo de resposta de 5 min para a primeira leitura de seus valores. Entre uma leitura e outra das temperaturas, o psicrômetro esteve apoiado sobre tripé, à sombra, protegido dos efeitos oriundos da radiação térmica de superfícies e de elementos do entorno.

Os valores de temperaturas foram lidos e anotados a cada intervalo de trinta minutos. Desses valores coletados extraiu-se médias horárias das temperaturas nos períodos de medição definidos no item 3.1.3. A partir dos valores horários das temperaturas  $T_{BS}$  e  $T_{BU}$  foi possível extrair os dados de umidade relativa horários para os mesmos períodos de medição, mediante cálculos psicrométricos [BIAGI e SILVA, 1990, p.1161-175]. Tais cálculos psicrométricos foram realizados considerando-se a pressão barométrica local de 687,5 mmHg e 690,8 mmHg para os meses de julho e outubro respectivamente. Os dados de pressão barométrica local foram obtidos do 5º Distrito do Departamento Nacional de Meteorologia [BRASIL, 1992].

Os dados de velocidade do ar foram coletados por um anemômetro digital Lutron AM-4202. Os valores desta grandeza foram registrados manualmente a cada intervalo de 30 segundos durante os períodos de medição. A ventoinha deste aparelho foi fixada sobre tripé e orientada para ser sensibilizada pelo sentido predominante do fluxo do ar que coincidiu predominantemente com o sentido do fluxo dos veículos nas vias mais próximas do medidor de nível sonoro. Os valores de velocidade do ar contidos no Capítulo 4, consistem nas médias aritméticas para os períodos de medição.

Os valores das grandezas acústicas medidas estão associados às condições meteorológicas dentro das quais as medições ocorreram. Um efeito de temperatura,  $T_{BS}$ , e umidade relativa  $< 0,5$

dB para cada um deles [BRÜEL e KJAER, 1993, p. 6.5], pode ser esperado para os respectivos intervalos [- 10°C , + 50 °C ] e [30%, 90%]. A Tabela 8 resume as grandezas meteorológicas apresentadas no Capítulo 4, incluindo a denominação destas, simbologias, unidades e algumas informações adicionais.

TABELA 8 Grandezas meteorológicas a partir do primeiro levantamento

Grandeza	Símbolo	Unid.	Informação Adicional
Temperatura do ar com bulbo seco	T <sub>BS</sub>	°C	média horária a partir de dados a cada 30 min.
Temperatura do ar com bulbo úmido	T <sub>BU</sub>	°C	média horária a partir de dados a cada 30 min.
Velocidade do ar	v <sub>a</sub>	m/s	média horária a partir de dados a cada 30 s
Umidade relativa do ar	U <sub>R</sub>	%	média horária para pressão barométrica local

Os dados da geometria local coletados foram : largura da via, dimensões dos elementos geométricos divisores dos sentidos de tráfego nas avenidas, declividade das vias, altura média das edificações, distâncias entre as edificações opostas em relação às vias, distâncias dos pontos de medição em relação ao solo, às edificação mais próximas e às bordas das vias, com ambas as dimensões em metros.

Um registro fotográfico e medidas com trena, além leituras em escala de mapas de levantamento planialtimétrico foram utilizados para coletar os dados da geometria do local. A Tabela 9 resume as grandezas meteorológicas apresentadas no Capítulo 4, incluindo a denominação destas, simbologias, unidades e algumas informações adicionais.

TABELA 9. Grandezas geométricas a partir do primeiro levantamento

Grandeza	Símbolo	Unid.	Informação Adicional
Largura da via	L <sub>V</sub>	m	excluindo passeios
Largura do passeio	L <sub>P</sub>	m	-
Largura do elemento central	L <sub>C</sub>	m	-
Altura de muretas de proteção	h <sub>M</sub>	m	em relação ao ponto de medição
Declividade das vias	D	%	-
Altura média das edificações	h <sub>E</sub>	m	no quarteirão que contém o ponto de medição
Distâncias entre as edificação	d <sub>E</sub>	m	normal às fachadas
Altura do ponto de medição	h <sub>P</sub>	m	em relação ao passeio
Distância ponto de medição - fachada	d <sub>F</sub>	m	da edificação mais próxima
Distância ponto de medição - via	d <sub>V</sub>	m	-

As vias selecionadas para pesquisa de campo apresentam pavimentação em asfalto, com passeios cimentados sobre contrapiso em concreto pobre. As edificações do entorno são consideradas, predominantemente, com envoltórias heterogêneas em superfície, composta por alvenaria rebocada pintada, com espessura em torno de 0,25m, conjugada com superfícies envidraçadas com vidro simples, com espessuras em torno de 0,004m.

### **3.3 LEVANTAMENTO DO NÍVEL DE POTÊNCIA SONORA DOS VEÍCULOS**

Os sub-itens abaixo fornecem as devidas informações a respeito do segundo levantamento, em termos da seleção e localização das áreas e pontos de medição, dos períodos de coleta dos dados, dos métodos empregados para coleta dos dados, da instrumentação utilizada e suas características. Também são apresentados os métodos utilizados para análise dos dados coletados e para a produção de novos dados a partir dos coletados.

#### **3.3.1 Seleção e Localização da Área de Estudo, Ponto de Medição e seu Período**

Escolheu-se uma rodovia para se fazer a coleta destes dados, para que fosse possível evitar reflexões de planos verticais e posicionar o medidor de nível sonoro à uma distância do fluxo de veículos em torno de 7,5 m, procurando reproduzir as condições utilizadas pelos proponentes da medição de nível de potência sonora de veículos em fluxo usando a técnica de integração-quadrática [YOSHIHISA & TACHIBANA, 1988].

A rodovia selecionada consiste na BR-356 próximo ao km 38 num trecho retilíneo. À margem direita da rodovia, no sentido Belo Horizonte - Ouro Preto, foi possível definir o ponto de medição. Nele, o medidor de nível sonoro foi posicionado à 7,5m e 11,0m de distância da pista referente ao sentido Belo Horizonte - Ouro Preto e Ouro Preto Belo Horizonte, respectivamente. Quanto à sua altura, o medidor foi posicionado à 1,2m em relação ao solo o qual consistia em terra batida misturada ao minério de ferro.

O período de coleta dos dados foi à tarde, entre às quatorze e dezessete horas, devido à disponibilidade da presença da viatura da 8ª Companhia da Polícia Rodoviária Estadual - PMMG para auxílio na pesquisa de campo, tanto em termos de coleta dos dados como para segurança do trabalho. Os dados foram coletados durante uma semana aproximadamente com veículos trafegando nas seguintes condições : sobre pista seca revestida de camada em asfalto .

#### **3.3.2 Métodos, Grandezas Coletadas e Instrumentação**

Os dados acústicos foram coletados segundo a técnica de integração-quadrática pela qual se propõe estimar o nível de potência sonora emitido por veículos em trafegando em vias. Conforme

descrito no Capítulo 2, considerou-se atendidas as hipóteses referentes às considerações teóricas relativas aos princípios de medição proposto por tal técnica.

As grandezas acústicas coletadas para posterior estimativa dos níveis de potência sonora foram o nível de exposição sonora e o nível sonoro equivalente - contínuo de curta duração [BRITISH STANDARD BS-7445, 1982], ambas compensadas pelo circuito A. Tais grandezas foram coletadas :

- respectivamente, para amostras de veículos pertencentes ao grupo A, B e C conforme disposto no Capítulo 2.
- para 139 amostras de veículos leves<sup>1</sup> e 81 amostras de veículos pesados, que somam 220 amostras distribuídas entre o grupo A, B e C.

Tendo em vista a não disponibilidade de veículos de teste, as amostras foram obtidas em condições reais de fluxo, exigindo da equipe de pesquisa paciência, atenção e agilidade de operação da instrumentação para coletar as grandezas acústicas dentro de condições ideais, a saber :

- Cada amostra corresponde à uma categoria específica de veículos, isto é, as grandezas não poderiam ser coletadas com a presença simultânea de veículos leves e pesados;
- Cada amostra corresponde a um sentido específico do fluxo, isto é, evitou-se coletar amostras de uma mesma categoria com veículos trafegando em sentidos opostos;
- Cada amostra pertence aos grupos A ou B ou C, isto é, coletou-se amostras por grupo específico.

Devido ao caráter aleatório do surgimento das amostras e da característica destas, não foi possível estabelecer um intervalo de referência constante para obtenção dos níveis sonoros equivalente-contínuos. O intervalo de tempo de referência para se gerar os dados dos níveis de pressão sonora equivalente-contínuo foi de 1 segundo.

A seguir, a Tabela 10 resume a denominação das grandezas acústicas medidas, seus símbolos, unidades entre outras informações. Convém frisar que todas estas grandezas foram fornecidas diretamente pelo medidor de nível sonoro utilizado.

---

<sup>1</sup> Conforme o item 3.1.4, incorporou-se à categoria de veículos leves, as categorias de motocicleta e de veículos médios, pelos mesmos motivos apresentados.

TABELA 10 Grandezas acústicas coletadas no segundo levantamento

Grandeza	Símbolo	Und.	Informação Adicional
Níveis de pressão sonora equivalente-contínuo	$L_{Aeq,T}$	dB	intervalo de tempo de referência $T = 1s$
Níveis sonoros médios de curta duração	$L_{Aeq,CT}$	dB	intervalo de tempo de curta duração $1s \leq T \leq 22s$
Níveis de exposição sonora	$L_{AE}$	dB	equivalente ao $L_{AX}$ apresentado na ISO 3891

Para a coleta das grandezas acústicas acima descritas, utilizou-se a mesma instrumentação, descrita no item 3.2.4 do presente capítulo.

As grandezas de tráfego coletadas para aplicação da técnica em questão foram o volume de veículos e a velocidade destes. Devido ao reduzido número de veículos presentes durante a coleta das amostras do grupo B ou C, não foi necessário a presença da equipe de pesquisa de tráfego convocada para o primeiro levantamento. Os dados de velocidade foram coletados por radar portátil KUSTOM apoiados sobre tripé operados pela polícia rodoviária. Trata-se, portanto, de valores de velocidade média temporal [TRB, 1994]. Devido à influência da situação geométrica do trecho selecionado para a presente pesquisa de campo (extensão inferior à 300 m, entre duas curvas sinuosas) e ao estímulo psicológico da presença da equipe polícia rodoviária no trecho no comportamento dos motoristas ao percorrerem o referido trecho, adotou-se como hipótese que tais valores de velocidade consistiam em valores de velocidade constante, que consiste numa das hipóteses para ser possível a aplicação da técnica de integração quadrática.

Uma vez de posse dos dados acústicos e de tráfego, foi possível, então, estimar para veículos leves e pesados um nível de potência sonora para veículos pertencentes a cada um dos grupos A, B e C. Como existe forte correlação entre os métodos A e B para se gerar níveis de potência sonora, e que estes níveis podem ser estimados para veículos pertencentes ao grupo C por meio do método B [YOSHIHISA E TACHIBANA, 1988, p. 1164-166], gerou-se, no presente trabalho, duas equações de regressão correlacionando os valores de níveis de potência sonora aos valores de velocidades a partir das amostras coletadas, para veículos das categorias leve e pesada. A partir desta equação, pode-se estimar os valores de nível de potência sonora a partir de dados de velocidades médias para veículos leves e pesados, os quais podem ser aplicados em modelos de previsão de ruído de tráfego veicular em áreas urbanas, mais adaptados às condições dos veículos nacionais em condições de operação mais reais. Tais equações são apresentadas no Capítulo 4.

Simultaneamente à coleta das grandezas acústicas e de tráfego, coletou-se as grandezas meteorológicas. Os dados meteorológicos são os mesmos apresentados no item 3.2.4. As

temperaturas de bulbo seco e úmido foram obtidas pelo par psicrométrico no início e final de cada período de medição. A partir da média destas temperaturas, extraiu-se valores da umidade relativa. Os valores da velocidade do ar foram lidos a cada coleta de amostra. Locou-se a ventoinha do anemômetro voltada para a direção do vento predominante no local.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

#### 4.1 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DO RUÍDO DE TRÁFEGO VEICULAR

As tabelas 11, 12, 13, 14 e 15 reúnem os principais dados acústicos, de tráfego e meteorológicos coletados no levantamento de ruído de tráfego veicular nos pontos de medição de P1 à P5, respectivamente. As primeiras duas colunas das tabelas descrevem o período das coletas em termos do mês e hora das medições. Assim, os dados variam em cada linha das tabelas conforme os períodos de medição, sendo que para um mesmo horário são apresentados valores relativos aos meses de julho e outubro, respectivamente.

Os dados acústicos, ocupando as colunas 3, 4 e 5, referem-se aos níveis sonoros equivalente-contínuos,  $L_{Aeq,L,1h}$ , e os níveis percentis  $L_{A10,1h}$  e  $L_{A90,1h}$ . Em seguida estão dispostos os dados de tráfego, ou seja, o volume total de veículos por hora,  $Q_T$ , composição do tráfego,  $C$ , em termos de % de veículos pesados, velocidade média espacial dos veículos leves,  $V_L$ , velocidade média espacial dos veículos pesados,  $V_P$ , e velocidade média espacial de tráfego na via,  $V_M$ . Os dados meteorológicos são apresentados nas últimas 4 colunas, sendo representados pelas temperaturas do ar de bulbo seco,  $T_{BS}$ , e de bulbo úmido,  $T_{BU}$ , umidade relativa,  $U_R$ , e velocidade média do ar,  $v_a$ .

TABELA 11. Principais dados acústicos, de tráfego e meteorológicos em P1, na rua Padre Eustáquio

Data [mês]	Hora [h]	$L_{Aeq,1h}$ [dB(A)]	$L_{A10,1h}$ [dB(A)]	$L_{A90,1h}$ [dB(A)]	$Q_T$ [veic/h]	$C$ [%]	$V_L$ [Km/h]	$V_P$ [Km/h]	$V_M$ [Km/h]	$T_{BS}$ [°C]	$T_{BU}$ [°C]	$U_R$ [%]	$v_a$ [m/s]
Jul.	6-7	84,5	88,8	62,0	296	60	44	33	39	15,9	12,6	69,9	0,5
Out.		81,3	85,5	58,5	446	40	48	32	40	23,1	18,1	63,0	0,4
Jul.	7-8	85,1	89,8	66,4	606	37	53	33	43	17,6	13,3	63,2	0,5
Out.		84,3	81,5	66,5	620	32	38	23	31	22,1	18,3	70,6	0,3
Jul.	18-19	85,5	90,0	72,4	1204	22	34	19	27	23,0	16,1	65,4	0,5
Out.		83,1	87,5	68,0	1052	23	32	17	25	26,1	20,3	60,3	1,1
Jul.	19-20	84,6	89,2	70,3	1171	21	34	19	26	22,7	16,0	51,5	0,6
Out.		82,3	86,0	64,0	721	23	37	20	28	25,7	19,9	60,0	0,7
Jul.	21-22	80,6	83,2	61,4	602	19	42	28	35	21,2	15,5	56,5	0,6
Out.		80,1	83,5	61,5	486	18	46	20	33	25,1	19,7	60,0	1,3
Jul.	22-23	81,4	85,8	61,6	536	22	39	28	33	20,1	15,0	59,6	0,5
Out.		80,4	83,5	59,0	370	21	44	21	33	24,2	19,6	66,6	1,5

TABELA 12. Principais dados acústicos, de tráfego e meteorológicos em P2, na rua Três Pontas

Data [mês]	Hora [h]	L <sub>A eq,1h</sub> [dB(A)]	L <sub>A 10,1h</sub> [dB(A)]	L <sub>A 90,1h</sub> [dB(A)]	Q <sub>T</sub> [veic/h]	C [%]	V <sub>L</sub> [Km/h]	V <sub>P</sub> [Km/h]	V <sub>M</sub> [Km/h]	T <sub>BS</sub> [°C]	T <sub>BU</sub> [°C]	U <sub>R</sub> [%]	v <sub>a</sub> [m/s]
Jul.	6-7	76,7	81,7	56,8	285	66	-	-	21	16,0	14,1	82,3	0,6
Out.		73,3	77,0	54,0	348	49	36	26	31	22,0	18,5	72,7	0,6
Jul.	7-8	76,3	80,7	63,75	609	39	-	-	21	17,0	14,5	77,6	0,7
Out.		75,5	79,0	61,5	723	31	34	25	29	22,5	18,7	70,9	0,5
Jul.	18-19	76,7	80,2	59,4	444	44	29	20	24	22,1	16,1	55,4	0,6
Out.		74,1	77,5	57,5	440	38	74	46	60	25,7	19,6	58,2	0,7
Jul.	19-20	76,5	80,0	57,3	387	45	38	26	32	21,2	15,6	57,2	0,6
Out.		75,5	78,0	66,0	361	40	57	49	53	23,7	19,0	65,5	1,0
Jul.	21-22	73,5	77,1	52,6	235	48	27	19	23	19,3	14,7	62,5	0,6
Out.		74,0	77,0	63,0	267	42	38	35	36	21,1	18,0	68,5	0,6
Jul.	22-23	71,8	77,1	52,6	216	48	27	19	23	18,5	14,5	66,4	0,5
Out.		71,7	75,0	52,0	250	36	48	37	40	21,2	17,4	70,0	0,6

TABELA 13. Principais dados acústicos, de tráfego e meteorológicos em P3, na rua Padre Eustáquio

Data [mês]	Hora [h]	L <sub>A eq,1h</sub> [dB(A)]	L <sub>A 10,1h</sub> [dB(A)]	L <sub>A 90,1h</sub> [dB(A)]	Q <sub>T</sub> [veic/h]	C [%]	V <sub>L</sub> [Km/h]	V <sub>P</sub> [Km/h]	V <sub>M</sub> [Km/h]	T <sub>BS</sub> [°C]	T <sub>BU</sub> [°C]	U <sub>R</sub> [%]	v <sub>a</sub> [m/s]
Jul.	6-7	79,1	82,1	59,0	451	47	48	33	40	16,7	13,5	71,4	1,1
Out.		77,1	81,0	57,5	454	38	42	45	44	20,1	16,2	68,5	1,0
Jul.	7-8	81,4	84,5	63,8	904	34	33	29	31	18,4	14,0	63,2	0,9
Out.		79,0	82,5	62,5	864	26	35	33	34	20,4	16,5	68,7	1,0
Jul.	18-19	80,5	84,2	69,7	1485	16	25	22	24	25,3	15,9	38,7	1,0
Out.		80,3	84,0	67,5	1479	18	33	25	29	25,5	18,4	52,0	1,2
Jul.	19-20	80,8	84,6	67,3	1239	18	35	14	24	24,5	15,9	42,2	0,9
Out.		79,3	83,0	65,5	1354	15	35	14	25	23,8	17,6	55,9	1,0
Jul.	21-22	75,4	78,3	60,8	789	15	44	32	38	22,1	15,1	48,9	1,1
Out.		77,7	80,5	62,0	899	15	33	31	32	22,3	17,1	61,0	1,1
Jul.	22-23	78,4	83,1	61,9	733	15	42	32	37	20,7	14,7	53,9	1,2
Out.		78,1	81,0	62,5	862	13	35	30	31	22,0	17,0	62,1	1,1

TABELA 14. Principais dados acústicos, de tráfego e meteorológicos em P4, na avenida Dom Pedro II

Data [mês]	Hora [h]	L <sub>A eq,1h</sub> [dB(A)]	L <sub>A 10,1h</sub> [dB(A)]	L <sub>A 90,1h</sub> [dB(A)]	Q <sub>T</sub> [veic/h]	C [%]	V <sub>L</sub> [Km/h]	V <sub>P</sub> [Km/h]	V <sub>M</sub> [Km/h]	T <sub>BS</sub> [°C]	T <sub>BU</sub> [°C]	U <sub>R</sub> [%]	v <sub>a</sub> [m/s]
Jul.	6-7	77,4	80,1	61,9	886	16	46	35	41	13,5	10,5	70,5	0,5
Out.		75,3	78,5	61,0	1167	14	42	39	41	19,9	15,9	73,9	0,6
Jul.	7-8	78,2	81,0	68,5	1776	8	44	27	35	14,9	11,3	66,4	0,5
Out.		77,5	80,5	68,0	2052	9	38	34	36	19,8	16,1	69,8	0,8
Jul.	18-19	76,4	80,2	65,1	1879	7	50	35	43	23	15,2	45,0	0,8
Out.		76,0	78,5	68,5	2468	7	25	22	24	27,2	18,9	47	0,8
Jul.	19-20	77,3	80,5	63,8	1735	6	70	32	51	22,1	14,9	47,6	0,9
Out.		75,5	78,0	66,0	2058	6	35	14	24	25,9	18,1	48,4	0,6
Jul.	21-22	76,1	77,6	62,8	1085	4	61	39	50	19,6	14,5	59,1	0,7
Out.		74,0	77,0	63,0	1311	5	44	32	38	22,6	17,5	62	1,1
Jul.	22-23	77,5	80,0	61,3	1046	5	61	37	49	19,5	14,2	57,6	0,7
Out.		73,7	77,0	62,5	1894	3	42	32	37	21,5	17,1	65,9	0,8

TABELA 15. Principais dados acústicos, de tráfego e meteorológicos em P5 na avenida Teresa Cristina

Data [mês]	Hora [h]	$L_{A\text{ eq},1h}$ [dB(A)]	$L_{A10,1h}$ [dB(A)]	$L_{A90,1h}$ [dB(A)]	$Q_T$ [veic/h]	C [%]	$V_L$ [Km/h]	$V_P$ [Km/h]	$V_M$ [Km/h]	$T_{BS}$ [°C]	$T_{BU}$ [°C]	$U_R$ [%]	$v_a$ [m/s]
Jul.	6-7	79,1	82,0	68,2	3271	15	42	31	31	16,1	12,4	66,7	2,8
Out.		75,6	79,0	61,5	2010	18	48	33	40	20,2	15,9	65,6	0,9
Jul.	7-8	79,1	83,3	72,0	4753	9	40	28	34	16,1	12,2	65,0	3,1
Out.		78,7	81,5	66,5	4314	10	33	29	31	21,0	16,7	66,2	1,2
Jul.	18-19	79,6	82,6	70,7	4652	7	54	43	49	18,5	11,5	44,2	2,8
Out.		79,5	81,5	69,5	4449	8	25	22	24	26,8	20,0	55,0	1,4
Jul.	19-20	78,0	80,5	71,1	3078	6	51	47	49	17,3	10,9	46,8	3,1
Out.		78,2	81,0	65,0	4550	24	35	14	24	26,1	19,9	57,9	1,6
Jul.	21-22	77,3	80,8	68,2	1959	8	66	55	60	16,4	10,7	50,8	2,0
Out.		76,4	79,5	62,0	2389	7	44	32	38	24,9	19,2	60,0	2,0
Jul.	22-23	77,5	80,2	63,5	1637	9	46	47	47	16,1	10,7	52,8	2,4
Out.		76,1	79,5	63,5	973	5	42	32	37	24,8	19,0	59,3	2,1

Destas tabelas, elaborou-se uma seqüência de figuras com gráficos referentes à variação dos dados acústicos, de tráfego e meteorológicos. As Figuras 10 e 11 referem-se aos meses de julho e outubro, respectivamente, para os pontos de medição P1, P2 e P3. As Figuras 12 e 13 referem-se ao mesmos meses, respectivamente, para dados coletados dos pontos P4 e P5.

Observando-se os gráficos de letra ( a ) das Figuras 10 e 11 , nota-se que entre os dados acústicos coletados, o percentil  $L_{A90,1h}$  apresentou maior variação entre os períodos de medição, acompanhando a variação do volume de tráfego, que pode ser observada nos gráficos de letra ( b ). A variação do valor do percentil  $L_{A90,1h}$  ( diferença entre os valores máximos e mínimos) durante a seqüência dos períodos de medição, foi da ordem de 10 dB(A) nos pontos P1, P2 e P3. Pelos gráficos de letras ( c ) e ( b ) das mesmas figuras, observa-se, ao final da tarde, uma diminuição da velocidade média dos veículos em fluxo em consequência do aumento do volume de tráfego no mesmo período. No caso dos dados meteorológicos, reunidos nos gráficos de letra ( d ) , nota-se que, com o aumento das diferenças entre as temperaturas de bulbo seco e úmido tendendo a um valor máximo no período de medição do final da tarde, há uma diminuição da umidade relativa, tendendo a um mínimo no mesmo período tanto no mês de julho como em outubro. A velocidade do ar apresentou uma variação menor em julho do que em outubro. Observou-se uma tendência da velocidade do ar aumentar no período noturno, porém no ponto P1, esta grandeza variou bastante no período do início da manhã, em relação aos demais pontos.

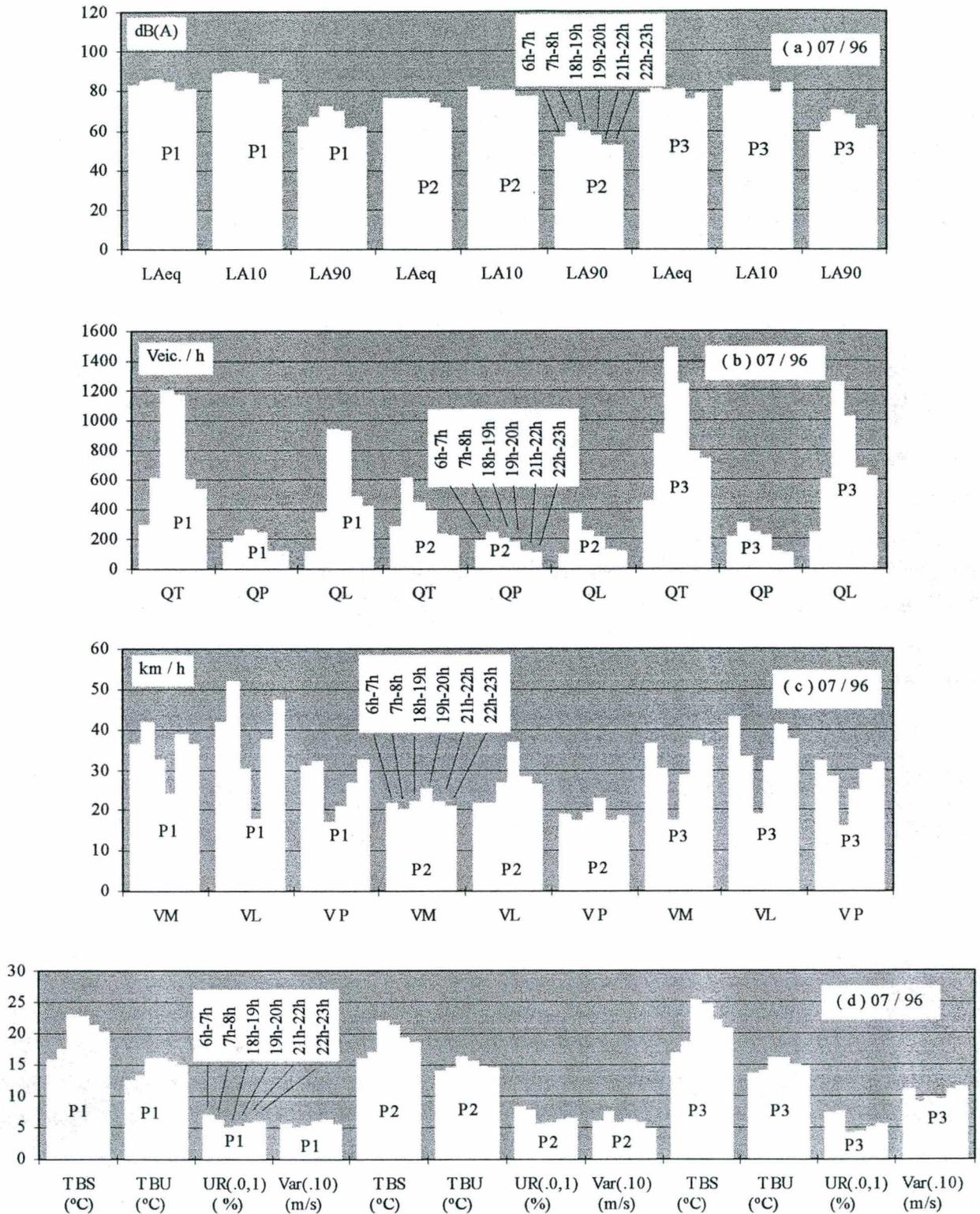


FIGURA 10 - Comportamento dos dados : ( a ) níveis de pressão sonora equivalente-continuos, décimos e nonagésimos percentis dos níveis de pressão sonora; ( b ) volume de veículos; ( c ) velocidade média; ( d ) temperaturas de bulbo seco e úmido, umidade relativa e velocidade do ar. Coleta em 07/96, nos pontos P1, P2 e P3.

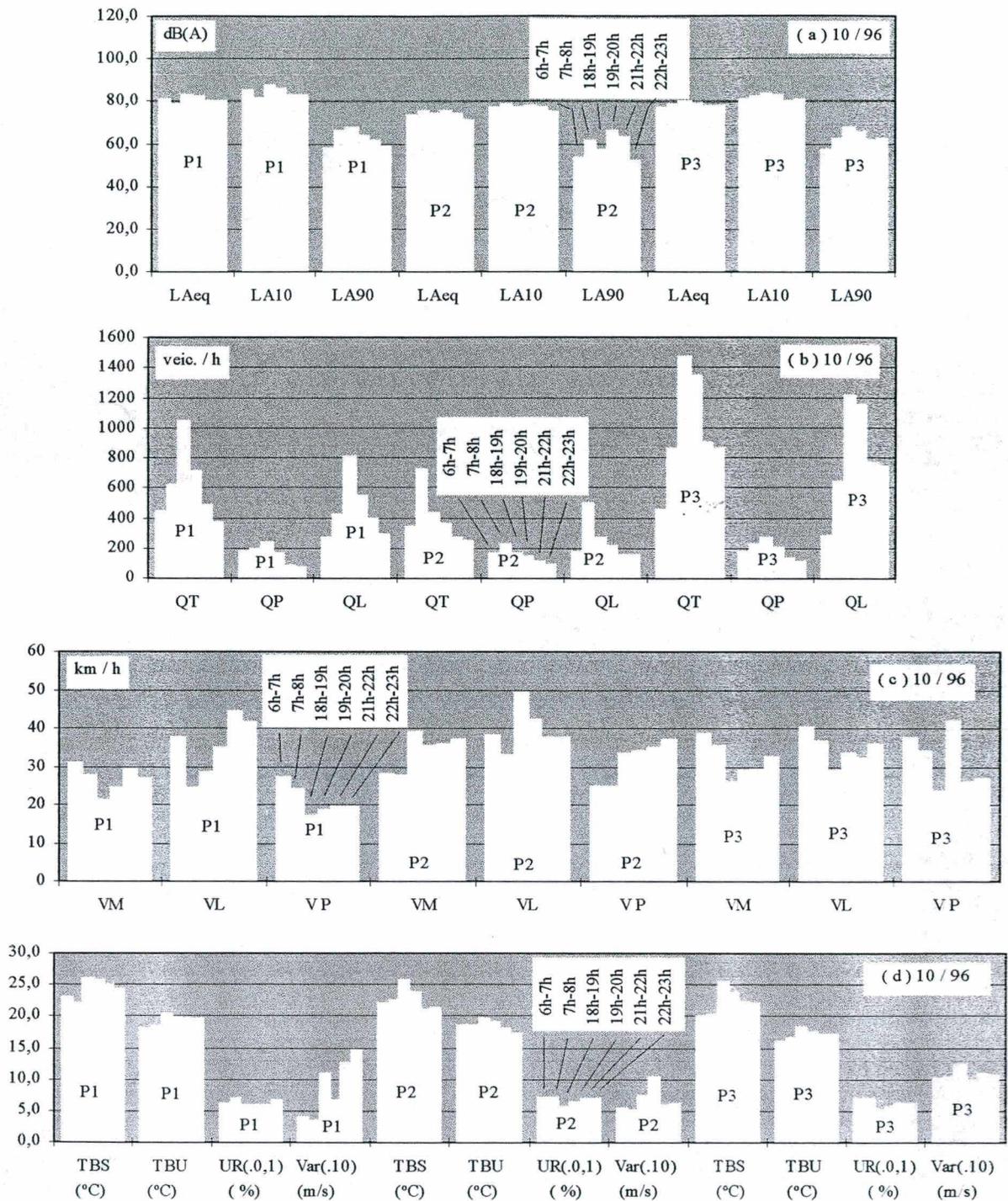


FIGURA 11 - Comportamento dos dados : ( a ) níveis de pressão sonora equivalente-contínuos, décimos e nonagésimos percentis dos níveis de pressão sonora; ( b ) volume de veículos; ( c ) velocidade média; ( d ) temperaturas de bulbo seco e úmido, umidade relativa e velocidade do ar. Coleta em 10/96, nos pontos P1, P2 e P3.

Observando-se os gráficos de letra ( a ) das Figuras 12 e 13 , nota-se que, entre os dados acústicos coletados, o percentil  $L_{A90,1h}$  ainda foi aquele que apresentou maior variação entre os períodos de medição, correspondendo, de forma semelhante, à variação do volume de tráfego, que pode ser observada nos gráficos de letra ( b ) das referidas figuras. Porém a variação do  $L_{A90,1h}$  foi um pouco menor nos pontos P4 e P5 do que em relação aos pontos P1, P2 e P3. Esta variação foi da ordem de grandeza de 8 dB(A). Com o aumento do volume de tráfego no final da tarde, também observou-se uma diminuição da velocidade média dos veículos em fluxo, o que pode ser verificado pelos gráficos de letra ( c ) e ( b ).

Pelos gráficos de letra ( b ) das figuras 4.1 e 4.2, verifica-se, ainda, uma diferença significativa na composição do tráfego entre as avenidas Dom Pedro II e Teresa Cristina, que contém os pontos de medição P4 e P5, em relação à ruas Padre Eustáquio e Três Pontas, que contém os pontos P1, P2 e P3. A percentagem de veículos pesados é bem inferior nas avenidas. Observando-se as Tabelas 11, 12, 13 e 14 e 15, enquanto as ruas Padre Eustáquio e Três Pontas apresentaram percentagens de veículos pesados nos intervalos [13%,60%] e [31%,66%], respectivamente, nas avenidas Dom Pedro II e Teresa Cristina as percentagens estiveram nos respectivos intervalos de [3%,16%] e [5%,24%]. Tais diferenças de percentagens entre estas ruas e avenidas consiste num dos fatores que podem justificar a fato dos valores do  $L_{Aeq,L1h}$  e  $L_{A10,L1h}$  estarem no mínimo na mesma ordem de grandeza tanto nas ruas Padre Eustáquio e Três Pontas, como nas avenidas Dom Pedro II e Teresa Cristina.

De maneira similar ao verificado nas Figuras 10 e 11, os gráficos de letra ( d ) das Figuras 12 e 13 evidenciam que, com o aumento das diferenças entre as temperaturas de bulbo seco e úmido em direção a um valor máximo no período de medição do final da tarde, há uma diminuição da umidade relativa, tendendo a um mínimo no mesmo período tanto no mês de julho como em outubro. A velocidade do ar apresentou-se em torno de 0,5 m/s para o mês de julho em todos os pontos de medição. No mês de outubro houve maior variação do valor da velocidade do ar, sendo que esta tendeu a aumentar durante o período noturno chegando a valores em torno de 2m/s.

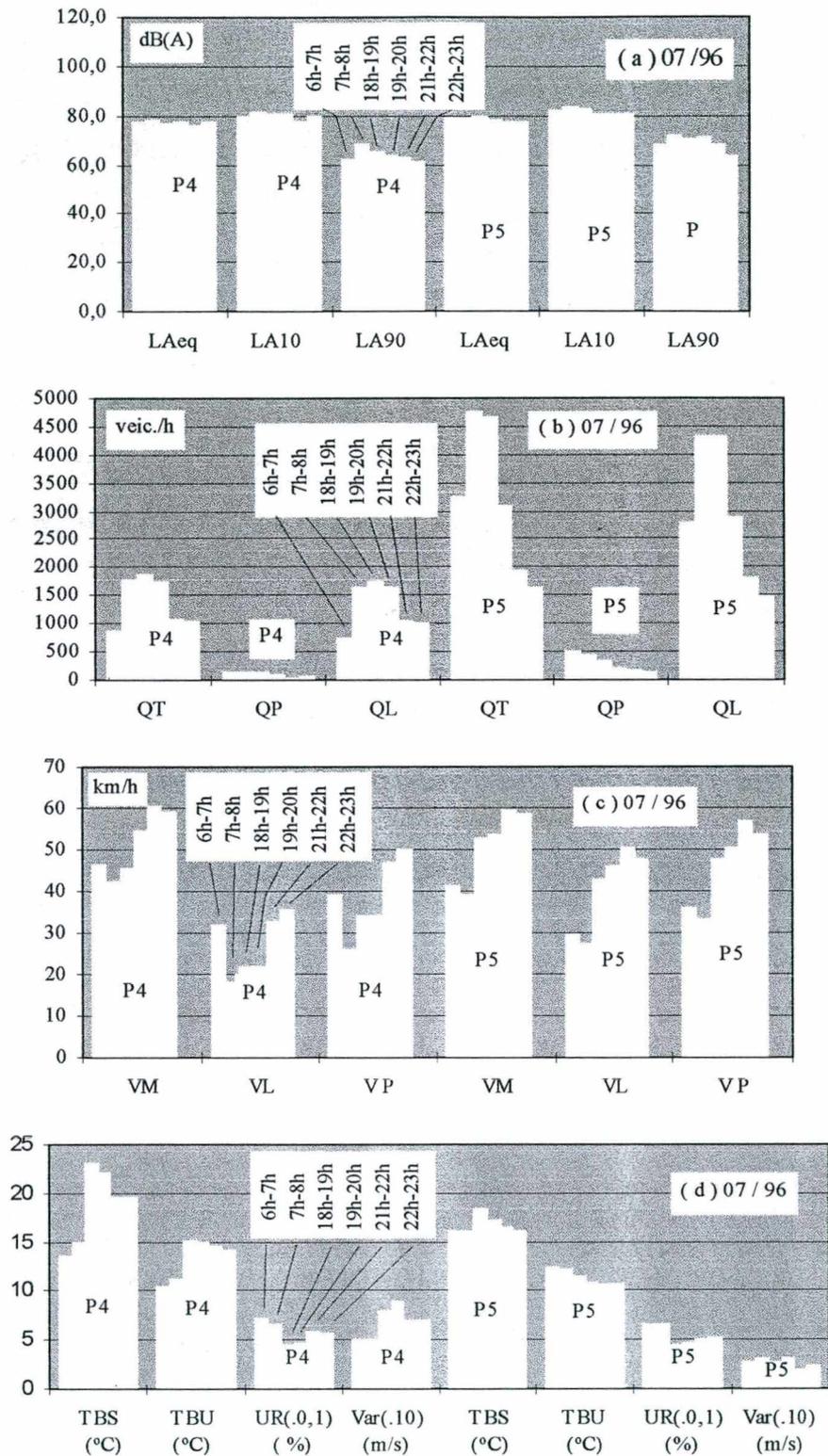


FIGURA 12 - Comportamento dos dados : ( a ) níveis de pressão sonora equivalente-contínuos, décimos e nonagésimos percentis dos níveis de pressão sonora; ( b ) volume de veículos; ( c ) velocidade média; ( d ) temperaturas de bulbo seco e úmido, umidade relativa e velocidade do ar. Coleta em 07/96, nos pontos P4 e P5.

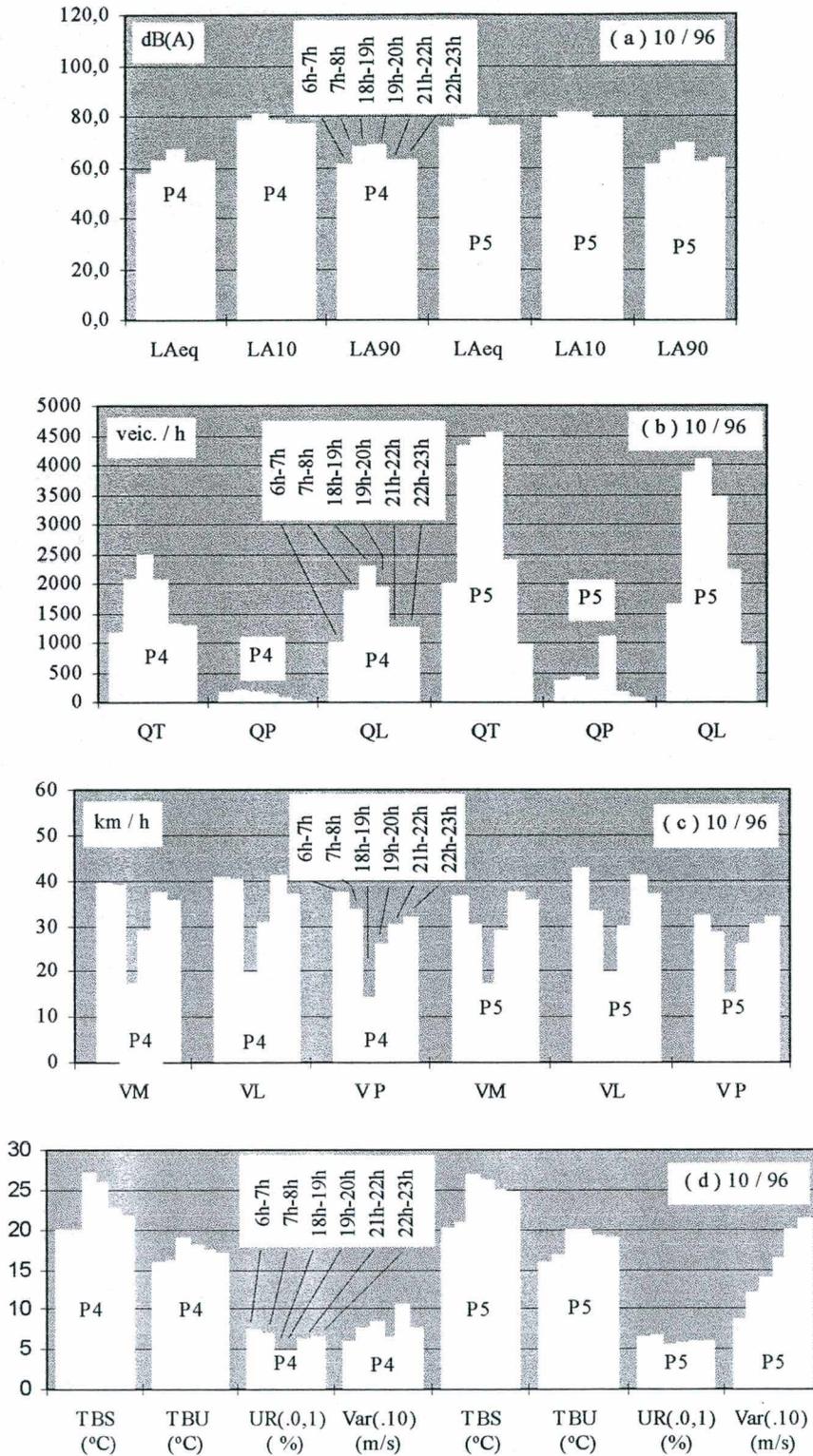


FIGURA 13 - Comportamento dos dados : ( a ) níveis de pressão sonora equivalente-contínuos, décimos e nonagésimos percentis dos níveis de pressão sonora; ( b ) de volume de veículos; ( c ) de velocidade média; ( d ) temperaturas de bulbo seco e úmido, umidade relativa e velocidade do ar. Coleta em 10/96, nos pontos P4 e P5.

A Tabela 16 reúne os principais dados geométricos relativos aos pontos de medição e ao ambiente construído onde se inserem. São apresentados os valores de largura da via,  $L_V$ , largura dos passeios,  $L_P$ , Largura do elemento central de separação dos sentidos das pistas, quando presente,  $L_C$ , altura de muretas de proteção no elemento central, quando houver,  $h_M$ , declividade da via,  $D$ , altura média das edificações que margeiam as vias nas proximidades do ponto de medição,  $h_E$ , distância entre as fachadas dessas edificações,  $d_E$ , altura do ponto de medição,  $h_P$ , e suas distâncias à fachada mais próxima e à via,  $d_F$  e  $d_V$ , respectivamente. A Figura 14 ilustra cada uma destas grandezas geométricas.

TABELA 16 Grandezas geométricas nos pontos de medição

Pontos de Medição	$L_V$ [m]	$L_P$ [m]	$L_C$ [m]	$h_M$ [m]	$D$ [%]	$h_E$ [m]	$d_E$ [m]	$h_E / d_E$ [ad.]	$h_P$ [m]	$d_F$ [m]	$d_V$ [m]
P1	9,0	1,5	-	-	6,6	7,0	14,0	0,5	1,2	1,0	0,5
P2	7,0	1,5	-	-	-9,4	3,5	10,0	0,35	1,2	1,0	0,5
P3	9,0	1,5	-	-	-2,7	6,0	12 *	0,5	1,2	1,0	0,5
P4	19,0	3,0	1,0	-	0,9 **	4,0	30,0	0,13	1,2	2,5	0,5
P5	36,0	3,0	16,0	1,0	0,45 ***	7,0	54,0	0,13	1,2	12,0	0,5

\* ao muro frontal; \*\* aclave sentido centro bairro; \*\*\* declive sentido bairro centro

Relacionando os dados acústicos apresentados nas Tabelas 11, 12, 13, 14 e 15 com os dados geométricos da Tabela 16, torna-se evidente a influência da declividade da via, largura da via, distância entre as edificações, altura média das edificações nos valores do  $L_{Aeq,L1h}$  e  $L_{A10,L1h}$  medidos.

No trecho da rua Padre Eustáquio que contém o ponto P1 de medição, verificou-se os maiores valores de  $L_{Aeq,L1h}$  e  $L_{A10,L1h}$ , embora com menor volume de tráfego se comparado com as avenidas. No mês de julho, por exemplo, no horário entre 18h e 19h, no ponto P1 de medição registrou-se um valor de  $L_{Aeq,L1h}$  de 85,5 dB(A) e um valor de  $L_{A10,L1h}$  de 90 dB(A) para um volume de tráfego total  $Q_T$  de 1.204 veíc. / h. Para o mesmo mês e período de medição foi registrado no ponto P5, na avenida Teresa Cristina, valores de  $L_{Aeq,L1h}$  e  $L_{A10,L1h}$  de 6 dB(A) e 7 dB(A) abaixo dos valores observados no ponto P1, respectivamente, com um volume de tráfego 3,7 vezes superior. Neste exemplo temos duas situações contrastantes. O trecho da rua Padre Eustáquio consiste naquele de maior declividade em aclave, de menor largura de passeios e de maior valor na relação  $h_E / d_E$ . Na avenida Teresa Cristina, tem-se um trecho praticamente em nível, com a menor declividade, maior largura de passeios e menor valor na relação  $h_E / d_E$ . Quanto maior a relação  $h_E / d_E$ , maior a possibilidade de influência das reflexões sonoras entre as fachadas no nível de ruído medido às margens da via.

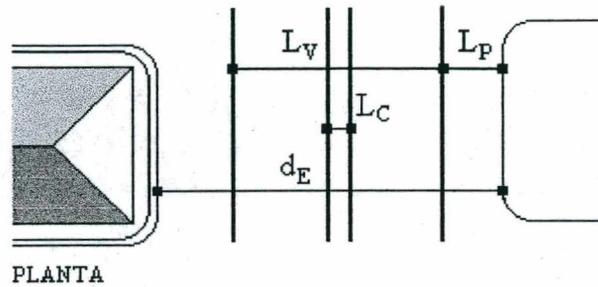


Figura 14.a

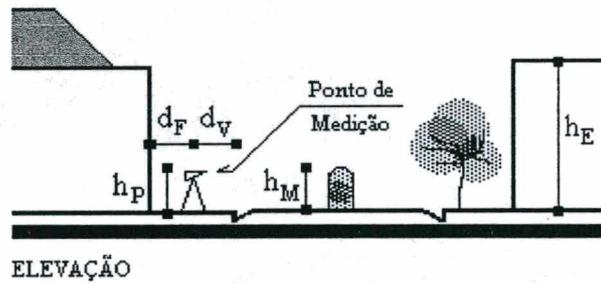


Figura 14.b

FIGURA 14 - Localização espacial das grandezas geométricas no ambiente construído. Na Fig.14 ( a ) são ilustradas as larguras da via, dos passeios, do canteiro central e a distância entre as edificações. Na Fig.14 ( b ) são ilustradas a localização do ponto de medição para coleta das grandezas acústicas, alturas do canteiro central e das edificações.

Tais observações da influência das grandezas geométricas no nível de ruído às margens dos corredores de transporte urbano são importantes para orientar o processo de planejamento urbano, mais especificamente no dimensionamento do sistema viário a ser proposto, seja nas atividades de parcelamento do solo urbano, seja nas atividades redefinição da geometria dos corredores e da ocupação do solo lindeira a eles. No item 4.3, será testado um modelo de estimativa do nível de ruído de tráfego veicular em áreas urbanas, proposto por [JRAIW, 1987], onde as grandezas geométricas estão entre as variáveis independentes consideradas.

#### 4.1.1 Considerações em Relação à Lei Municipal no. 4.253 de 04/12/85

É possível avaliar o nível de conforto dos transeuntes e usuários dos usos do solo lindeiros às vias pesquisadas em Belo Horizonte, observando-se [PBH,1993] e [ABNT, 1987 : NBR-10.151].

Os valores de  $L_{Aeq,1h}$  ilustrados nos gráficos de letra ( a ) das Figuras 10, 11, 12 e 13 foram comparados com os níveis sonoros máximos preconizados pela Lei Municipal no. 4.253 de 04/12/85 e estão reunidos nas Figuras 15, 16, 17 Em relação aos pontos de medição P1, P2 e P3, devido ao fato de se situarem em mesma zona de uso do solo caracterizada por Zona Comercial 1 [PBH, 1985], os valores de  $L_{A q,1h}$  medidos foram comparados com os níveis máximos de 65 dB(A), 60 dB(A) e 55 dB(A) para os períodos diurno (7h-19h), vespertino (19h-22h) e noturno (22h-7h), respectivamente. No caso dos pontos de medição P4 e P5, devido ao fato de se situarem em zona de uso do solo caracterizada por Zona Comercial 3 [PBH, 1985], os valores de  $L_{Aeq,1h}$  medidos foram comparados com os níveis máximos de 70 dB(A) para os períodos diurno e 60 dB(A) para os demais períodos.

Para o mês de julho, tais valores relativos aos pontos P1, P2 e P3 da área estudada excederam os recomendados em , no mínimo, 11,3 dB(A) e , no máximo, 20,5 dB(A) para o período diurno (7h-19h) ; 13,5 dB(A) no mínimo e 24,6 dB(A) no máximo para o período vespertino (19h-22); 16,8 dB(A) no mínimo e 29,5 dB(A) no máximo para o início e final do período noturno (22h-7h). Nesta situação, a resposta estimada da comunidade varia entre as categorias Média, Enérgicas até Muito Enérgicas que vão desde queixas generalizadas até possíveis ações comunitárias com ou sem vigor [ABNT, 1987 : NBR-10.151]. Para os pontos P4 e P5, observou-se que os valores de  $L_{A eq,1h}$  excederam os preconizados [PBH, 1993] em , no mínimo, 6,4 dB(A) e, no máximo, 9,6 dB(A) para período diurno; 16,1 dB(A) no mínimo e 17,9 dB(A) no máximo para o vespertino; 17,4 dB(A) no mínimo e 19,1 dB(A) no máximo para início e final do período noturno. A resposta estimada da comunidade varia em torno das categorias Pouca e Enérgicas até Muito Enérgicas que vão desde queixas esporádicas à transição entre ação comunitária com ou sem vigor [ABNT, 1987 : NBR-10.151].

Para o mês de outubro, tais valores relativos aos pontos P1, P2 e P3 da área estudada excedem os recomendados em , no mínimo, 9,1 dB(A) e , no máximo, 18,1 dB(A) para o período diurno (7h-19h) ; 14,0 dB(A) no mínimo e 22,3 dB(A) no máximo para o período

vespertino (19h-22); 16,7 dB(A) no mínimo e 26,3 dB(A) no máximo para início e final do período noturno (22h-7h).

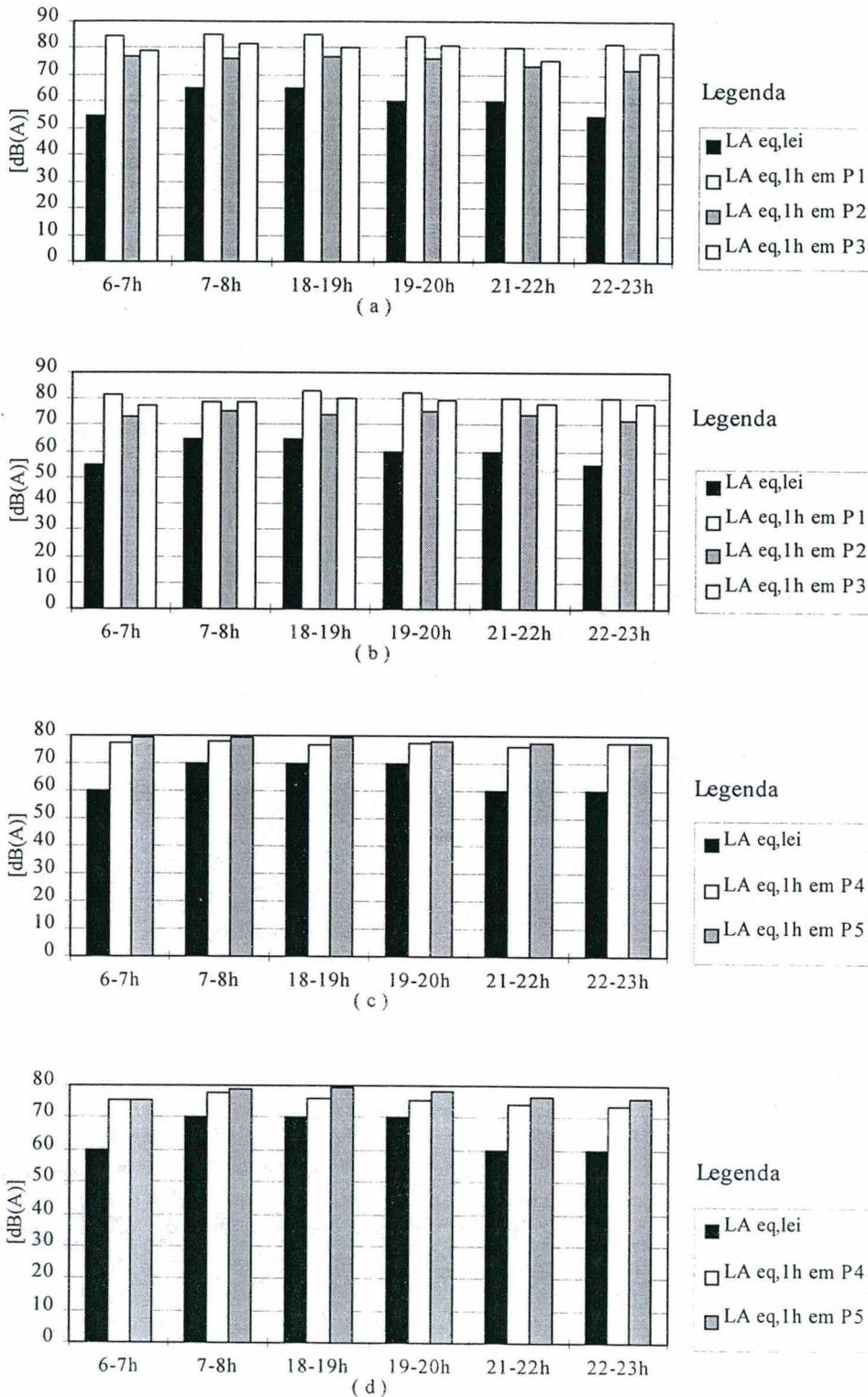


FIGURA 15 - Comparação entre o  $L_{Aeq,1h}$  medido e o  $L_{Aeq,Lei}$  preconizado pela Lei 4.253 de 04/12/85: (a) e (b) para os pontos P1, P2 e P3 nos meses de julho e outubro respectivamente; (c) e (d) para P4 e P5 em julho e outubro, respectivamente.

vespertino (19h-22); 16,7 dB(A) no mínimo e 26,3 dB(A) no máximo para início e final do período noturno (22h-7h). Nesta situação, a resposta estimada da comunidade varia entre as categorias Média , Enérgicas até Muito Enérgicas que vão desde queixas generalizadas até possíveis ações comunitárias com ou sem vigor [ABNT-NBR-10.151]. Para os pontos P4 e P5, observa-se que os valores de  $L_{A\text{ eq,1h}}$  excedem os preconizados [PBH, 1993] em , no mínimo, 6,0 dB(A) e, no máximo, 9,5 dB(A) para período diurno; 14,0 dB(A) no mínimo e 18,2 dB(A) no máximo para o vespertino; 13,7 dB(A) no mínimo e 16,1 dB(A) no máximo para o noturno. A resposta estimada da comunidade varia em torno das categorias Pouca e Enérgicas até Muito Enérgicas que vão desde queixas esporádicas à transição entre ação comunitária com ou sem vigor [ABNT, 1987 : NBR-10.151].

Pode-se, portanto, observar que , em 100% dos casos, os valores de  $L_{A\text{ eq,1h}}$  e consequentemente aqueles do percentil  $L_{A10,1h}$  estiveram superiores aos níveis sonoros preconizados em [PBH, 1993] e, em 67 % dos casos, a desigualdade  $L_{A90,1h} > L_{A\text{ eq,Lei}}$  foi verificada.

Analisando a Figura 16, observa-se que, nos pontos P1 e P3, os valores de  $L_{A10,1h}$  estiveram variando em torno de 80 dB(A) e 90 dB(A) para ambos os meses de julho e outubro. O ponto P2 apresentou valores de  $L_{A10,1h}$  variando no intervalo [75dB(A), 80 dB(A)] para ambos os meses de medição.

Pode-se observar, também, que, de uma maneira geral, até os valores do percentil  $L_{A90,1h}$  estiveram bem próximo dos níveis sonoros máximos permitidos em termos do  $L_{A\text{ eq,Lei}}$  . No ponto P1 os valores de  $L_{A90,1h}$  estiveram sempre superiores aos do  $L_{A\text{ eq,Lei}}$  , excedendo-os num intervalo de valores de cerca de 1 dB(A) até 10 dB(A) em julho, nos horários de 7-8h e 19h-20h respectivamente. Em outubro estas diferenças estiveram no interior do mesmo intervalo anterior, porém apresentando uma variação menor. No ponto P3, os valores de  $L_{A90,1h}$  estiveram superiores aos do  $L_{A\text{ eq,Lei}}$  em 83% dos casos. No ponto P2, em 75% dos casos, observou-se a desigualdade  $L_{A90,1h} \leq L_{A\text{ eq,Lei}}$  , com diferenças máximas da ordem de 8 dB(A).

Pela Figura 17, nos pontos P4 e P5, os valores de  $L_{A10,1h}$  estiveram em torno de 80 dB(A), excedendo os valores de  $L_{A\text{ eq,Lei}}$  em cerca de 10 dB(A) até 20 dB(A) em ambos os meses de medição. No ponto P4, em 50% dos casos, a desigualdade  $L_{A90,1h} > L_{A\text{ eq,Lei}}$  foi verificada em ambos os meses. No ponto P5 isto ocorre apenas no mês de outubro. No mês de julho tem-se que a desigualdade  $L_{A90,1h} > L_{A\text{ eq,Lei}}$  foi sempre verificada, porém com diferenças inferiores às encontradas em P1.

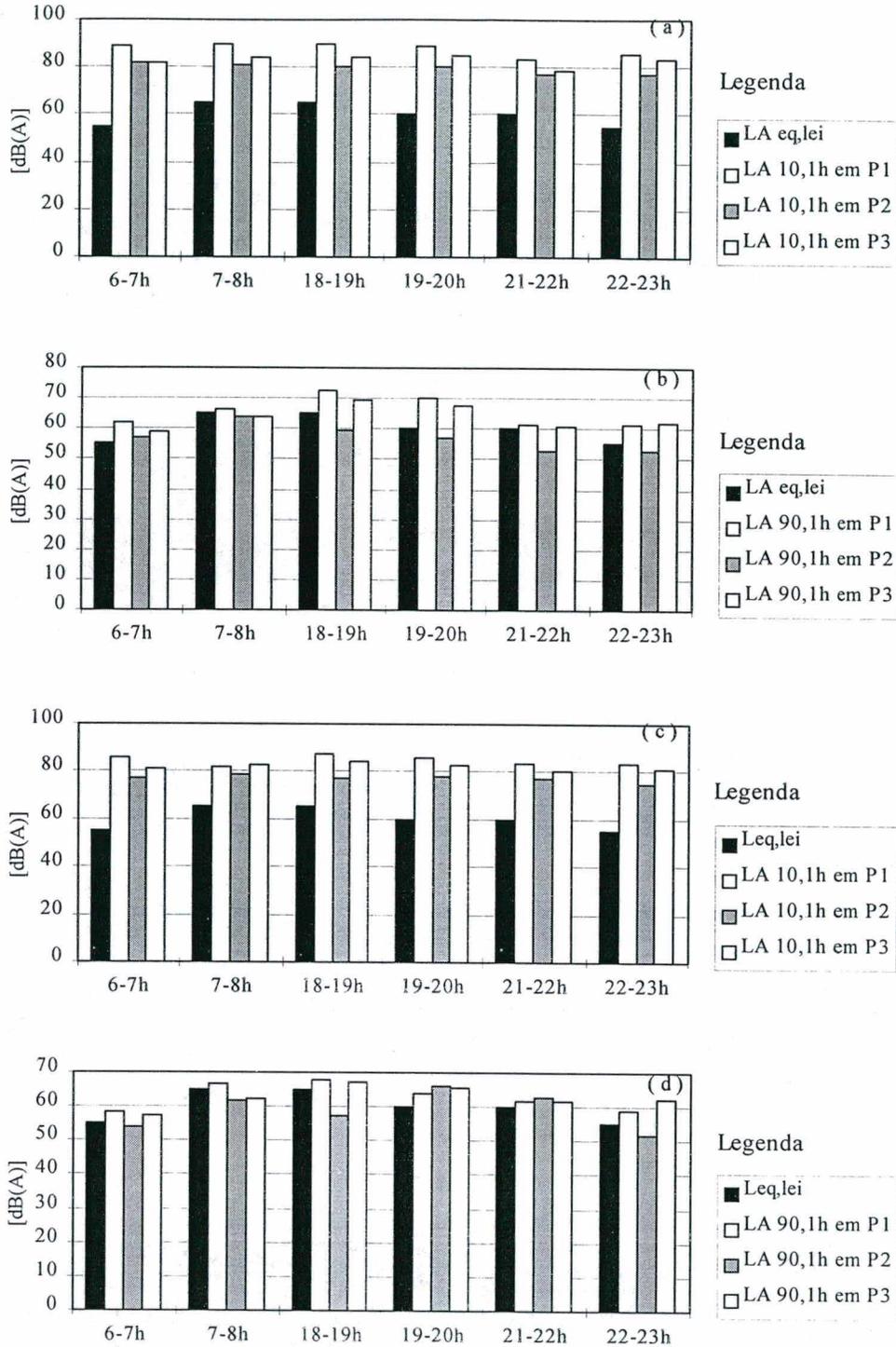


FIGURA 16 - Comparação entre o  $L_{A 10,1h}$  e o  $L_{A 90,1h}$  com o  $L_{A eq,Lei}$  preconizado pela Lei 4.253 de 04/12/85: ( a ) e ( b ) para os pontos P1, P2 e P3 nos meses de julho e outubro respectivamente; ( c ) e ( d ) para P1, P2 e P3 em julho e outubro, respectivamente

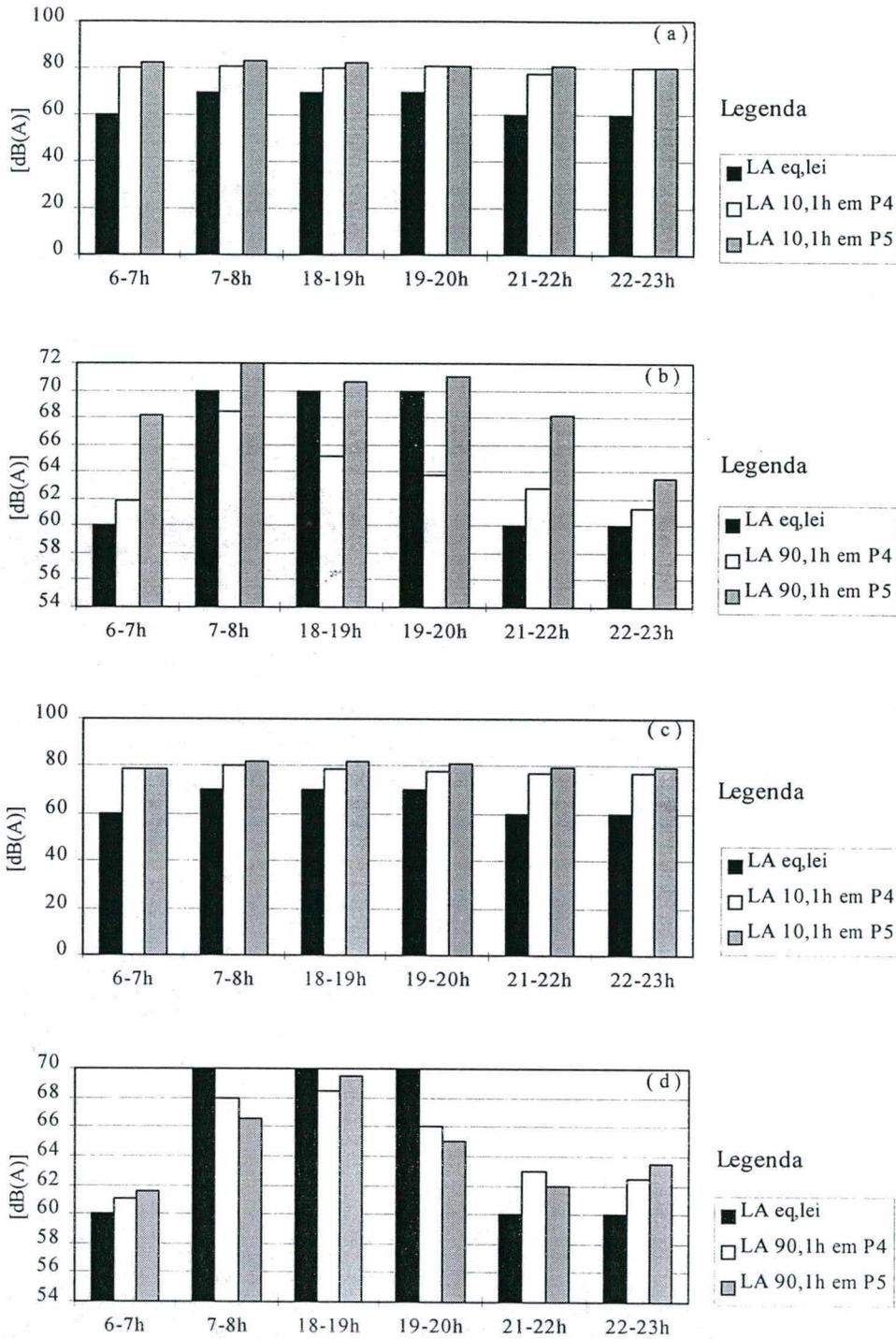


FIGURA 17 - Comparação entre o  $L_{A 10,1h}$  e o  $L_{A 90,1h}$  com o  $L_{A eq,Lei}$  preconizado pela Lei 4.253 de 04/12/85: (a) e (b) para os pontos P4 e P5 nos meses de julho e outubro respectivamente; (c) e (d) para P4 e P5 em julho e outubro, respectivamente.

Complementando as informações apresentadas relativas aos dados acústicos, a seqüência de tabelas a seguir apresenta os valores máximos e mínimos dos níveis de pressão sonora, NPS, nos períodos de medição, além de estimativas da qualidade acústica nas imediações em que se situam os pontos de coleta dos dados. Tal estimativa foi realizada através do índice de ruído de tráfego, TNI, e do nível de exposição sonora  $L_{EP,d}$ . Cada tabela refere-se aos pontos de medição de P1 à P5 respectivamente.

Em termos do TNI, considerando que um valor desejável está em torno de 74 TNI [LANGDON, 1975 : em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p.54], todos os ponto de medição apresentaram valores superiores aos desejáveis. Em P1, os valores do incômodo excederam, no mínimo, 22,5 pontos na escala TNI e, no máximo 65,5 pontos. Em P2,

TABELA 17. Incômodo, exposição sonora e extremos de NPS em P1

Data [mês]	Hora [h]	Incômodo TNI	$L_{EP,d}$ [dB(A)]	MaxL [dB(A)]	MinL [dB(A)]
Jul.	6-7	139,3	75,2*	103*	49,1*
Out.		136,5	72,3*	103,7*	44,2*
Jul.	7-8	130,0	-	-	-
Out.		96,5	-	-	-
Jul.	18-19	112,9	76,7*	103,8*	53*
Out.		116,0	74,1	98,0	53,6
Jul.	19-20	115,9	-	-	-
Out.		122,0	73,3	106,2	50,1
Jul.	21-22	118,6	73,2*	98,7*	48*
Out.		119,5	71,1	101,5	48,1
Jul.	22-23	128,4	-	-	-
Out.		127,0	71,4	100,1	46,9

\* valores referentes a períodos de 2horas ininterruptos

TABELA 18. Incômodo, exposição sonora e extremos de NPS em P2

Data [mês]	Hora [h]	Incômodo TNI	$L_{EP,d}$ [dB(A)]	MaxL [dB(A)]	MinL [dB(A)]
Jul.	6-7	126,6	69*	102,3*	47,9*
Out.		116,0	64,3	93,9	47,2
Jul.	7-8	101,4	-	-	-
Out.		101,5	66,5	97,3	52,6
Jul.	18-19	112,8	67,6*	95,4*	49,5*
Out.		107,5	65,1	98,5	51,4
Jul.	19-20	118,1	-	-	-
Out.		84,0	66,5	93,1	53,4
Jul.	21-22	120,6	64,5*	92*	45,4*
Out.		89,0	65	91	53,4
Jul.	22-23	120,6	-	-	-
Out.		114,0	62,7	91,6	47,7

\* valores referentes a períodos de 2horas ininterruptos

TABELA 19. Incômodo, exposição sonora e extremos de NPS em P3

Data [mês]	Hora [h]	Incômodo TNI	L <sub>EPd</sub> [dB(A)]	MaxL [dB(A)]	MinL [dB(A)]
Jul.	6-7	121,5	72,3*	105,7*	50,6*
Out.		121,5	68,1	97,5	48,4
Jul.	7-8	116,6	-	-	-
Out.		112,5	70	96,1	53,1
Jul.	18-19	97,83	73,5*	105,7*	55,5*
Out.		103,5	71,3	104,8	53,7
Jul.	19-20	106,4	-	-	-
Out.		105,5	70,3	95,8	55,7
Jul.	21-22	101	70,5*	95,6*	52,3*
Out.		106	68,7	96,9	53,5
Jul.	22-23	116,8	-	-	-
Out.		106,5	69,1	94,9	53,4

\* valores referentes a períodos de 2horas ininterruptos

TABELA 20 Incômodo, exposição sonora e extremos de NPS em P4

Data [mês]	Hora [h]	Incômodo TNI	L <sub>EPd</sub> [dB(A)]	MaxL [dB(A)]	MinL [dB(A)]
Jul.	6-7	104,8	69*	93,4*	46,7*
Out.		101	66,3	91,9	48,6
Jul.	7-8	88,62	-	-	-
Out.		88	68,5	95,3	57
Jul.	18-19	95,53	69,3*	97*	53,6*
Out.		78,5	67	94,6	57,9
Jul.	19-20	100,8	-	-	-
Out.		84	66,5	93,1	53,4
Jul.	21-22	92,13	67,5*	98,2*	46,1*
Out.		89	65	91	53,4
Jul.	22-23	105,9	-	-	-
Out.		90,5	64,7	89,2	53,4

\* valores referentes a períodos de 2horas ininterruptos

TABELA Incômodo, exposição sonora e extremos de NPS em P5

Data [mês]	Hora [h]	Incômodo TNI	L <sub>EPd</sub> [dB(A)]	MaxL [dB(A)]	MinL [dB(A)]
Jul.	6-7	93,4	71,4*	99,2*	59,6*
Out.		101,5	66,6	96,8	51,5
Jul.	7-8	87,4	-	-	-
Out.		96,5	69,7	96,1	59,2
Jul.	18-19	88,4	71,2*	101,8*	61,7*
Out.		87,5	70,5	101,6	58,2
Jul.	19-20	78,8	-	-	-
Out.		99	69,2	96,6	56,7
Jul.	21-22	88,5	69,7*	92,7*	51,6*
Out.		102	67,4	92,6	55,7
Jul.	22-23	100,3	-	-	-
Out.		97,5	67,1	93,4	58,3

\* valores referentes a períodos de 2horas ininterruptos

os valores do incômodo excederam, no mínimo, 10 pontos e, no máximo 46,6 pontos na escala TNI. Em P3, os valores do incômodo excederam, no mínimo, 23,8 pontos e, no máximo 47,5 6 pontos na escala TNI. Já em P4, os valores do incômodo excederam, no mínimo, 4,5 pontos e, no máximo 31,9 pontos na escala TNI. Em P5, os valores do incômodo excederam, no mínimo, 4,4 pontos e, no máximo 28 pontos na escala TNI.

Na rua Padre Eustáquio, entre as vias estudadas, os transeuntes e usuários das edificações lindeiras à via estão sujeitos a um maior incomodo devido ao ruído proveniente do tráfego de veículos. Em seguida o tráfego na rua Três Pontas deve estar causando mais incômodo do que aquele presente nas avenidas Dom Pedro II e Teresa Cristina as quais apresentam os menores desvios mínimos e máximos dos valores de TNI em relação àquele desejável.

Em termos de  $L_{EP,d}$  verificou-se que houve uma exposição ao ruído de tráfego veicular no intervalo de 63 dB(A), à noite em P2, até 77 dB(A), no final na tarde em P1. O ponto P2, na rua Três Pontas apresentou os menores valores de  $L_{EP,d}$  sendo que os maiores foram encontrados no ponto P1, na rua Padre Eustáquio. Embora esta faixa de valores não apresenta riscos de lesão auditiva<sup>1</sup>, já são suficientes para exercerem influências nefastas na performance, comportamento social, e na saúde dos indivíduos expostos.

Em termos dos níveis máximos de pressão sonora registrados, estes variaram entre 89 dB(A) e 106 dB(A) , sendo o menor valor ocorrido no ponto P4 no período noturno em outubro, e o maior no ponto P1 ao final do período vespertino também em outubro. Estes valores máximos representam, principalmente os ruídos emitidos por motocicletas e veículos com sistemas de exaustão desregulados.

No caso dos níveis mínimos de pressão sonora registrados, estes estiveram entre os valores de 44 dB(A) e 62 dB(A), sendo que o menor valor ocorreu em P1, no período de 6h-7h, em outubro, e o maior no ponto P5, no período de 18h-19h, em julho. Tais valores mínimos caracterizam os menores valores de ruído de fundo verificado durante o levantamento.

---

<sup>1</sup> Um nível diário de exposição pessoal até 85 dB(A) consiste no limite pela legislação trabalhista conforme [Portaria 3214/1978, em GERGES, 1992, p. 59]

#### 4.1.2 Correlações entre $L_{A10,1h}$ e $L_{Aeq,1h}$

Tendo em vista que o percentil  $L_{A10,T}$ , tem sido utilizado como um indicador do ruído de tráfego [BURGESS, 1978], e que tem sido também considerado, em certos países, como parâmetro de referência para uso do solo à margem de corredores de transporte [REYNOLDS, 1981], é útil poder relacioná-lo com o  $L_{Aeq,LT}$  que vem sendo adotado internacionalmente como a grandeza básica para descrever um determinado ambiente acústico, onde estão presentes sons de toda natureza, atuando individualmente ou em combinação [BRITISH STANDARD BS-7445, 1982]. LAMURE [1975, em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p.111], apresentou a equação (21) para estimar o valor de  $L_{10}$ , a partir do conhecimento dos valores de  $L_{eq}$ .

$$L_{10} = L_{eq} + 1,3\sigma - 0,11\sigma^2 \quad (21)$$

$L_{10}$ : nível acima do qual os demais níveis o excedem em 10% do tempo de observação, [dB]

$L_{eq}$ : nível sonoro equivalente contínuo no mesmo período de observação, [dB]

$\sigma$ : desvio padrão dos níveis no tempo de observação, [dB]

A equação (21) acima baseia-se na hipótese de que a distribuição estatística<sup>2</sup> dos níveis de ruído no período de tempo, corresponde à distribuição gaussiana, quando se está diante de condições de tráfego pesado e estável, sem interrupções no fluxo [LAMURE, 1975, em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p.103,104]. Como o valor do desvio padrão  $\sigma$  à margem da via varia em torno de 5 dB, sendo mais comum se encontrar valores de  $\sigma$  entre 3 e 4 dB, pode-se rescrever a equação (21), com  $\sigma = 3$  dB, como:

$$L_{10} = L_{eq} + 3 \quad (22)$$

Esta hipótese, porém, pode não ser muito consistente em vias onde o tráfego não se apresente nem muito pesado nem fluindo tão livremente, como é o caso usual das vias em áreas urbanas [BURGESS, 1978].

Baseando-se nos dados de ruído de tráfego veicular obtidos dos levantamentos realizados na área urbana selecionada para o desenvolvimento do presente trabalho, fez-se uma análise de

<sup>2</sup> Tal distribuição estatística a que se refere LAMURE [1975 em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p. 103], consiste na distribuição de frequência relativa acumulada.

regressão linear considerando as grandezas  $L_{A10,T}$  e  $L_{Aeq,LT}$  como variáveis dependentes e independentes, respectivamente. O resultado desta análise foi a equação (23) apresentada abaixo.

$$L_{A10,1h} = 0,9628 \cdot L_{Aeq,L1h} + 6,0924 \quad (23)$$

Na Figura 18, a equação (23) é graficamente apresentada sobre o diagrama de dispersão dos valores coletados de  $L_{A10,T}$  e  $L_{Aeq,LT}$ .

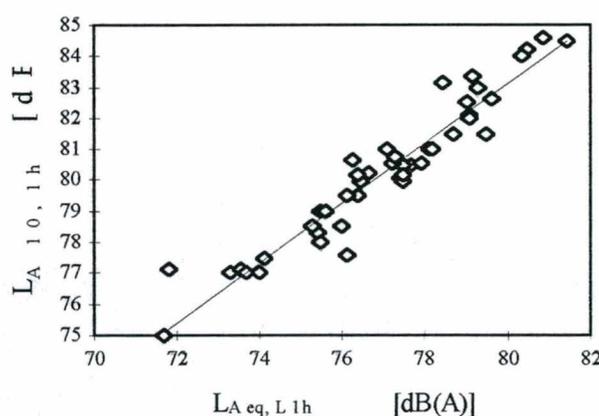


FIGURA 18 Dispersão e regressão linear para  $L_{A10,1h}$  como função de  $L_{Aeq,L1h}$ .

A linha de tendência oriunda da regressão linear apresentada na Figura 18 possui coeficiente de correlação de 0,96 e erro padrão de estimativa de 0,70 dB(A). A partir da verificação de que a média das diferenças entre todos os valores coletados de  $L_{A10,1h}$  e  $L_{Aeq,L1h}$  nos pontos de medição dentro dos períodos de coleta dos dados foi da ordem 3,4 dB(A), pode-se rescrever a equação (23) como:

$$L_{A10,1h} = L_{Aeq,L1h} + 3,4 \quad (24)$$

Estimando os valores de  $L_{A10,1h}$  a partir dos valores conhecidos de  $L_{Aeq,L1h}$  pela equação (24), foi verificado que o desvio padrão das diferenças entre os valores estimados e coletados de  $L_{A10,1h}$  é da ordem de 0,8 dB(A). Se a equação acima for simplificada para a equação (22) proposta por LAMURE [1975, em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p. 104] ela terá um mesmo desvio padrão das diferenças entre os valores estimados e coletados de  $L_{A10,1h}$ . Na Figura 19, a representação gráfica da equação (22) foi superposta ao diagrama de dispersão da Figura 18. As

linhas tracejadas representam uma tolerância de  $\pm 1,5$  dB(A), onde apenas dois pontos não são envolvidos. A Figura 20, na seqüência, apresenta a superposição dos gráficos das equações (22), (23) e (24).

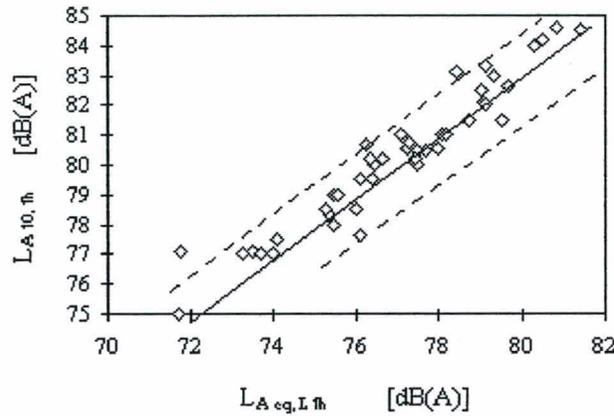


FIGURA 19 - Aplicação da equação (22) na área onde se realizou os levantamentos de ruído veicular em corredores de transporte urbano. As linhas tracejadas apresentam tolerância de  $\pm 1,5$  dB(A).

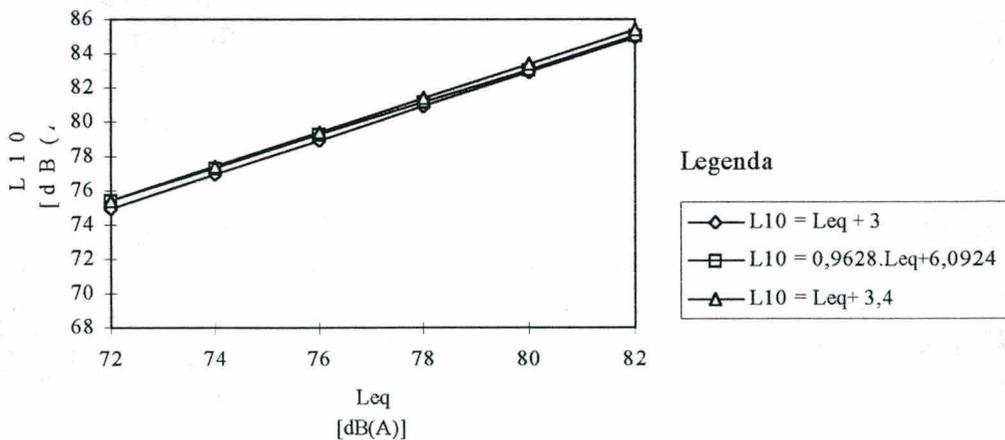


FIGURA 20 - Superposição dos gráficos das equações (22), (23) e (24).

A análise realizada nos parágrafos anteriores, baseou-se na análise similar desenvolvida por BURGESS [1978] a partir de dados de levantamento de ruído de tráfego na Região Metropolitana de Sidney, concluindo que a equação (22) pôde ser utilizada para estimar os

valores de  $L_{10}$  a partir dos valores de  $L_{eq}$ , com tolerância de  $\pm 1,0\text{dB(A)}$ , o que evidenciou que a distribuição dos níveis de ruído correspondeu à distribuição gaussiana.

A questão da distribuição estatística dos níveis sonoros e a validade da aplicação da equação (22) na área selecionada em Belo Horizonte, é concluída no item 4.1.3, partir da análise dos histogramas de distribuição de frequência relativa e das distribuições de frequência relativa acumulada nos pontos P1, P2, P3, P4 e P5 para todos os períodos das medições realizadas nos meses de julho e outubro.

#### 4.1.3 Distribuições de Frequência Relativa dos Níveis de Pressão Sonora

A seqüência de figuras a seguir referem-se às distribuições de frequência relativa dos níveis de pressão sonora nos pontos de medição conforme os períodos do levantamento do ruído veicular para os meses de julho e outubro em Belo Horizonte. O comportamento destas distribuições foi analisado segundo sua configuração, em termos de sua semelhança com os tipos usuais de curvas de frequência apresentados em textos de estatística [SPIEGEL, 1993]. Conforme será visto, destas configurações pode-se extrair informações quantitativas e qualitativas das condições do tráfego nos locais e períodos do levantamento.

A Tabela 22 propõe um agrupamento dos histogramas conforme o tipo de curva de distribuição de frequência. Em termos gerais, no ponto P1 verificou-se distribuições similares às curvas bimodais, multimodais, simétricas e assimétricas, com assimetria negativa. No ponto P2 e P3 as distribuições foram similares às curvas bimodais, curvas simétricas e moderadamente assimétrica, com assimetria positiva, sendo que o ponto P2 também registrou curvas do tipo multimodal. No ponto P4 observou-se distribuições do tipo bimodais, curvas simétricas e moderadamente assimétricas, com assimetrias negativas. No ponto P5 nota-se que as distribuições são do tipo bimodal, simétricas e levemente assimétrica, com assimetria negativa.

Distribuições bimodais conforme a letra ( a ) da Figura 21, onde o segundo máximo, da esquerda para a direita, é superior em relação ao primeiro, evidencia que há possibilidade de maior predominância de veículos pesados na composição do tráfego. Porém isto só se verificara quando, para uma determinada geometria da via, o primeiro máximo se situar num intervalo de classe cujo ponto médio apresente valor representativo do nível de ruído da categoria dos veículos leves, como é o caso deste exemplo. Segundo a Tabela 11 do item 4.1, pode-se verificar que 60% dos veículos que cruzaram o ponto P1 na rua Padre Eustáquio entre as 6h-7h

pertenciam à categoria de veículos pesados. Este fato se repete na letra ( b ) da Figura 23, relativa ao ponto P2. Devido ao fato de se tratar de um trecho em declive, contrastando com a situação do exemplo anterior que refere-se a uma trecho em aclave, observa-se uma diminuição nos níveis de pressão sonora que caracterizam as categorias de veículos leves e pesados. Assim os dois pontos de máximos estão deslocados mais para à esquerda no histograma do ponto P2, quando comparados com os respectivos máximos no histograma similar referente ao ponto P1.

TABELA 22 - Agrupamento dos Histogramas de Distribuição de Frequência Relativa

Tipos de Curva de Frequência	Configuração das Curvas	Agrupamento		
		Pontos	Figura (s)	Letra (s)
Simétrica		P1	22	( a ), ( c ), ( d ), ( e ), ( f );
		P2	23 e 24	( c ); ( a ), ( b ), ( d ), ( e );
		P3	25 e 26	( d ), ( e ); ( a ), ( b ), ( d ), ( e );
		P4	27 e 28	( c ); ( c ), ( d ), ( e ), ( f );
		P5	29 e 30	( b ), ( c ), ( d ); ( c ).
Assimétrica Positiva		P2	24	( c ), ( f );
		P3	25 e 26	( c ); ( c ), ( f ).
Assimétrica Negativa		P1	21	( c );
		P4	27 e 28	( b ), ( e ); ( a ), ( b );
		P5	29 e 30	( e ), ( f ); ( b ), ( f ).
Bimodal		P1	21 e 22	( a ), ( b ), ( d ), ( e ); ( b );
		P2	23	( a ), ( b ), ( d );
		P3	25	( a ), ( b ), ( f );
		P4	27	( a ), ( d ), ( f );
		P5	29 e 30	( a ); ( a ), ( d ), ( e ).
Multimodal		P1	21	( f );
		P2	23	( e ), ( f );

Para as distribuições tipo bimodal e multimodal com o primeiro máximo, da esquerda para direita, superior ao segundo, apresentando ponto médio do intervalo de classe com valores de nível de pressão sonora da ordem de grandeza do ruído de fundo do local para o período considerado, deve-se esperar que o ruído fluxo de tráfego seja mais incômodo, devido ao seu caráter mais intermitente, uma vez que este é mais contrastante com o ruído de fundo do local que predomina no período considerado. Como exemplo tem-se as letras ( d ) e ( a ) das Figuras 23 e 25 relativas ao ponto P2 e P3, respectivamente. No caso do ponto P2, nesta situação, depara-se com o terceiro maior valor do TNI, entre os doze valores calculados para este local

durante os períodos dos levantamentos. Para o ponto P3, tal situação coincide com o valor mais alto do TNI calculado. Conformações dos histogramas desta natureza são mais comuns de ocorrerem em situações onde há menor volume de tráfego.

A situação do parágrafo anterior para distribuição multimodal, ou seja, com três máximos, como o caso do ponto P2 na letra ( e ) e ( f ) da Figura 23 , pode ser ainda mais crítica pelo fato de que o terceiro ponto de máximo desta distribuição, da esquerda para a direita indicar a presença de veículos pesados, que será maior quanto menor for a diferença entre o segundo e terceiro máximos. Para estas situações verificou-se que ambas apresentam o segundo maior valor do TNI calculado para o ponto P2.

As distribuições similares às curvas de frequência moderadamente assimétricas, quando de assimetria positiva, podem evidenciar menor volume de veículos em fluxo com tendência de predominância do ruído de fundo. Quanto maior a assimetria, menor é o volume de tráfego presente. Nos pontos P2 e P3 , na letra ( f ) das Figuras 24 e 26 respectivamente, tem-se dois bons exemplos.

As distribuições similares às curvas de frequência moderadamente assimétricas, quando de assimetria negativa, podem indicar que, no período do levantamento, o local apresentou volume de tráfego expressivo, podendo haver presença significativa de veículos em tráfego. No caso do ponto P1, na letra ( c ) da Figura 21, observa-se que este tipo de curva ocorreu no período de maior volume de tráfego, no final da tarde. No caso do ponto P4 letra ( a ) da Figura 28, tal configuração da distribuição de frequência coincidiu com o período de maior volume de tráfego no início da manhã.

Distribuições similares às curvas de frequência simétricas são observadas no ponto P1, nas letras ( a ), ( c ), ( d ), ( e ) e ( f ) da Figura 22; nos pontos P2 e P3 nas letras ( a ), ( b ), ( d ) e ( e ) das Figuras 24 e 26 respectivamente; no ponto P4, na letra ( c ) da Figura 27 e nas letras ( c ), ( d ) ( e ) e ( f ) da Figura 20; e no ponto P5, nas letras ( b ), ( c ) e ( d ) da Figura 29. Pode-se observar que à medida que a seção da via aumenta estas distribuições simétricas tornam-se mais compactas, evidenciando condições de tráfego mais característicos de fluxo livre.

Considerando que as distribuições de frequência relativa apresentadas na seqüência de figuras deste item, são distribuições de probabilidade discreta, e que se estas distribuições forem convertidas em distribuições de probabilidade contínuas, pode-se verificar que todos os histogramas relacionados no parágrafo anterior, se aproximam da distribuição gaussiana. Neste momento, podemos retornar à questão colocada no item anterior a respeito da distribuição

Pela Tabela 16, pode-se observar que 37% das distribuições de frequência relativa dos níveis de pressão sonora podem ser considerados como uma distribuição gaussiana, sendo que esta distribuição não pode ser caracterizada como aquela de maior predominância. Assim, o uso da equação (22) para estimativa do  $L_{A10,T}$  como função do  $L_{Aeq,LT}$ , deve ser utilizada com critério.

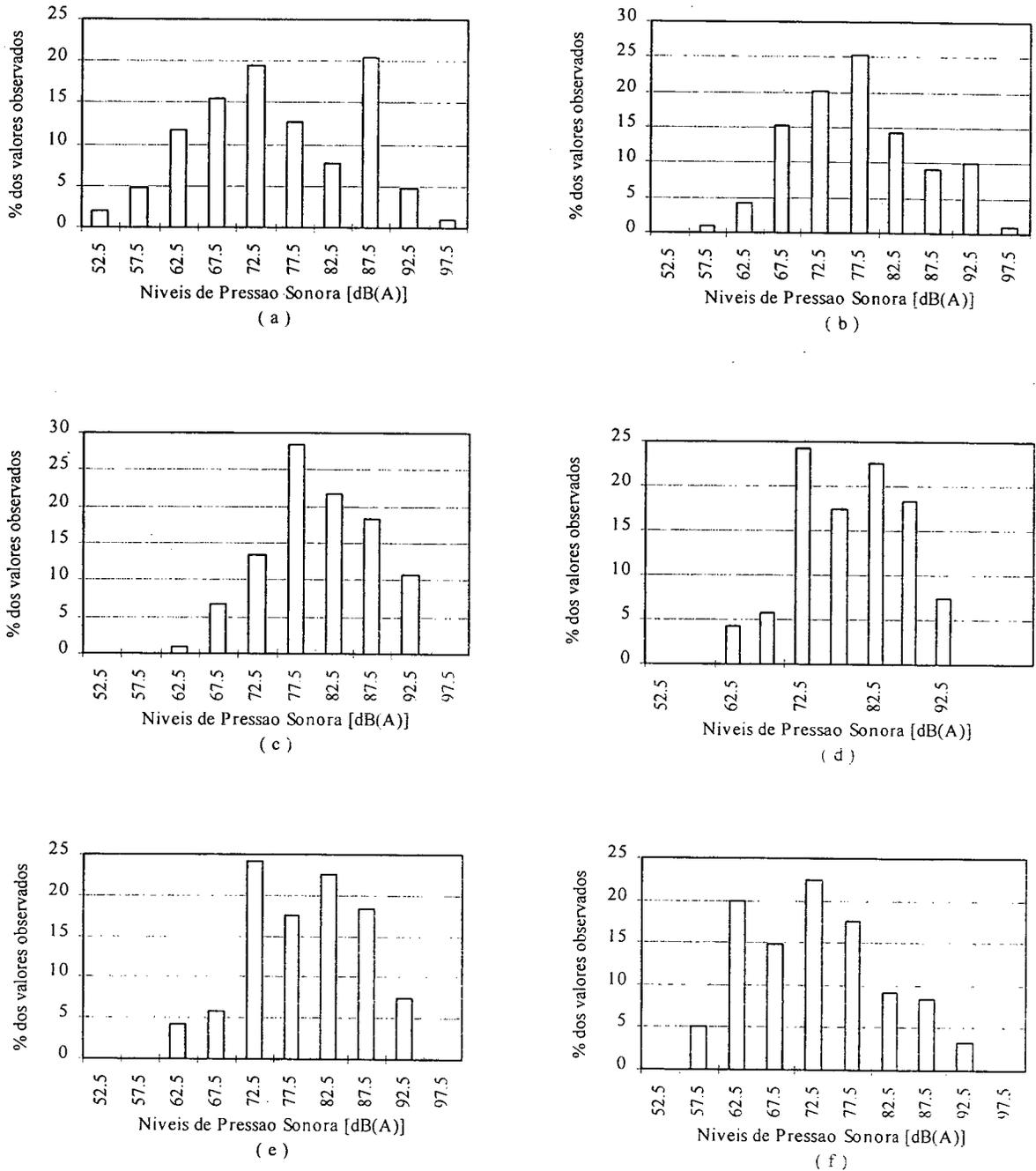


FIGURA 21 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P1 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96.

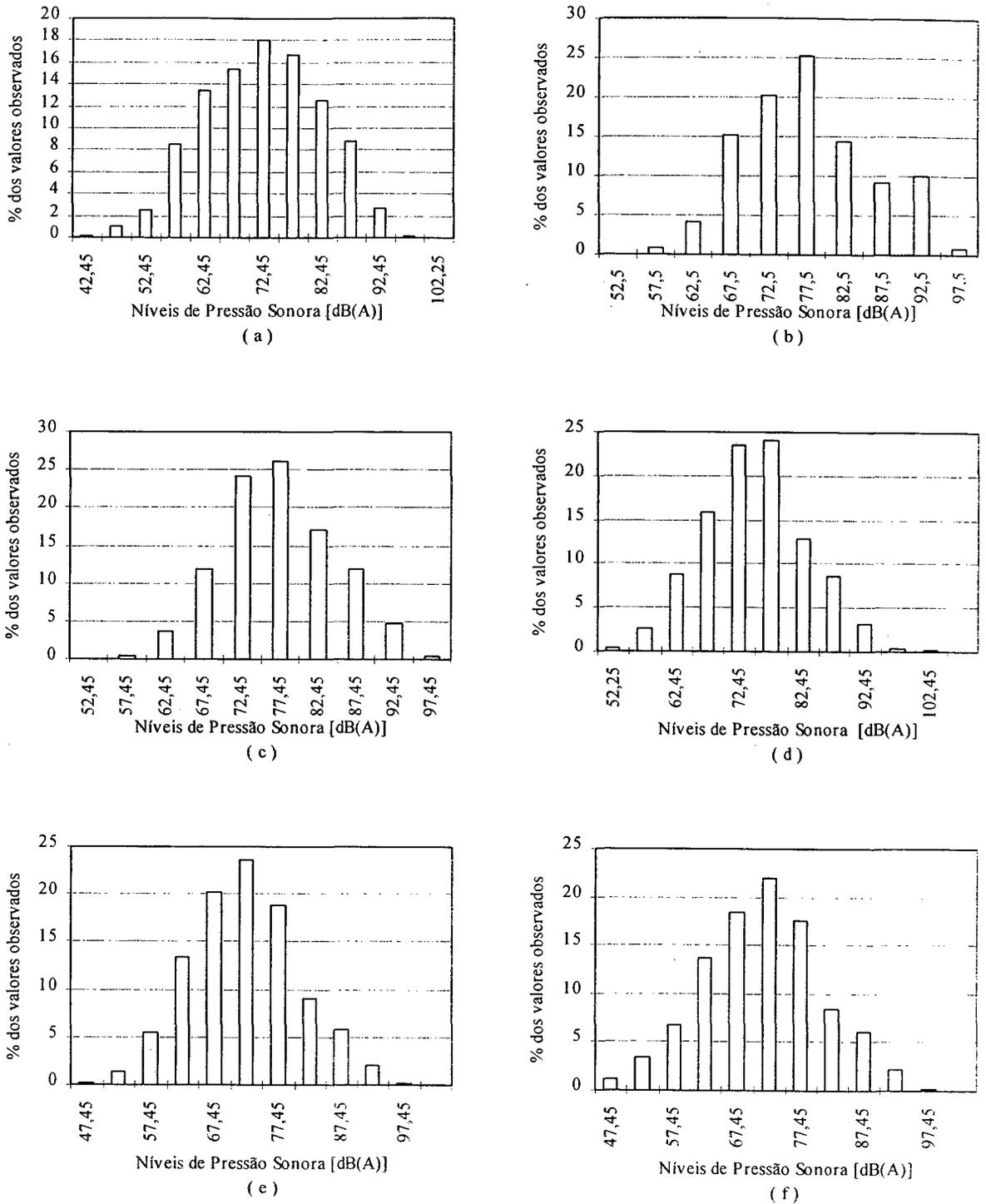


FIGURA 22 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P1 nos períodos: ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/96.

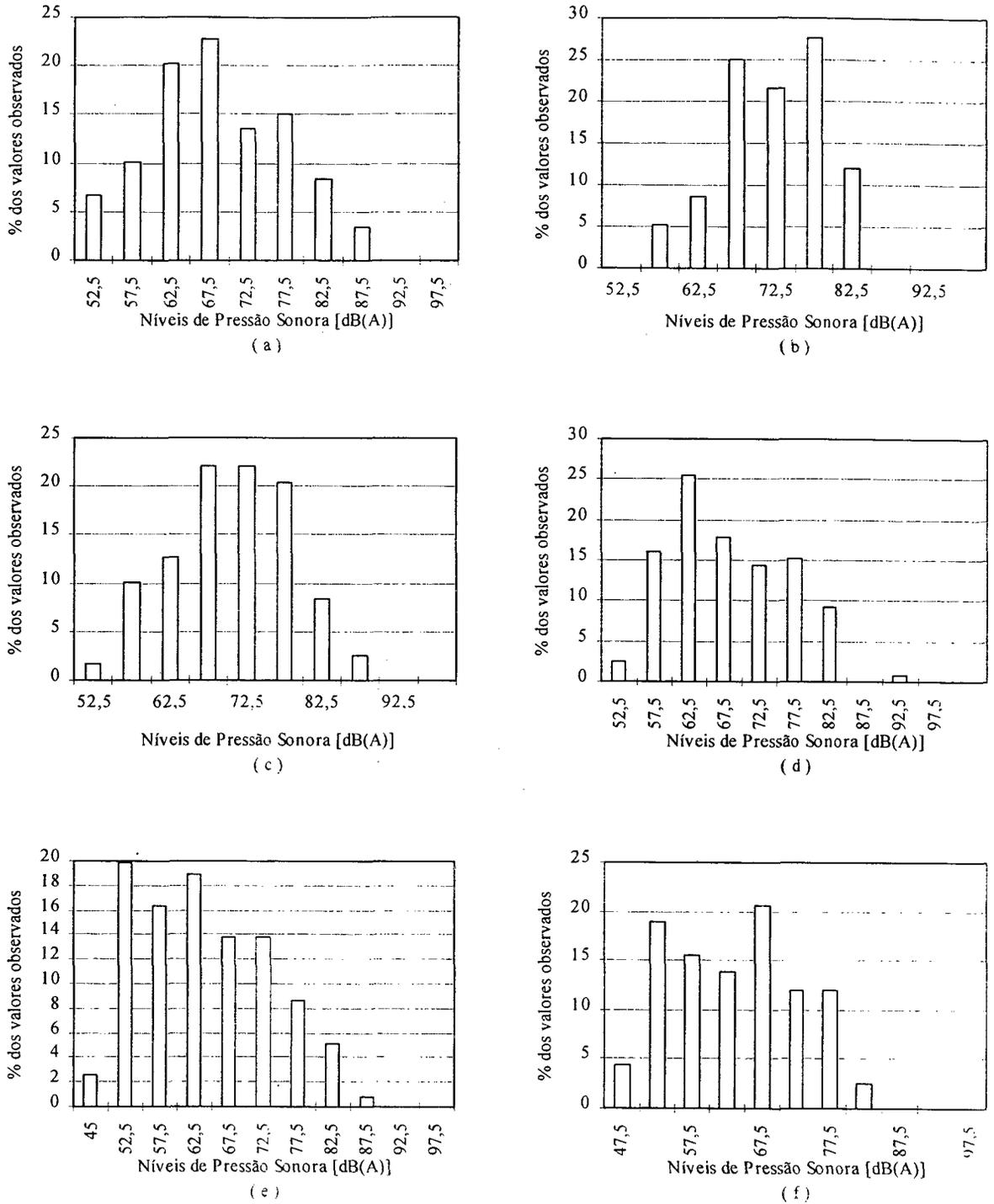


FIGURA 23 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P2 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96.

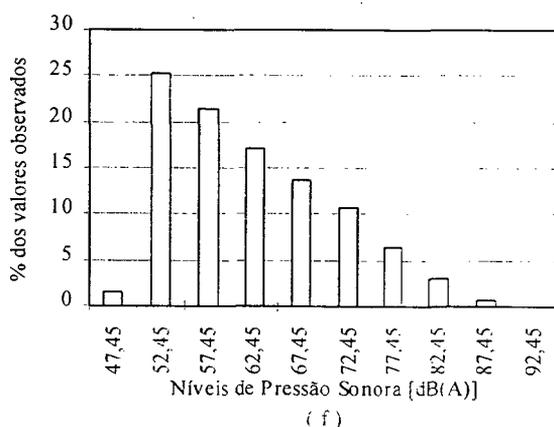
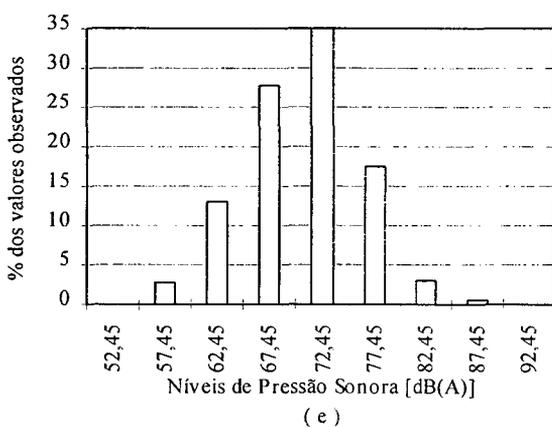
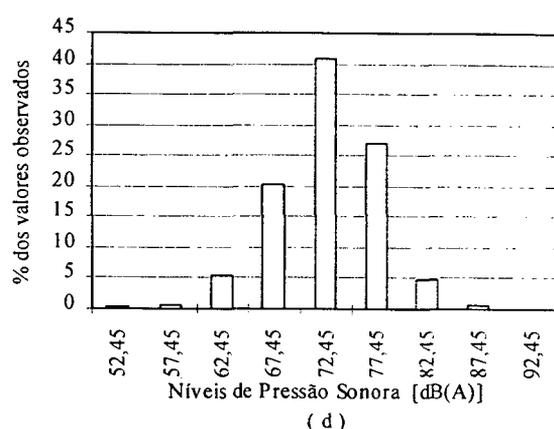
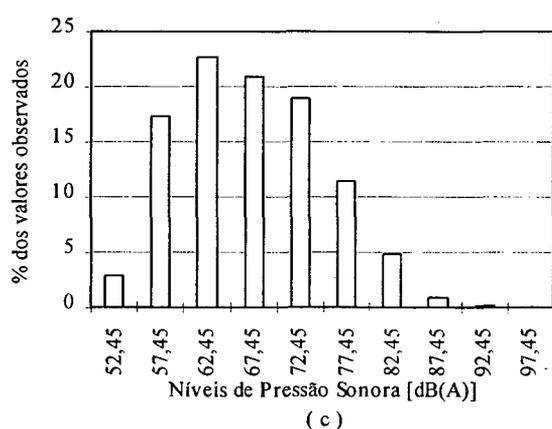
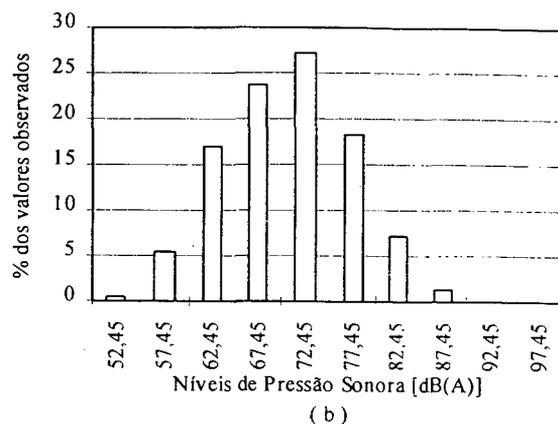
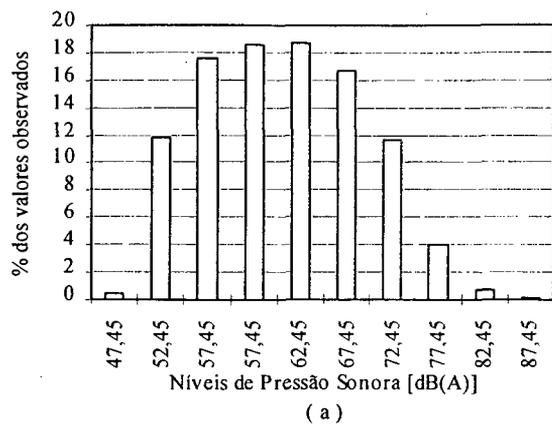


FIGURA 24 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P2 nos períodos: ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/96.

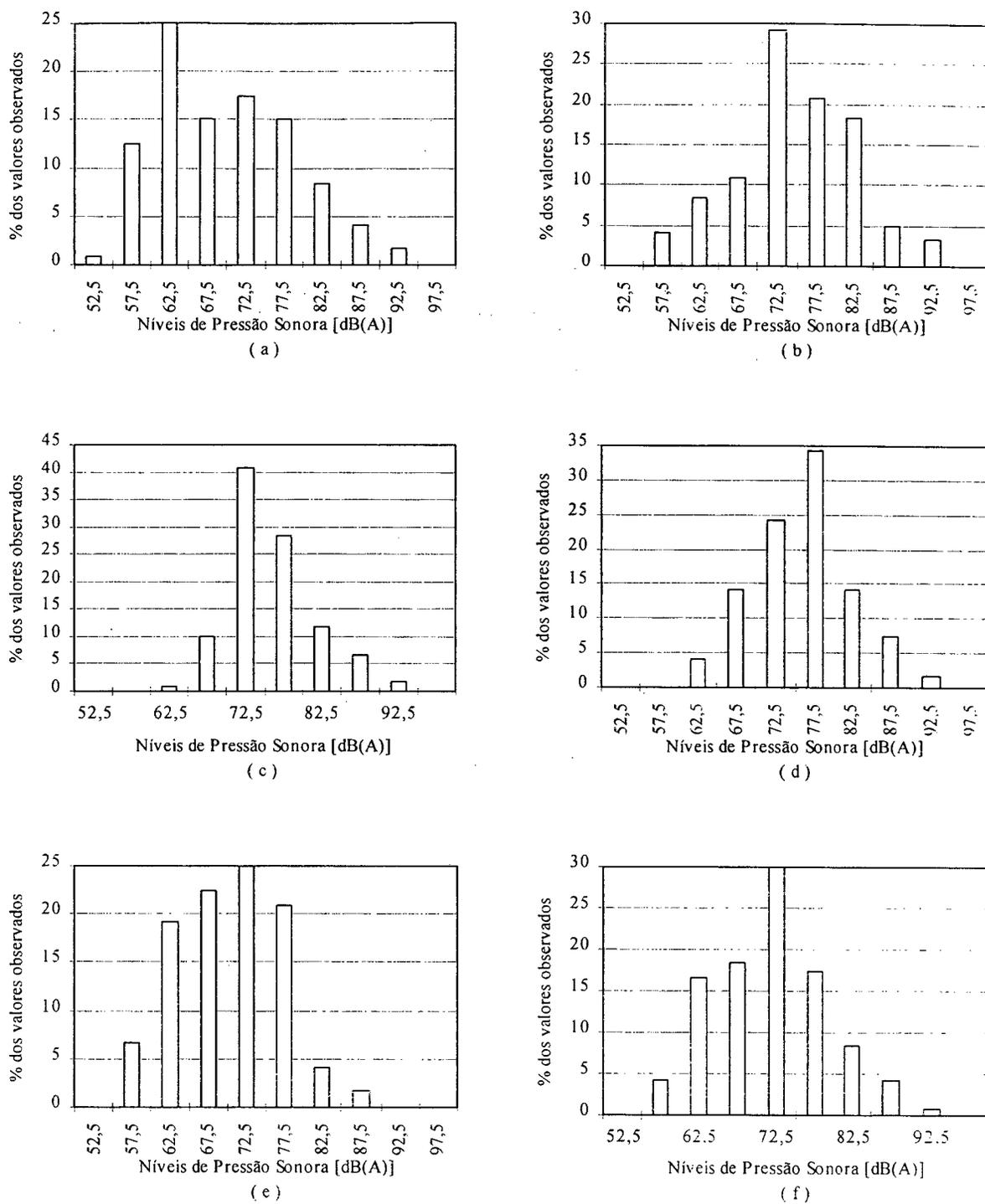


FIGURA 25 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P3 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96.

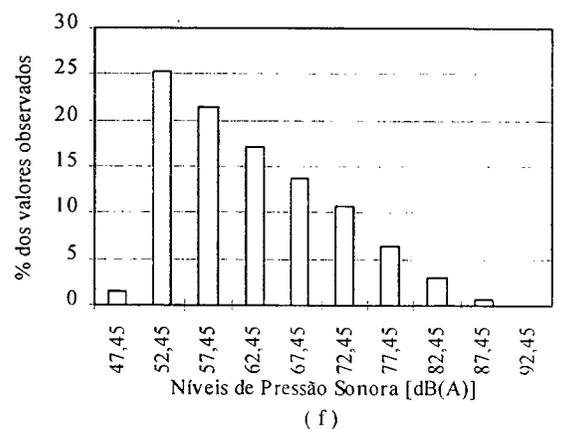
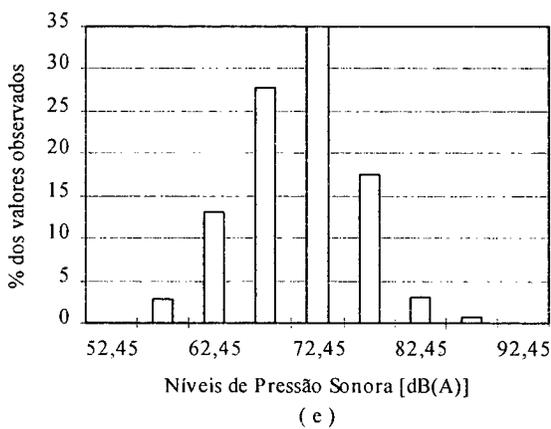
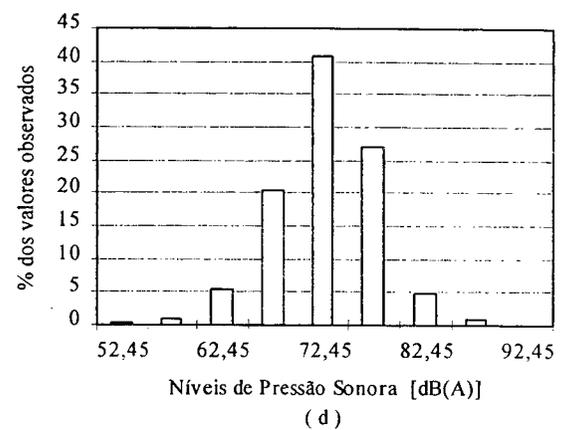
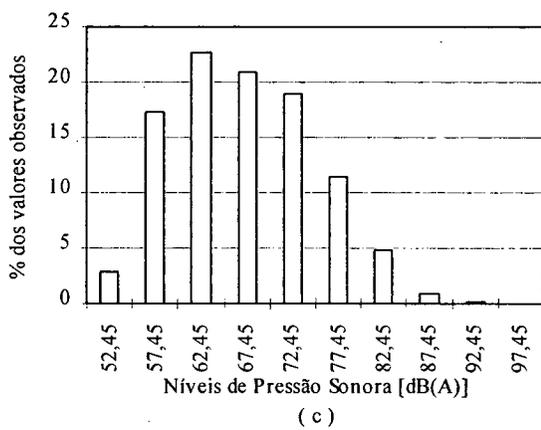
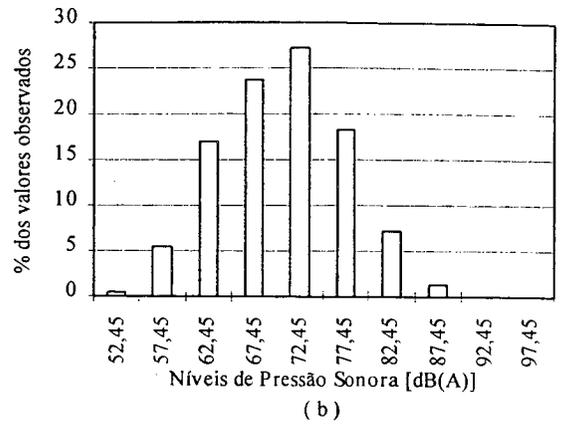
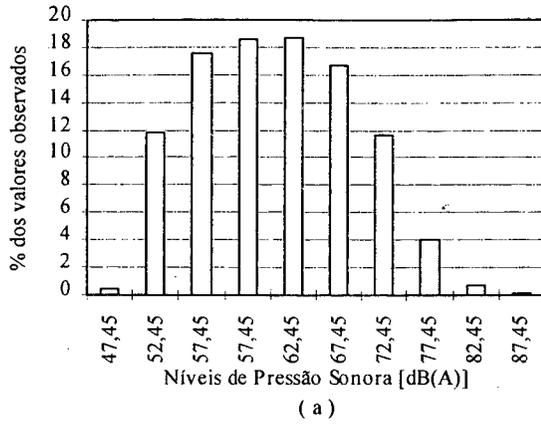


FIGURA 26 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P3 nos períodos: ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/96.

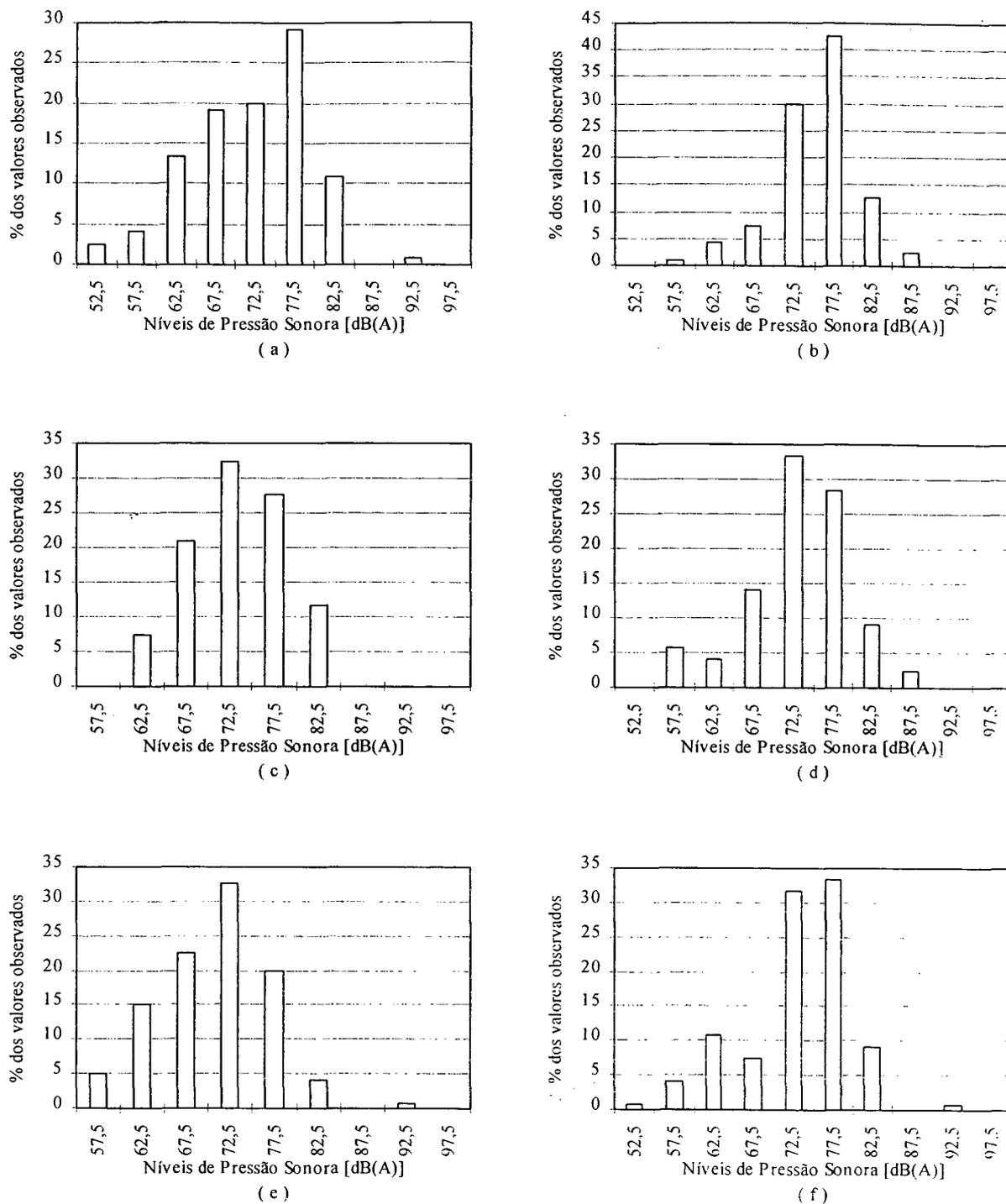


FIGURA 27 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P4 nos períodos : ( a ) 6h-7h,07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96.

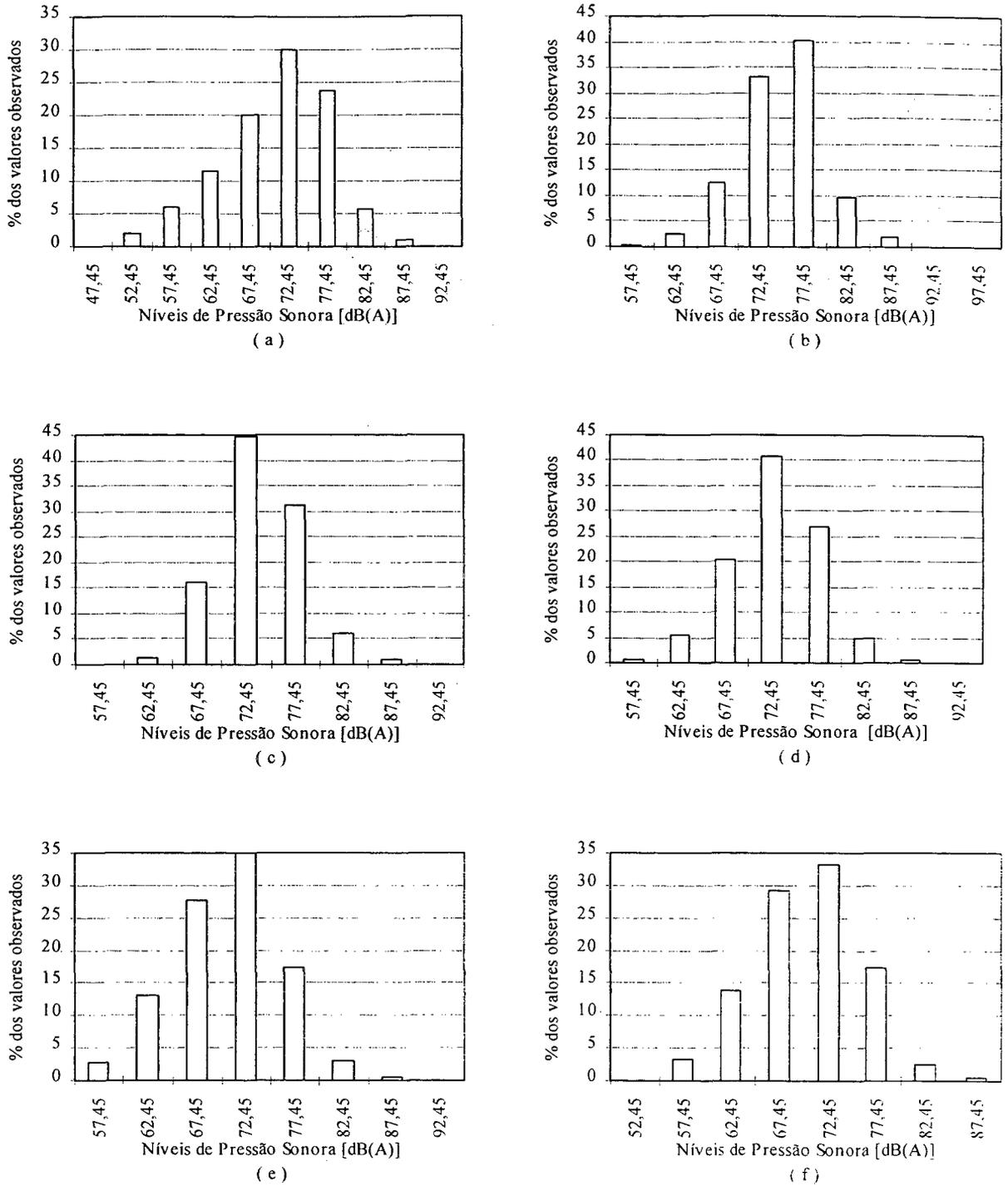


FIGURA 28 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P4 nos períodos: ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/96.

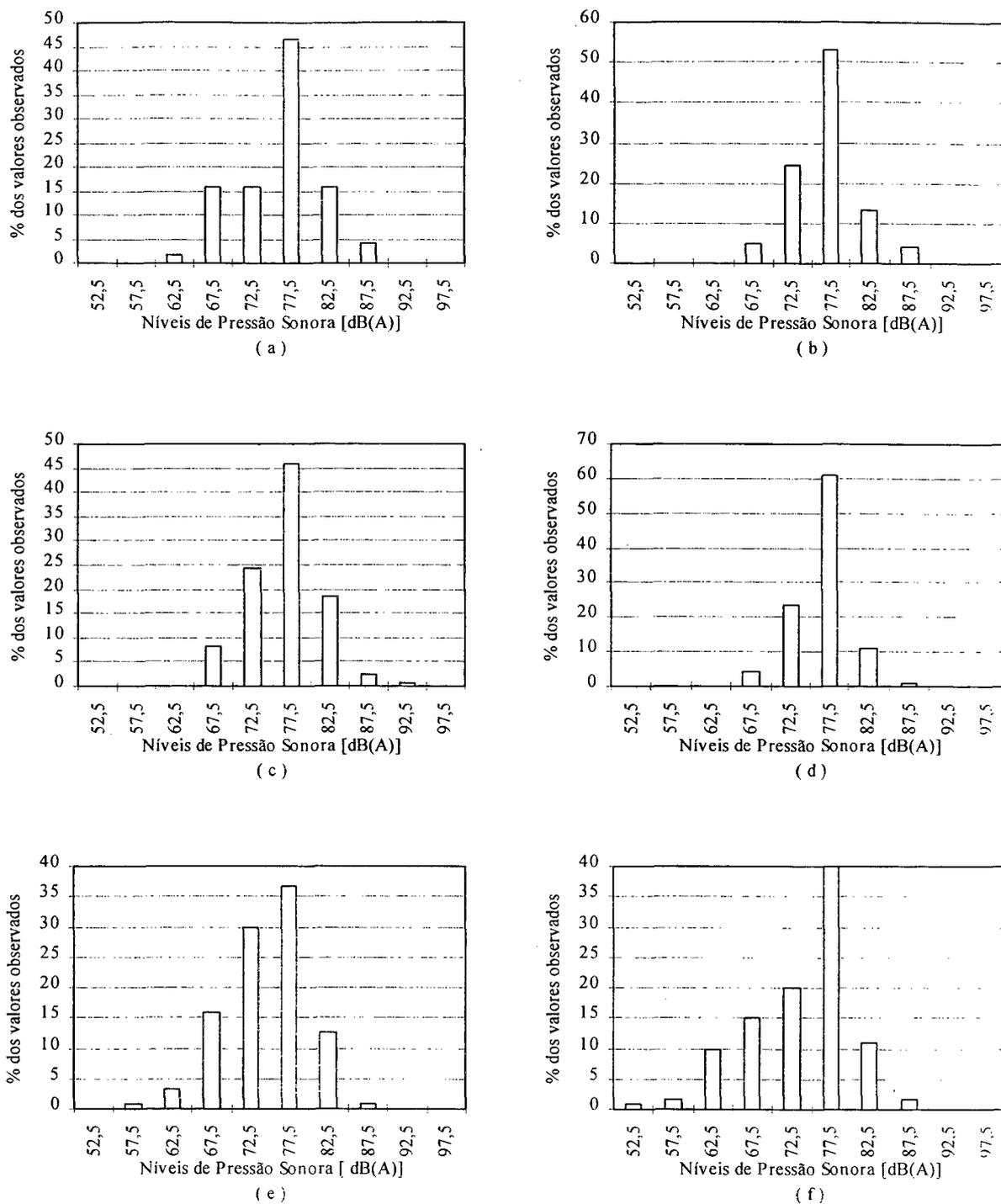


FIGURA 29 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P5 nos períodos : ( a ) 6h-7h,07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96.

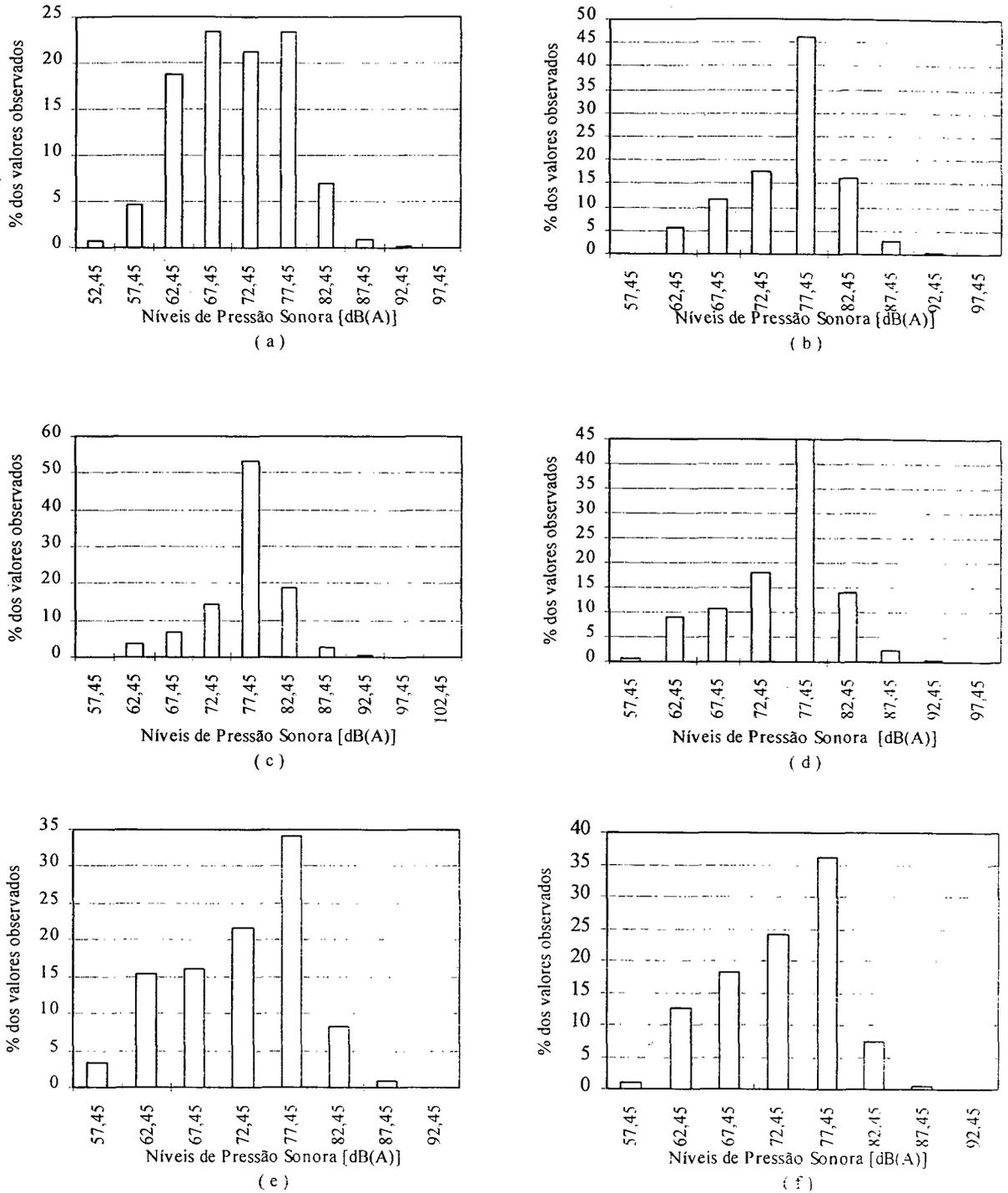


FIGURA 30 - Histogramas dos níveis de pressão sonora no ponto P5 nos períodos: ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/96.

#### 4.1.4 Distribuições Estatística Acumulada dos Níveis de Pressão Sonora

As Figuras 31, 32, 33 e 34 a seguir condensam as informações sobre o comportamento da distribuição estatística dos níveis de pressão sonora, em termos de frequência relativa acumulada, que foram obtidas de cada ponto de medição do levantamento de ruído veicular realizado. Na seqüência é apresentado o conjunto de figuras de onde foi possível sintetizar tais informações.

Das figuras apresentadas neste item, é possível observar o conjunto de níveis de pressão sonora organizados em ordem de grandeza e identificar seus quantis. Dentre os quantis possíveis de se identificar e analisar nessas figuras, são o décimo e nonagésimo percentis, representados por  $L_{A10,1h}$  e  $L_{A90,1h}$ , respectivamente, aqueles que serão enfocados, conforme descrito no Capítulo 2 e Capítulo 3.

Na Figura 31, observa-se um deslocamento periódico das curvas, para a direita e esquerda, conforme se aproxima ou se afasta dos horários de maior volume de tráfego, respectivamente. Este deslocamento foi similarmente identificado por BENTO COELHO [1995,p.20] entre os períodos noturno e diurno. Neste deslocamento, dependendo da situação, pode haver ou não mudança de inclinação da curva. Evidencia-se, portanto, variações periódicas durante o dia dos níveis de ruído de fundo do local, caracterizado pelo percentil  $L_{A90,1h}$ , e dos níveis do próprio ruído proveniente do tráfego, caracterizado pelo percentil  $L_{A10,1h}$ .

Pode-se observar também que, como há uma tendência de ocorrer uma maior amplitude de variação do percentil  $L_{A90,1h}$  em relação à amplitude da variação do percentil  $L_{A10,1h}$ , verifica-se que este deslocamento das curvas de distribuição de frequência relativa acumulada é acompanhado de um aumento da inclinação destas. Isto evidencia que à medida que se aproxima do horário de maior volume de tráfego, há uma menor diferença entre os valores dos percentis  $L_{A90,1h}$  e  $L_{A10,1h}$ . Esta diminuição de diferença reflete uma modificação nas condições de tráfego, que, ao se aproximar do horário de maior volume, gera um ruído menos intermitente que no horário fora deste.

O impacto dessa aproximação entre os valores dos percentis  $L_{A90,1h}$  e  $L_{A10,1h}$  na sensação de incômodo da população pode ser verificada pelo TNI. Porém mesmo com a diminuição do incômodo, ainda persistirá o desconforto uma vez que a ordem de grandeza dos níveis do percentil  $L_{A90,1h}$  excede, em muitas situações os níveis sonoros máximos preconizados na Lei Municipal 4.253 de 04/12/1985, como pôde ser observado nas Figuras 16 e 17 do item 4.1.1.

Ainda na Figura 31, pode-se observar que a amplitude de variação do percentil  $L_{A90,1h}$  é maior nos corredores de tráfego que contém os pontos P1, P2 e P3 de medição, ou seja, nas ruas Padre Eustáquio e Três Pontas, do que naqueles que contém os pontos P4 e P5 de medição, isto é, nas avenidas Dom Pedro II e Teresa Cristina.

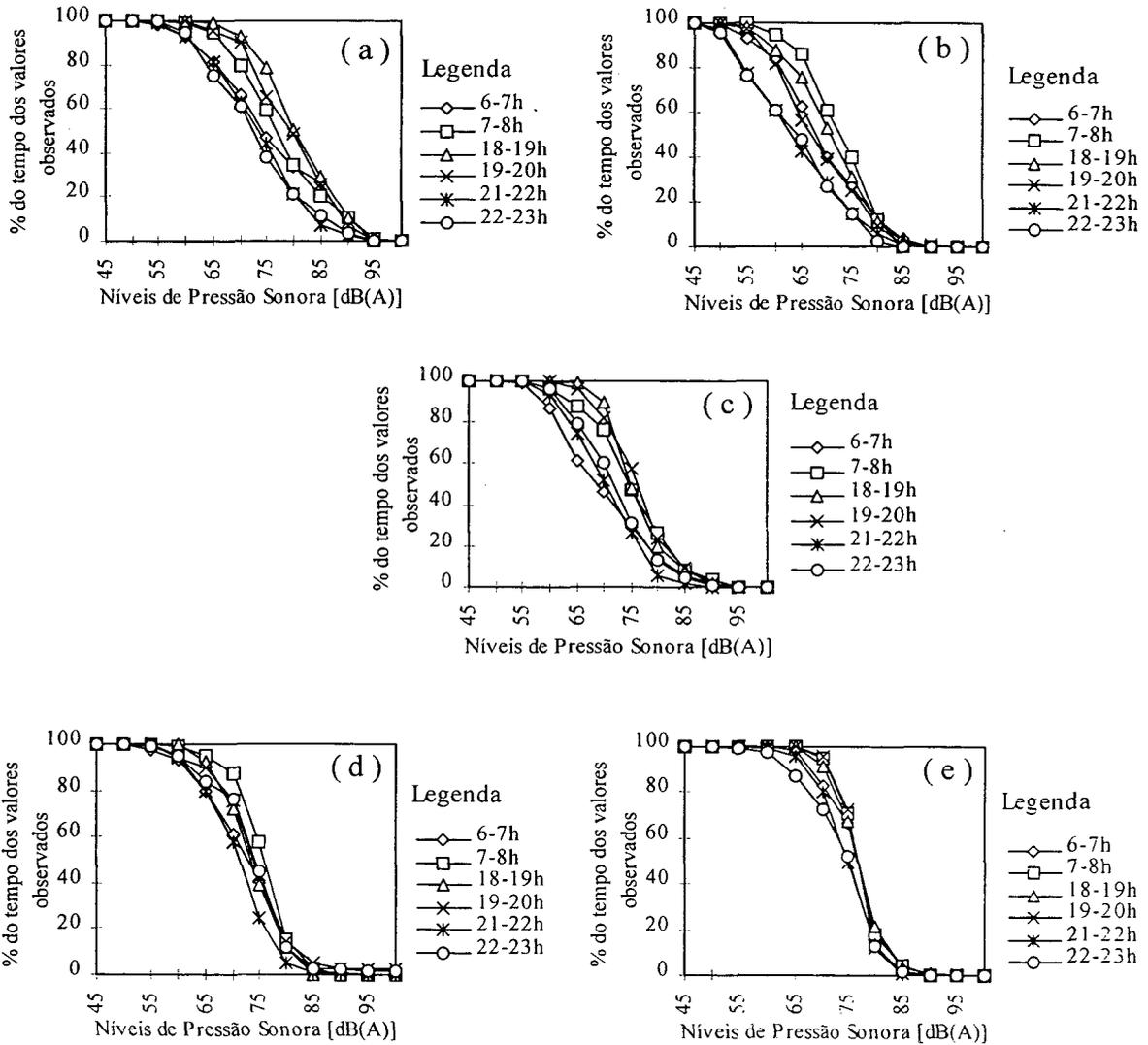


FIGURA 31 - Variação horária das distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora em cada ponto de medição dentro dos períodos do levantamento: ( a ) ponto P1, 07/96; ( b ) ponto P2, 07/96; ( c ) ponto P3, 07/96; ( d ) ponto P4, 07/96; ( e ) ponto P5, 07/96.

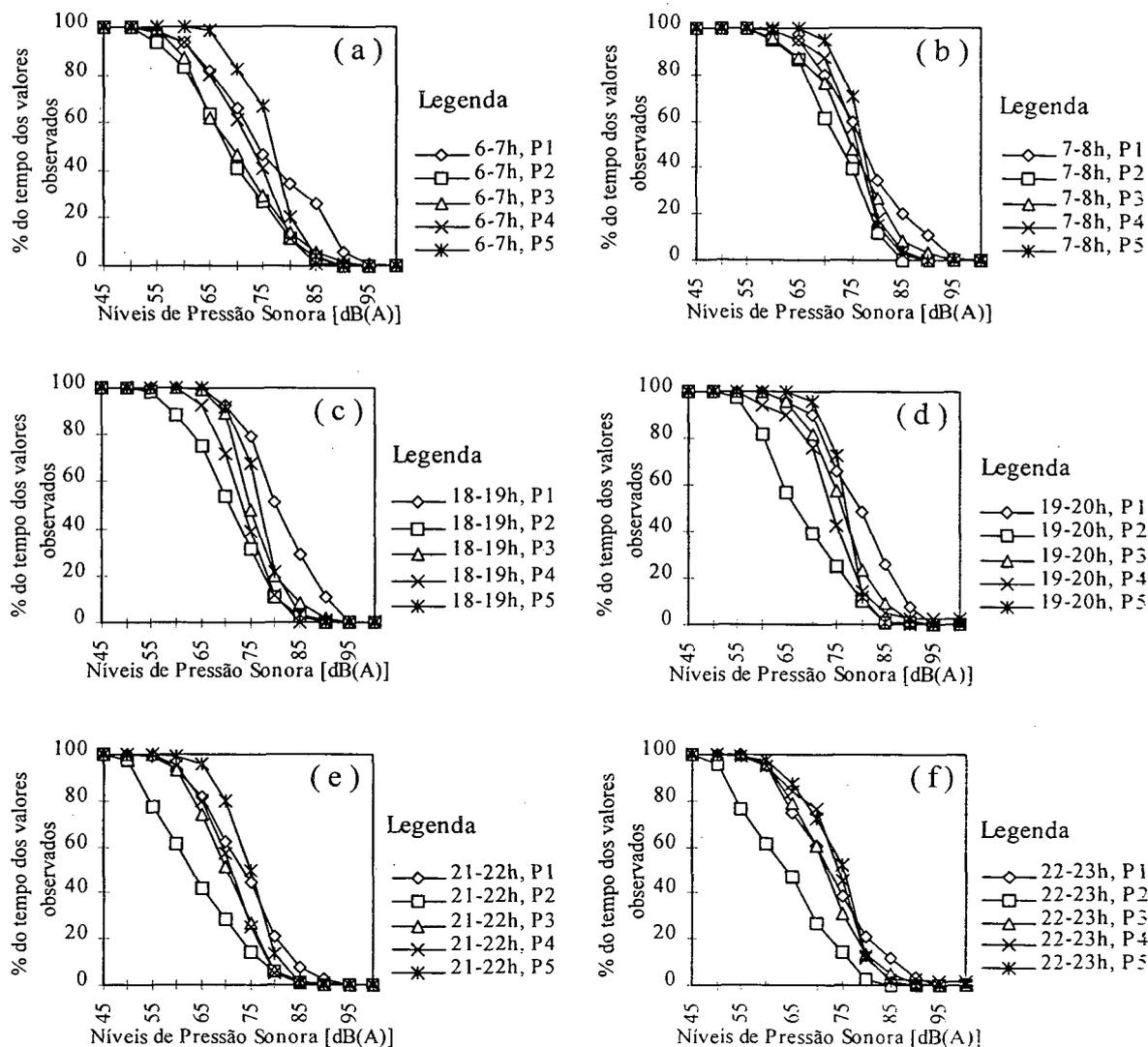


FIGURA 32 -Variação por ponto de medição do comportamento das distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora do levantamento: ( a ) primeira hora do período 1, 07/96; ( b ) segunda hora do período 1, 07/96; ( c ) primeira hora do período 2, 07/96; ( d ) segunda hora do período 2;( e ) primeira hora do período 3, 7/96;( f ) segunda hora do período 3.

O fato das ruas Padre Eustáquio e Três Pontas cruzarem regiões mais silenciosas, uma vez que são vias arteriais além de vias de penetração e saída de zonas residenciais, justifica esta maior amplitude de variação do ruído de fundo, em relação às Av. D. Pedro II e Teresa Cristina. As próprias características do uso do solo lindeiro que se consolidou nestas avenidas, com preponderância das atividades de comércio e prestação de serviços, contribui para um nível de ruído de fundo superior aos níveis presentes em zonas de caráter mais residencial.

Na Figura 32, cada gráfico apresenta conjuntamente as distribuições de frequência relativa acumulada dos diferentes pontos de medição para cada horário dos períodos em que se realizou o levantamento de ruído.

Observa-se que, de uma forma geral, os valores dos percentis  $L_{A90,1h}$  são maiores nas vias com maior largura e volume de tráfego, como pode-se observar nas letras ( a ), ( b ), ( d ) e ( f ) da figura em questão. Os valores deste percentil apresentam maior variação entre os pontos por horário de medição se comparados aos valores do percentil  $L_{A10,1h}$  , excluindo-se o ponto P1.

A declividade da via se consistiu numa característica geométrica decisiva para fazer com que o percentil  $L_{A10,1h}$  se apresentasse sempre com os maiores valores no ponto P1, ou seja, no trecho em aclive da rua Padre Eustáquio, mesmo possuindo um volume de tráfego inferior ao das avenidas pesquisadas.

Nas Figuras 33 e 34 são apresentadas as distribuições de frequência relativa acumulada relativas ao mês de outubro, contento a mesma estrutura de apresentação das Figuras 31 e 32, respectivamente. As observações feitas anteriormente para a Figura 31 são também verificadas na Figura 33. Pela Figura 34, verifica-se uma maior uniformidade das ogivas entre os pontos de medição P1, P3, P4 e P5, embora os gráficos ( a ) e ( b ) desta figura, reforçam as observações feitas sobre a Figura 32, no período de maior volume de tráfego no final da tarde e mesmo no horário vespertino. Talvez a variação sazonal do tráfego entre os meses de julho e outubro possa dar alguma explicação a este comportamento, mas no momento não se dispõe de informações suficientes uma justificativa consistente.

As observações aqui feitas relativas às Figuras 31, 32, 33 e 34 em termos do comportamento dos valores dos percentis  $L_{A90,1h}$  e  $L_{A10,1h}$  podem ser verificadas pelas tabelas e gráficos contidos nas figuras apresentados no item 4.1 do presente capítulo.

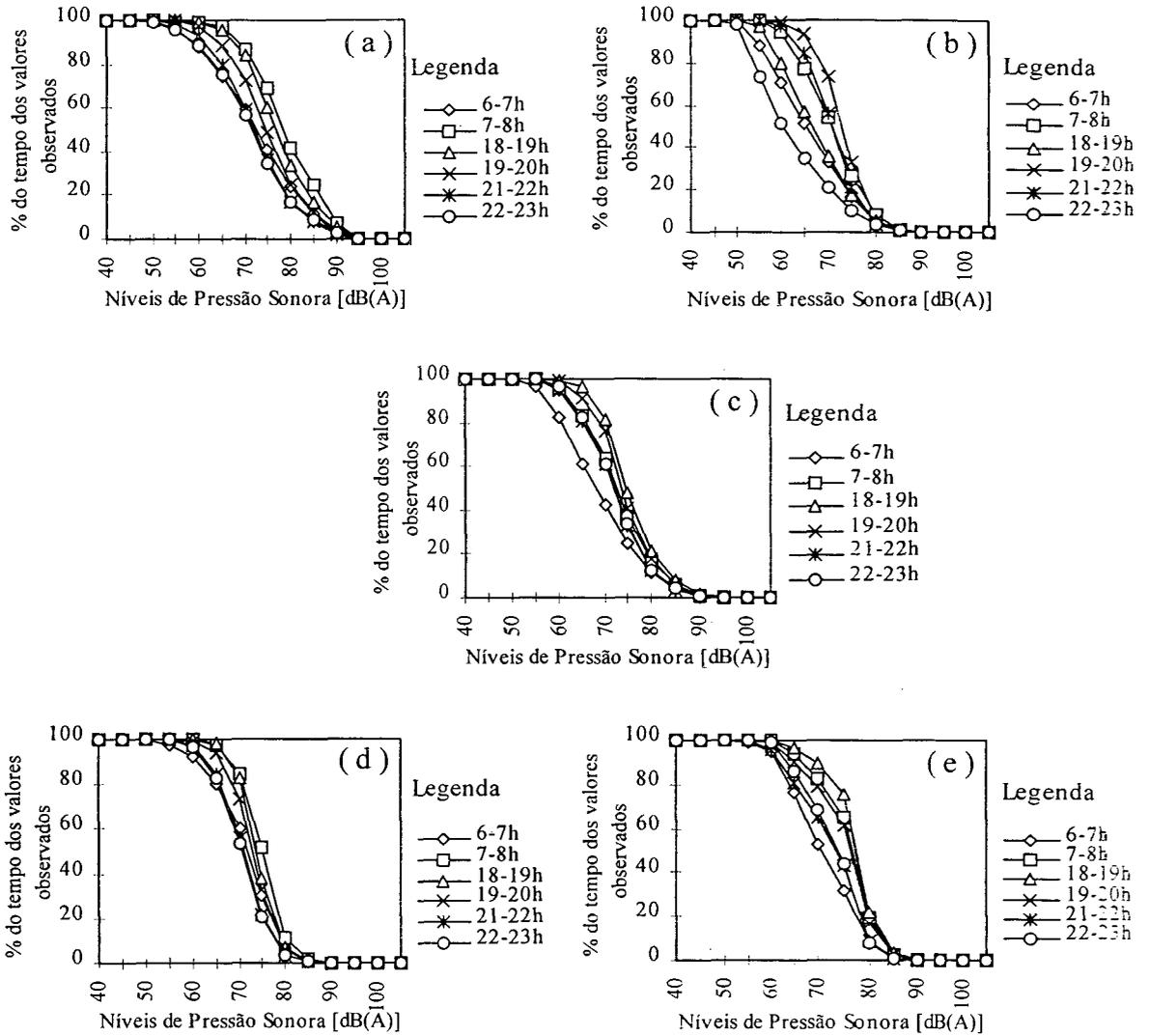


FIGURA 33 - Variação horária das distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora em cada ponto de medição dentro dos períodos do levantamento: ( a ) ponto P1, 10/96; ( b ) ponto P2, 10/96; ( c ) ponto P3, 10/96; ( d ) ponto P4, 10/96; ( e ) ponto P5, 10/96.

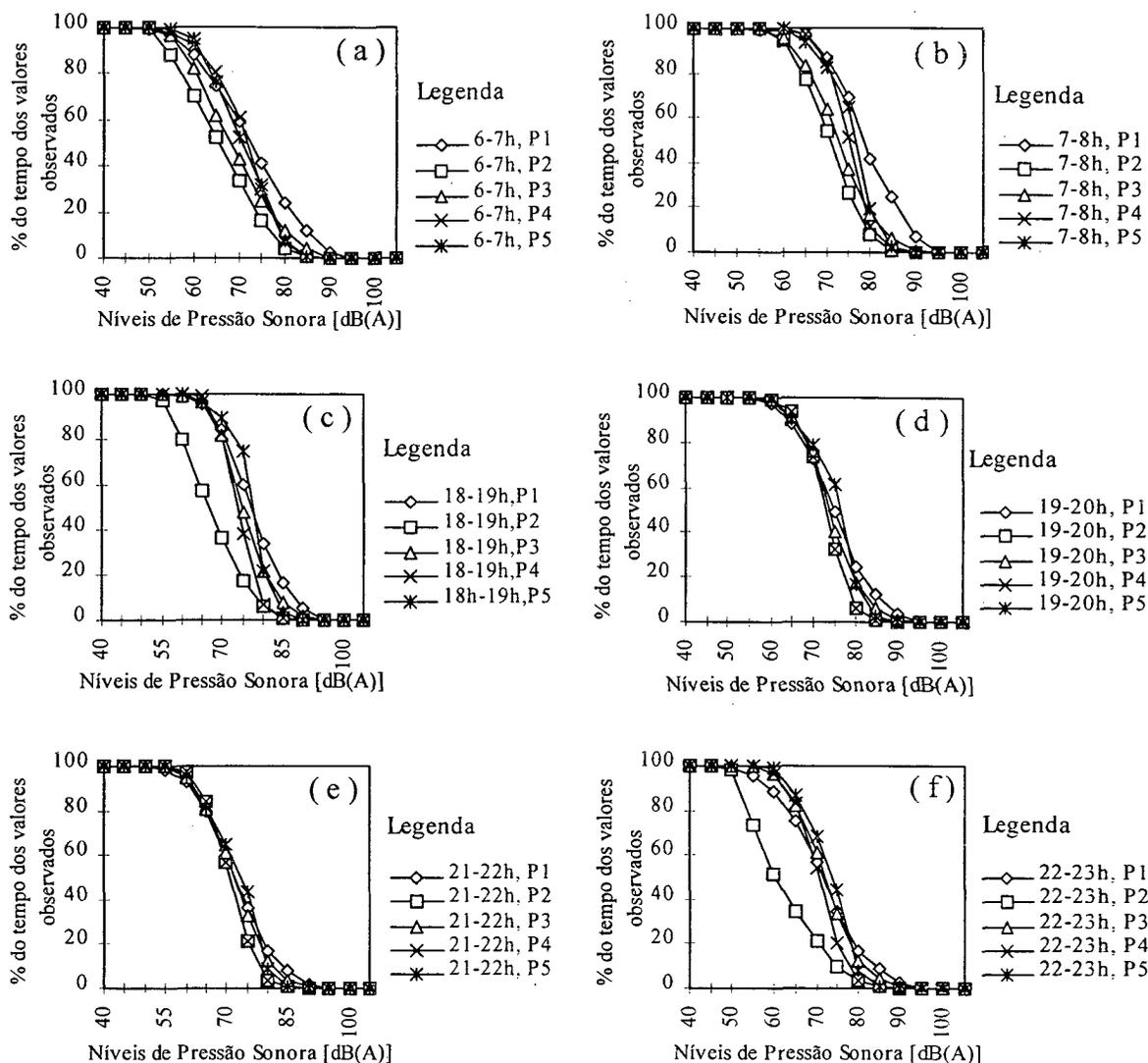


FIGURA 34 - Variação por ponto de medição do comportamento das distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora para cada hora nos períodos de medição: ( a ) primeira hora do período 1, 10/96; ( b ) segunda hora do período 1, 10/96; ( c ) primeira hora do período 2, 10/96; ( d ) segunda hora do período 2; ( e ) primeira hora do período 3, 10/96; ( f ) segunda hora do período 3, 10/96.

## 4.2 Determinação do Nível de Potência Sonora do Tráfego Veicular

À partir dos dados coletados dos níveis de pressão equivalente-contínuos de curta duração,  $L_{Aeq,CT}$ , dos níveis de exposição sonora,  $L_{AE}$ , e das velocidades dos veículos,  $V$ , foi possível estimar o nível de potência sonora para veículos leves e pesados representados por  $NWS_L$  e  $NWS_P$ , respectivamente, conforme as equações (7) e (11) apresentadas no Capítulo 2. Em seguida, fez-se uma análise de regressão para correlacionar os níveis de potência sonora de veículos trafegando em vias com a velocidade de deslocamento destes [YOSHIHISA e TACHIBANA, 1988].

A Figura 35 apresenta os diagramas de dispersão e a curva de regressão para a correlação do NWS como função da velocidade. Foram geradas duas equações, uma delas para determinar o nível de potência sonora para veículos leves e outra para veículos pesados. Estas equações apresentam um coeficiente de correlação de 0,66 e erro padrão de estimativa de 2,9 dB(A). As curvas apresentadas na Figura 45 podem ser escritas como :

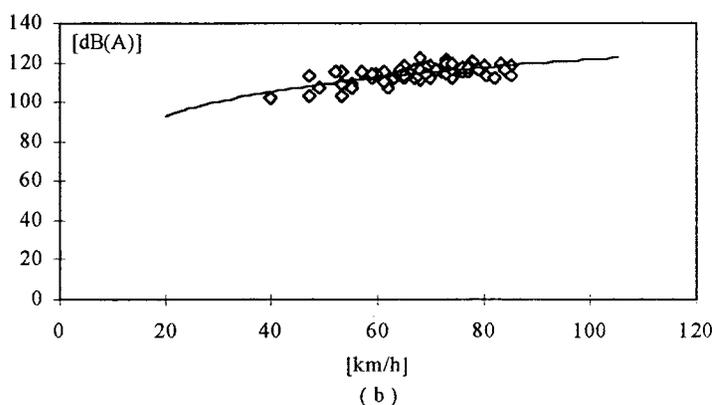
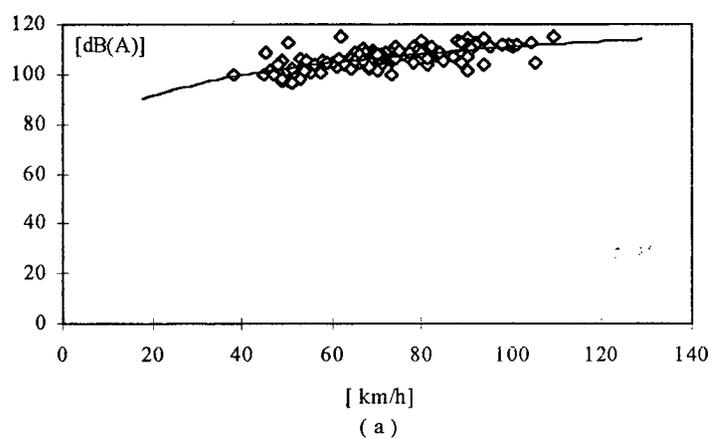


FIGURA 35 - Dispersão e linhas de tendência de NWS como função da velocidade segundo dados coletados em levantamento específico para: (a) veículos leve e (b) veículos pesados.

$$NWS_L = 28,3 \cdot \log_{10} V_L + 54,4 \quad (25)$$

$NWS_L$  : nível de potência sonora, [dB(A)]

$V_L$  : velocidade média dos veículos leves, [ Km/h ]

$$NWS_P = 40,6 \cdot \log_{10} V_P + 40,4 \quad (26)$$

$NWS_P$  : nível de potência sonora, [dB(A)]

$V_P$  : velocidade média dos veículos pesados, [ Km/h ]

A partir destes níveis de potência sonora pode-se definir um nível de potência sonora médio para as via,  $NWS_d$ , expresso como :

$$NWS_d = 10 \cdot \log_{10} \{ (1/100) \cdot [L \cdot 10^{(NWS_L/10)} + P \cdot 10^{(NWS_P/10)}] \} \quad (27)$$

L : percentagem de veículos leves , [%]

P : percentagem de veículos pesados , [%]

Observando-se os valores das velocidades médias espaciais dispostas nas tabelas apresentadas no início do item 4.1 deste capítulo, verifica-se que tais valores são maiores para os veículos leves, em relação aos veículos pesados. Esta diferença de velocidades no fluxo de tráfego, dependendo de seu âmbito, pode fazer com que a potência sonora entre veículos leves e pesados seja aproximadamente a mesma em condições tráfego.

### 4.3 Relações entre os Dados Acústicos, de Tráfego, Meteorológicos e Geométricos

A partir dos dados gerados nos levantamentos realizados, convém procurar relacioná-los, de forma , por exemplo, que seja possível prever os níveis de pressão sonora equivalente-continuos do ruído de veículos trafegando em vias urbanas com base nas características do tráfego, da geometria do ambiente construído, sob certas condições meteorológicas previamente conhecidas e tipos de materiais de construção presentes expostos à energia sonora.

A seguir serão apresentados dois procedimentos para se realizar tal predição. O primeiro deles, desenvolvido neste trabalho, consiste numa proposta simplificada, envolvendo o nível de potência sonora, características de composição e velocidade média espacial do tráfego e aspectos geométricos influentes como efeito das reflexões da fachada das edificações e declividade das vias. O segundo, refere-se à aplicação do procedimento proposto por JRAIW [1987], envolvendo,

basicamente, características do tráfego e geométricas do ambiente construído, a partir uma análise múltipla de regressão segundo uma base de dados gerada na Inglaterra.

Em termos do primeiro procedimento de cálculo, partiu-se de hipóteses que consideram os veículos como fontes sonoras pontuais, trafegando em linha reta nos eixos das faixas da via de superfície rígida, com velocidade constante e espaçamento uniforme entre si, conforme ilustra a Figura 36.

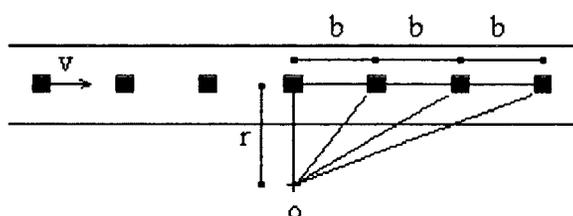


FIGURA 36 - Esquema com hipóteses consideradas relativa ao fluxo dos veículos, sendo constante a velocidade,  $V$ , o espaçamento,  $b$ , entre os veículos e a distância,  $r$ , do observador à linha do fluxo.

Em analogia com a configuração de fontes pontuais em linha [RATHÉ, 1969, em GERGES, 1992, p. 227], sempre que a desigualdade  $r < b/\pi$  for atendida, pode-se considerar que a fonte preponderante de emissão sonora consiste no veículo em frente ao observador situado em “o”, sendo que a propagação do som pode ser considerada similar à uma fonte pontual simples. Considerando que com o passar do tempo, à intervalos regulares, sempre haverá uma fonte em frente ao observador, foi considerado que os veículos consistem em fontes fixas, e que a fonte sonora frontal, que deve ser levada em consideração, apresenta variação na pressão sonora emitida com tempo. Partiu-se da hipótese de que esta variação da pressão sonora com o tempo consiste na seguinte função:

$$P_A(t) = A \cdot \text{sen} [\pi \cdot (V \cdot t / b)] \quad (28)$$

$P_A(t)$ : variação da pressão sonora da fonte fixa frontal, compensada pelo circuito  $A$ , [Pa]

$A$ : amplitude da pressão sonora, [Pa]

$V$ : velocidade média espacial dos veículos, [km/h]

$t$ : intervalo de tempo no qual se considera a variação da função  $P_A(t)$ , [h]

$b$ : distância entre os veículos em fluxo, [km]

Baseando-se na equação (28) pode-se estimar o valor para o nível sonoro e equivalente-contínuo,  $L_{Aeq,T}$  a partir de sua definição :

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left\{ \left( \frac{1}{T} \right) \int_0^{T=(b/V)} \left[ P_A^2(t) / P_o^2 \right] \cdot dt \right\} \quad (29)$$

$L_{Aeq,T}$  : nível sonoro e equivalente-contínuo para o intervalo de tempo  $T$ , [dB(A)]

$P_o$  : pressão sonora de referência, [20  $\mu$ Pa]

$T$  : intervalo de tempo no qual  $P_A(t)$  varia entre dois valores mínimos consecutivos,  $T = b/V$ , [s]

Levando (28) em (29), tem-se :

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left\{ \left( \frac{1}{T} \right) \int_0^{T=(b/V)} \left[ A^2 \cdot \text{sen}^2(\pi \cdot V \cdot t / b) / P_o^2 \right] \cdot dt \right\} \quad (30)$$

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left\{ \left[ \frac{A^2}{(T \cdot P_o^2)} \right] \int_0^{T=(b/V)} \text{sen}^2(\pi \cdot V \cdot t / b) \cdot dt \right\} \quad (31)$$

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left\{ \left[ \frac{A^2}{(T \cdot P_o^2)} \right] \cdot \left[ T/2 - (1/4) \cdot \text{sen}(2\pi \cdot V \cdot T / b) \right] \right\} \quad (32)$$

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left[ (1/2) \cdot \left( A^2 / P_o^2 \right) \right] \quad (33)$$

A amplitude da pressão sonora pode ser obtida a partir do nível de pressão máximo emitido pela fonte fixa, o qual pode ser estimado por [GERGES, 1992, p.224] :

$$NPS_{max} = NWS + DI(\theta) - 20 \log_{10} r - 8 + \sum N \quad (34)$$

$NPS_{max}$  : nível de pressão sonora máximo emitido pelo fonte frontal, [ dB(A)]

$NWS$  : nível de potência sonora emitida pela fonte frontal, [ dB(A)]

$DI(\theta)$  : índice de diretividade, [ dB(A)]

$r$  : distância entre o observador “o” e a fonte frontal, [m]

$N$  : correções dos eventuais efeitos ao longo do caminho de transmissão, [dB(A)]

No caso de ocorrer  $r > b/\pi$ , a propagação sonora passa a ser similar ao caso de fontes em linha [RATHÉ, 1969, em GERGES, 1992, p. 227], e o termo  $20 \log r$  da equação (34) deve ser substituído por  $10 \cdot \log(\pi r b)$ . Pela definição do nível de pressão sonora e pela equação (28), tem-se que:

$$NPS_{max} = 10 \cdot \log_{10} \left( A^2 / P_o^2 \right) \quad (35)$$

Assim, pode-se obter o valor da amplitude por :

$$A = P_o \cdot 10^{(NPS_{max}/20)} \quad (36)$$

A partir das equações (36) e (33), é possível prever o nível sonoro equivalente-contínuo,  $L_{Aeq,T}$ . Devido à proximidade do observador “o” em relação ao eixo da via, pode-se negligenciar o efeito do solo e absorção atmosférica. Porém como no meio urbano normalmente as vias estão flanqueadas de edificações, além da variação da declividade das pistas que faz com que haja a existência de trechos em aclive, deve-se aplicar as devidas correções para os efeitos da reflexão de fachadas e declividade da pista na equação (34).

Pelo segundo procedimento de cálculo, a seguinte equação [JRAIW, 1987] é proposta para predição do  $L_{Aeq,T}$  para veículos em tráfego em áreas urbanas, com coeficiente de correlação de 0,974, desvio padrão de 0,974 dB(A) e acuidade com  $\pm 2,4$  dB(A):

$$L_{Aeq,T} = 0,968 \cdot L_{A50,T} + 0,436 \cdot (L_{A10,T} - L_{A90,T}) \quad (37)$$

$L_{Aeq,T}$  : nível sonoro e equivalente-contínuo para o intervalo de tempo T (= 1h), [dB(A)]

$L_{A50,T}$  : nível de pressão sonora excedido por 50% dos níveis presentes no intervalo T, [dB(A)]

$L_{A10,T}$  : nível de pressão sonora excedido por 10% dos níveis presentes no intervalo T, [dB(A)]

$L_{A90,T}$  : nível de pressão sonora excedido por 90% dos níveis presentes no intervalo T, [dB(A)]

O valor do percentil  $L_{A90,T}$  utilizado na equação (37) correspondeu aos valores medidos nos levantamentos realizados neste trabalho, enquanto que os valores dos percentis de  $L_{A50,T}$  e  $L_{A10,T}$  utilizados na equação (4.17) são estimados pelas seguintes equações [JRAIW, 1987], respectivamente :

$$L_{A50,T} = 42,5 - 3,79 \cdot \log_{10} V - 4,78 \cdot \log_{10} W - 0,015 \cdot J + 13,2 \cdot \log_{10} (L + 6M + 10H) - 5,19 \cdot \log_{10} N \quad (38)$$

$$L_{A10,T} = 54,8 - 5,57 \cdot \log_{10} V - 4,1 \cdot \log_{10} W - 0,0116 \cdot J + 12 \cdot \log_{10} (L + 6M + 10H) - 5,26 \cdot \log_{10} N \quad (39)$$

V : velocidade média dos veículos [km / h]

W : largura da via, [m]

J : distância do ponto de medição ao semáforo, [m]

L : volume de tráfego de veículos leves, [veic./ h]

M : volume de tráfego de veículos médios, [veic./ h]

H : volume de tráfego de veículos pesados, [veic./ h]

N : distância do ponto de medição à fachada mais próxima, [m]

A equação (38) proposta apresentou um coeficiente de correlação de 0,984, com desvio de padrão de 0,585 dB(A) e acuidade de  $\pm 1,4$  dB(A). A equação (39) apresentou um coeficiente de correlação de 0,9 com desvio padrão de 1,3 dB(A) e com acuidade de  $\pm 3,0$  dB(A) para 98 % das situações [JRAIW, 1987].

### 4.3.1 Análise Comparativa dos Procedimentos de Cálculo 1 e 2 para Previsão do $L_{Aeq,1h}$

Na Figura 37, são comparados os valores do nível de pressão sonora equivalente-contínuo medidos,  $L_{Aeq,M}$ , e preditos,  $L_{Aeq,C1}$  e  $L_{Aeq,C2}$ , pelos respectivos procedimentos de cálculo 1 e 2.

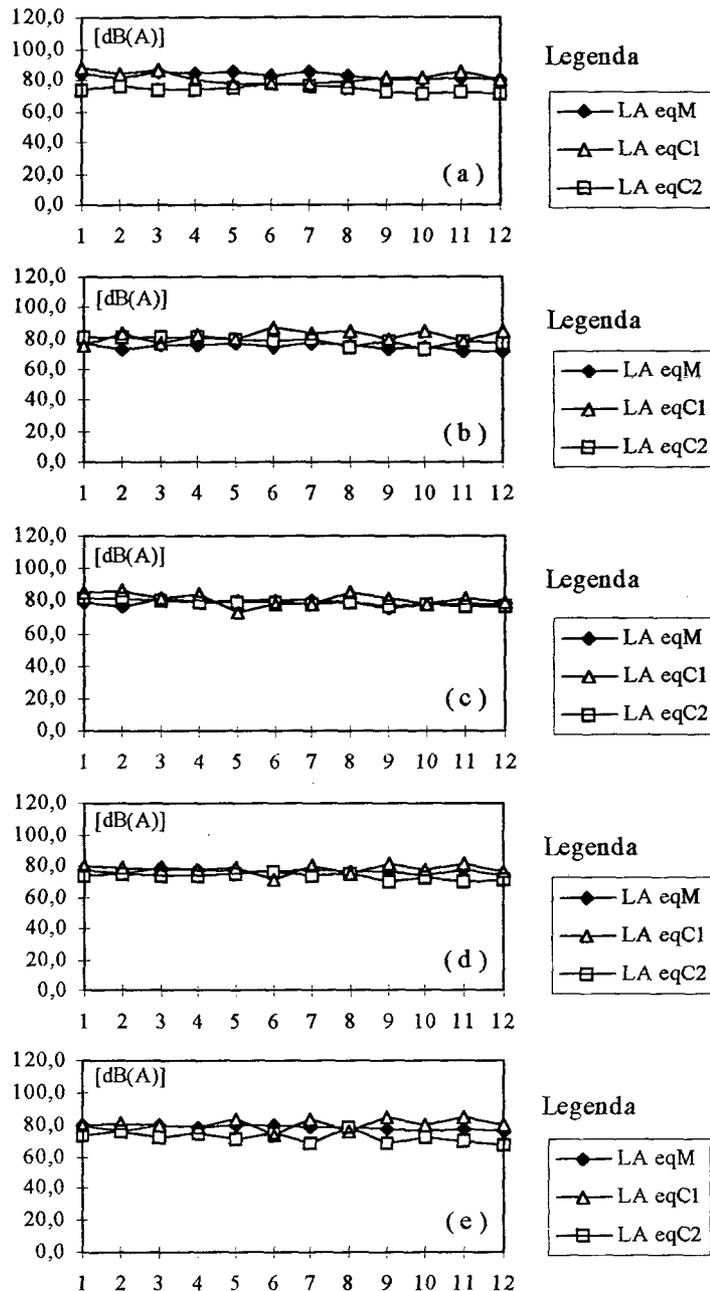


FIGURA 37 - Valores medidos e preditos do nível de pressão sonora equivalente-contínuo durante intervalos de 1h. Os gráficos de letra ( a ), ( b ), ( c ), ( d ) e ( e ) correspondem, respectivamente, aos pontos de medição P1, P2, P3, P4 e P5. Os números no eixo das abcissas correspondem aos períodos de medição, sendo que a seqüência dos números ímpares, referentes ao mês de julho, e dos pares, referentes aos meses de outubro, correspondem à seqüência dos intervalos horários de 6h-7h, 7h-8h, 18h-19h, 19h-20h, 21h-22h e 22h-23h.

Observando-se os resultados apresentados nesta figura, para o ponto P1 de medição na Rua Padre Eustáquio em trecho em aclive, o procedimento de cálculo 1, proposto neste trabalho, estimou valores mais próximos daqueles medidos do que o procedimento de cálculo 2 proposto por JRAIW [1987], sendo que este segundo procedimento subestimou os valores preditos em relação aos medidos de uma forma geral. Para o ponto P2, na Rua Três Pontas, trecho em declive, os valores preditos pelo procedimento de cálculo 2 estiveram mais próximos dos valores medidos em relação ao procedimento de cálculo 1 proposto. Nos pontos P3, Rua Padre Eustáquio, trecho em nível, e no ponto P4 na Avenida Dom Pedro II, os valores preditos pelo procedimento de cálculo 1 apresentaram-se mais dispersos em relação aos valores medidos, quando comparados com aqueles valores preditos pelo procedimento de cálculo 2. Para o ponto de medição 5, na Avenida Teresa Cristina, o comportamento foi semelhante ao verificado no ponto 2, com os valores preditos levemente mais dispersos em relação aos medidos para este último caso.

Pelo primeiro procedimento de cálculo, utilizou-se o conjunto das equações (25), (26) do item 4.2 e (33), (34) e (36) deste item nas vias selecionadas, com as correções para efeito da reflexão das fachadas [HEUTSCHI, 1995] e influência da declividade [BRE, 1976 p.1]. Pelo segundo procedimento, aplicou-se o conjunto das equações (37), (38) e (39) deste item nas vias selecionadas.

As Tabelas 23, 24, 25 e 26 apresentam valores medidos  $L_{A\text{ eqM}}$  e preditos do nível sonoro equivalente-contínuo pelos procedimentos de cálculo 1,  $L_{A\text{ eqC1}}$  e cálculo 2,  $L_{A\text{ eqC2}}$ . As diferenças entre os valores preditos e medidos para os procedimentos de cálculos 1 e 2,  $\Delta C1 = L_{A\text{ eqC1}} - L_{A\text{ eqM}}$  e  $\Delta C2 = L_{A\text{ eqC2}} - L_{A\text{ eqM}}$ , respectivamente, são apresentadas, assim como o desvio padrão destas diferenças e a raiz média quadrática, RMS.

No ponto P1 de medição verificou-se  $\Delta C1$  sempre maior que  $\Delta C2$ . As diferenças dispersaram menos em relação à média para o procedimento de cálculo 2 embora este apresentou um maior valor de RMS para as diferenças o que evidencia seu menor desempenho de predição em relação ao procedimento de cálculo 1. O procedimento de cálculo 2 pareceu não ser capaz de considerar a influência da declividade da via em termos do aclive presente no trecho da R. Padre Eustáquio que contém o ponto P1, pois todos os valores preditos estão num intervalo de 5 dB(A) e 10dB(A) inferiores que os valores medidos.

TABELA 23. Ponto de medição P1

$L_{A\text{ eqM}}$ [dB(A)]	$L_{A\text{ eqC1}}$ [dB(A)]	$L_{A\text{ eqC2}}$ [dB(A)]	$\Delta C1$ [dB(A)]	$\Delta C2$ [dB(A)]
84,5	87,1	73,5	2,6	-11,0
81,3	83,8	76,4	2,5	-4,9
85,1	86,5	74,1	1,4	-11,0
84,3	80,6	73,5	-3,8	-10,8
85,5	78,0	74,8	-7,5	-10,7
83,1	76,8	76,9	-6,3	-6,2
84,6	77,2	75,9	-7,4	-8,7
82,3	78,6	75,3	-3,7	-7,0
80,6	81,5	72,7	0,9	-7,9
80,1	80,7	71,5	0,6	-8,6
81,4	85,1	72,6	3,7	-8,8
80,4	80,1	71,6	-0,3	-8,8
Desvio Padrão	[dB(A)]		4,1	2,0
RMS $\Delta C1$	[dB(A)]		4,2	
RMS $\Delta C2$	[dB(A)]			8,9

TABELA 24. Ponto de medição P2

$L_{A\text{ eqM}}$ [dB(A)]	$L_{A\text{ eqC1}}$ [dB(A)]	$L_{A\text{ eqC2}}$ [dB(A)]	$\Delta C1$ [dB(A)]	$\Delta C2$ [dB(A)]
76,7	75,2	80,6	-1,5	4,0
73,3	83,2	80,8	9,9	7,5
76,3	77,0	80,4	0,7	4,2
75,5	82,6	80,7	7,1	5,2
76,7	79,2	80,1	2,5	3,4
74,1	87,1	78,6	13,0	4,5
76,5	82,9	79,9	6,4	3,4
75,5	85,4	73,8	9,9	-1,7
73,5	79,3	78,6	5,8	5,1
74,0	84,2	73,1	10,2	-0,9
71,8	78,6	78,1	6,8	6,3
71,7	84,6	76,5	12,9	4,8
Desvio Padrão	[dB(A)]		4,6	2,7
RMS $\Delta C1$	[dB(A)]		8,2	
RMS $\Delta C2$	[dB(A)]			4,6

TABELA 25. Ponto de medição P3

$L_{A\text{ eqM}}$ [dB(A)]	$L_{A\text{ eqC1}}$ [dB(A)]	$L_{A\text{ eqC2}}$ [dB(A)]	$\Delta C1$ [dB(A)]	$\Delta C2$ [dB(A)]
79,1	85,2	82,1	6,2	3,0
77,1	86,9	81,5	9,8	4,4
81,4	81,9	80,3	0,5	-1,1
79,0	83,9	78,7	4,9	-0,3
80,5	73,3	78,8	-7,2	-1,7
80,3	77,7	78,8	-2,6	-1,5
80,8	78,5	77,8	-2,3	-3,1
79,3	85,0	78,6	5,7	-0,7
75,4	81,1	77,1	5,7	1,7
77,7	78,5	78,0	0,8	0,3
78,4	81,3	76,6	2,9	-1,8
78,1	79,1	76,9	1,0	-1,2
Desvio Padrão	[dB(A)]		4,7	2,2
RMS $\Delta C1$	[dB(A)]		5,0	
RMS $\Delta C2$	[dB(A)]			2,1

TABELA 26. Ponto de medição P4

$L_{A\text{ eqM}}$ [dB(A)]	$L_{A\text{ eqC1}}$ [dB(A)]	$L_{A\text{ eqC2}}$ [dB(A)]	$\Delta C1$ [dB(A)]	$\Delta C2$ [dB(A)]
77,4	79,5	73,8	2,1	-3,6
75,3	78,4	74,6	3,1	-0,7
78,2	77,5	73,8	-0,7	-4,4
77,5	77,9	73,2	0,4	-4,3
76,4	78,2	74,4	1,9	-1,9
76,0	71,3	76,4	-4,7	0,4
77,3	80,4	73,6	3,2	-3,6
75,5	74,6	74,4	-0,9	-1,1
76,1	81,8	69,7	5,6	-6,5
74,0	77,4	71,9	3,4	-2,1
77,5	81,6	70,1	4,1	-7,3
73,7	76,4	70,9	2,7	-2,8
Desvio Padrão	[dB(A)]		2,8	2,3
RMS $\Delta C1$	[dB(A)]		3,1	
RMS $\Delta C2$	[dB(A)]			3,8

TABELA 27. Ponto de medição P5

$L_{A\text{ eqM}}$ [dB(A)]	$L_{A\text{ eqC1}}$ [dB(A)]	$L_{A\text{ eqC2}}$ [dB(A)]	$\Delta C1$ [dB(A)]	$\Delta C2$ [dB(A)]
79,1	80,0	73,8	0,9	-5,3
75,6	80,7	76,3	5,1	0,7
79,1	79,4	72,3	0,2	-6,8
78,7	77,8	74,7	-0,9	-4,0
79,6	83,0	71,1	3,4	-8,5
79,5	73,1	74,3	-6,4	-5,2
78,0	83,6	68,0	5,7	-9,9
78,2	76,4	78,4	-1,8	0,2
77,3	85,1	68,1	7,8	-9,2
76,4	79,3	72,0	2,9	-4,4
77,5	84,4	70,0	7,0	-7,5
76,1	79,3	66,8	3,2	-9,3
Desvio Padrão	[dB(A)]		4,1	3,5
RMS $\Delta C1$	[dB(A)]		4,5	
RMS $\Delta C2$	[dB(A)]			6,7

No ponto P2, o procedimento de cálculo 1 apresentou diferenças  $\Delta C1$  mais dispersas e com maior valor de RMS para tais diferenças, evidenciando um desempenho de predição inferior em relação ao procedimento de cálculo 2. Como se trata de um trecho em declive da R. Três Pontas, observou-se que a estimativa do nível de potência sonora a partir das velocidades dos veículos não foi coerente neste caso, pois maiores velocidades nestas circunstâncias nem sempre correspondem à maior radiação sonora do veículo.

No Ponto P3 o segundo procedimento de cálculo mostrou-se ainda mais preciso, com menores valores de  $\Delta C2$  e RMS das diferenças quando comparados com os respectivos valores do procedimento de cálculo 1. Talvez, por se tratar também de um trecho com certo declive, porém com menor declividade em relação ao ponto P2, este seja o motivo de menor desempenho do procedimento de cálculo 1 em relação ao procedimento 2. Pode-se observar que no ponto P3, com trecho em declive de menor declividade que aquele onde situa-se o ponto P2, o procedimento de cálculo 1 melhorou seu desempenho de predição.

No caso do ponto P4, os valores de  $\Delta C1$  e  $\Delta C2$  apresentaram uniformemente dispersos, com mesma ordem de grandeza de seus desvios padrões, sendo que o procedimento de cálculo 1 apresentou menor valor de RMS.

No caso do ponto P5, embora o procedimento de cálculo 1 apresentou valores de  $\Delta C1$  pouco mais dispersos que os de  $\Delta C2$ , seu valor de RMS foi superior em relação àquele do procedimento de cálculo 2.

Concluindo, ambos os procedimentos de cálculo devem ser aprimorados para se obter um melhor desempenho na previsão dos valores de  $L_{Aeq,1h}$ , dentro da diversidade de situações presentes no ambiente urbano. Pelo procedimento de cálculo 1, observou-se menores valores de RMS em 60% dos casos. Pelo procedimento de cálculo 2, observou-se os menores desvios padrões em 100% dos casos.

## CAPÍTULO 5

### DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

A partir da síntese e discussão dos resultados obtidos da análise que se desenvolveu no Capítulo 4 à respeito do o ruído de tráfego veicular em corredores de transporte urbano relacionado às condições de tráfego, geométricas e sob as condições meteorológicas presentes, foi possível extrair conclusões finais a partir da discussão destes.

#### 5.1 Considerações Finais sobre a Poluição Sonora

Quanto à poluição sonora oriunda do ruído do tráfego veicular à margem dos corredores selecionados, verificou-se que esta consiste numa característica constante, ou seja, os níveis de pressão sonora equivalente-contínuos medidos sempre estiveram superiores àqueles níveis sonoros máximos preconizados pela Lei Municipal no. 4.253 de 04/12/85, de forma que estes foram excedidos de 6 dB(A) a 30 dB(A). A poluição sonora esteve mais intensa no final e início dos horários noturno. Isto ocorreu devido ao fato que os valores dos níveis sonoros permitidos pela legislação em vigor,  $L_{Aeq,Lei}$ , variam em enquanto que os valores medidos de  $L_{Aeq,1h}$  apresentaram pouca variação entre os três horários nos períodos de medições realizados.

Quando os níveis de ruído de tráfego veicular excedem os valores de níveis sonoros permitidos pela Lei no. 4.253 de 04/12/85, esta, no seu capítulo referente à poluição sonora, adverte sobre a necessidade da Secretaria Municipal do Meio Ambiente articular-se com órgãos competentes, para adoção de medidas para controle do incômodo. Para uma melhor relação entre o custo e benefício de medidas de controle de ruído de tráfego a serem definidas na administração municipal, é importante um estudo prévio da situação da exposição da população ao ruído ambiental e comparação com os resultados obtidos da resposta estimada da comunidade ao ruído apresentados neste trabalho.

Mesmo o ruído de fundo, descrito pelo percentil  $L_{A90,1h}$  esteve, no mínimo, com mesma ordem de grandeza que os valores do  $L_{Aeq,Lei}$  na maioria dos casos observados. Os valores do

percentil  $L_{A90,1h}$  variaram mais que os valores de  $L_{Aeq,1h}$  e, conseqüentemente que o percentil  $L_{A10,1h}$ , pois estes dois últimos valores correlacionam-se pelas equações (22), (23) e (24).

Durante os períodos de medição, à medida que se aproximava dos horários de maior volume de tráfego, os valores do percentil  $L_{A90,1h}$  tenderam a aumentar diminuindo o valor  $(L_{A10,1h} - L_{A90,1h})$ . Tal diminuição tende à reduzir o valor do TNI. Porém, mesmo reduzindo o suposto incômodo em relação ao ruído de tráfego, o desconforto acústico ainda persiste quando se observa tanto os próprios valores de TNI que sempre excederam o valor de 74 TNI recomendado, sendo que estes valores estiveram dentro do intervalo [ 78 TNI, 140 TNI], como pela resposta estimada da comunidade. Esta esteve variando entre queixas generalizadas até ações comunitárias com vigor para os corredores de transporte representados pelas ruas Padre Eustáquio e Três Pontas. No caso das avenidas Dom Pedro II e Teresa Cristina a resposta estimada da comunidade variou entre queixas esporádicas até a transição entre ações comunitárias com ou sem vigor. Entre as ruas e avenidas pesquisadas, observou-se que a resposta estimada ao ruído de tráfego, tendo em vista que este consistiu na principal fonte de ruído ambiental, foi mais intensa nas ruas do que nas avenidas, conforme ilustra a Tabela 28.

TABELA 28. Resposta estimada ao ruído entre ruas e avenidas

Resposta Estimada da Comunidade Descrição	Corredores de Transporte	
	Ruas	Avenidas
Não se observa reação	-	-
Queixas esporádicas	-	x
Queixas generalizadas	x	x
Ação comunitária	x	x
Ação comunitária vigorosa	x	-

Embora as avenidas, com maior volume de tráfego, tenderam, em certos casos, a possuir maiores valores do percentil  $L_{A90,1h}$ , para um mesmo horário de medição, estas não possuíram os maiores níveis de ruído em termos do percentil  $L_{A10,1h}$  ou do nível de pressão sonora equivalente-contínuo,  $L_{Aeq,1h}$  quando comparadas com as ruas. Assim, maior volume de tráfego, nem sempre significa maiores níveis de ruído. Características de composição do tráfego, em termos de porcentagem de veículos pesados, e geométricas, como declividade das pistas, largura da via, relação entre altura das edificações e distância entre as fachadas,  $H_e/d_e$ , presença ou não de elementos centrais separadores dos sentidos de fluxo, e as próprias características geométricas destes elementos, são parâmetros complementares importantes influentes nos níveis de ruído da via, principalmente em termos do décimo percentil e nível sonoro equivalente-contínuo. Definir qual destas características é a mais influente no resultado final do ruído de tráfego está além do

âmbito da presente pesquisa, mas a busca desta definição será uma importante investigação para futuros trabalhos. Estudos aprofundados neste sentido poderão orientar a tomada de decisões no processo de controle de ruído ambiental à nível urbano, elucidando sobre a ordem de grandeza da capacidade de redução do ruído através de medidas de controle da propagação sonora, comparadas com as medidas de controle na fonte sonora e no receptor.

## **5.2 Considerações Finais sobre as Distribuições Estatísticas de Frequência Relativa**

Verificou-se que nem sempre as distribuições estatísticas puderam ser caracterizadas predominantemente como distribuições gaussianas. As configurações das distribuições estatísticas dos níveis de pressão sonora variaram no tempo e no espaço. Assim, conforme o período do dia e entre os meses de medição, devido às características do tráfego, em termos de sua composição e volume, verificou-se alterações no comportamento de distribuição estatística dos níveis de pressão sonora.

Após o agrupamento das distribuições estatísticas dos níveis de pressão sonora, em termos de frequência relativa, em distribuições de frequência simétricas, assimétricas, bimodais e multimodais, baseando-se na configuração destas, informações quantitativas e qualitativas puderam ser extraídas, para uma melhor compreensão das relações entre as condições do tráfego veicular e a distribuição dos níveis de pressão sonora dele resultantes. Cerca de 42% destas distribuições puderam ser consideradas simétricas, 8% assimétricas positiva, 15% assimétricas negativa, 30% bimodais e 5% multimodais.

As distribuições simétricas foram mais frequentes no mês de outubro com 72% do casos observados. Nos meses de julho tal tipo de distribuição ocorreu sempre próximo aos horários de maior volume de tráfego. Tal fato demonstrou que à medida que o tráfego torna-se mais volumoso e estacionário as distribuições estatísticas acumuladas dos níveis de pressão sonora devido ao tráfego veicular aproximam-se da distribuição gaussiana conforme observou LAMURE [1975, em ALEXANDRE e BARDE, 1975, p. 104]. Nestas condições, a aplicação das equações (5) e (22) apresentará um resultado mais preciso em termos do TNI e de previsão do percentil  $L_{10}$ . Esta distinção entre os meses de julho e outubro quanto à frequência de ocorrência de distribuições simétricas sugerem que mudanças sazonais nas condições do tráfego podem exercer influência na distribuição estatística dos níveis de pressão sonora devido ruído de tráfego veicular.

As distribuições de frequência assimétricas negativa e positiva ocorreram em situações onde o volume de tráfego foi mais intenso e menos intenso respectivamente. As distribuições assimétricas negativas predominaram nas avenidas enquanto as positivas predominaram nas ruas onde as medições se realizaram.

Nas distribuições bimodais, dois tipos característicos de situação foram encontrados em relação aos dois pontos de máximos da curva, partindo-se do princípio de que o segundo máximo, da esquerda para a direita nos histogramas, possui ponto central de intervalo de classe com valor do nível de pressão sonora da mesma ordem de grandeza daqueles emitidos pela passagem de veículos pesados. Assim, no primeiro tipo de curva bimodal, tem-se quando o segundo máximo foi mais freqüente que o primeiro, verificou-se que os veículos pesados são predominantes na composição do tráfego. Para o segundo tipo, quando a freqüência do segundo máximo foi inferior à do primeiro, houve predominância dos veículos leves na composição do tráfego. Quanto menor a diferença entre tais máximos, mais significativa é a presença de veículos pesados na composição do tráfego.

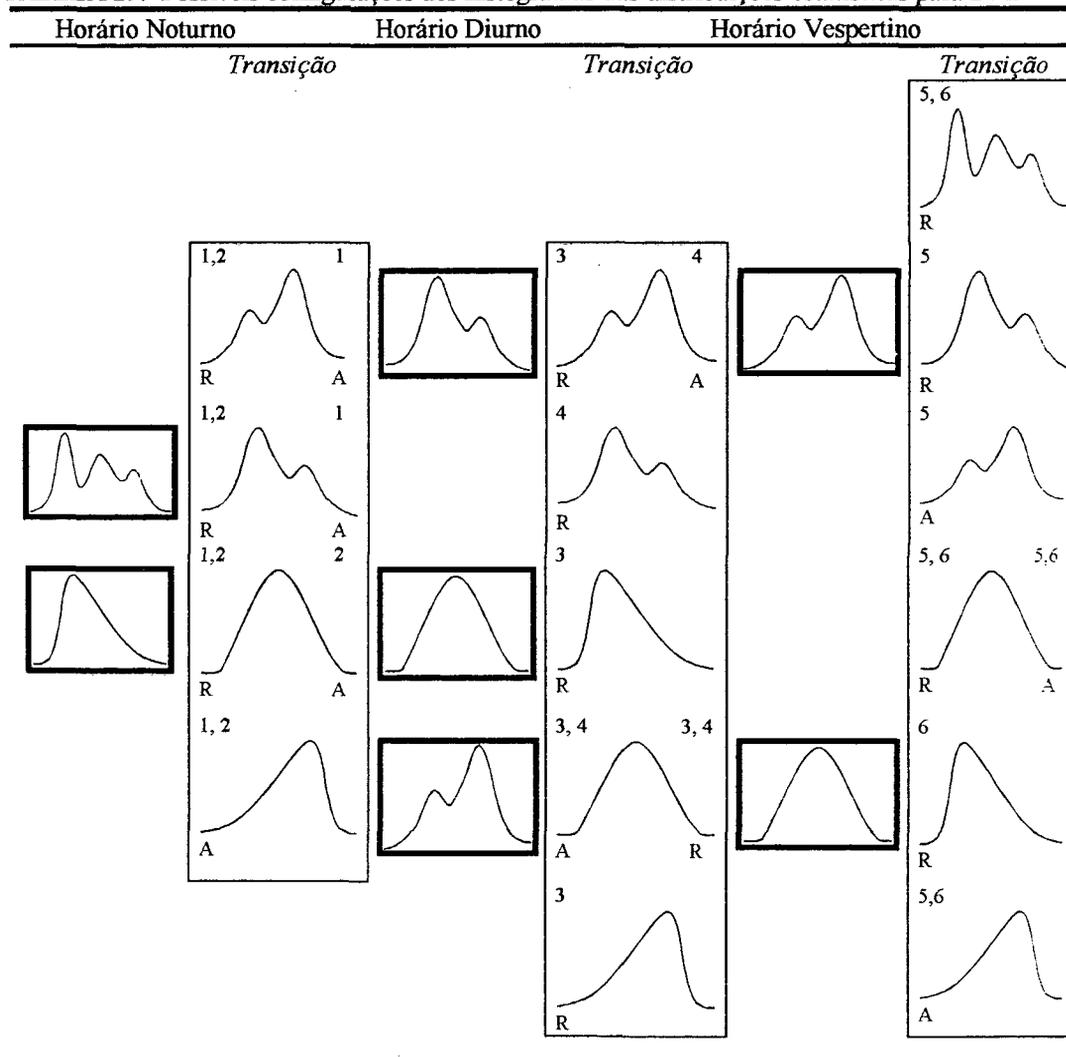
As distribuições multimodais verificadas tenderam a possuir três máximos mais freqüentes. O primeiro máximo situa-se no ponto central do intervalo de classe cujo valor do nível de pressão sonora corresponde ao valor do percentil  $L_{A90,1h}$ . O segundo e terceiro máximos corresponderam aos valores de nível de pressão sonora relativos à passagem de veículos leves e pesados respectivamente. Da relação entre os três máximos, verificou-se dois tipos de comportamento: ( a ) o primeiro máximo maior que o segundo que é maior que o terceiro e ( b ) o segundo máximo maior que os demais, sendo o primeiro maior que o terceiro. Tais configurações foram características da transição entre os horários vespertino e noturnos, quando a presença do ruído de fundo começa a se tornar predominante devido à diminuição do volume de tráfego. Quando a situação ( b ) se verificou, o contraste entre o ruído de fundo e o ruído da passagem dos veículos, tornou-se maior, tendendo a provocar um maior incômodo na comunidade, em termos do TNI, devido ao caráter mais intermitente que o tráfego passou a ter.

Pelo comportamento das distribuições estatísticas acima observadas, a Tabela 29 sintetiza e indica tendências de comportamento durante as 24h do dia para as vias pesquisadas. Nesta tabela, as distribuições com moldura fina representam resultados das medições realizadas. As letras abaixo de cada configuração indicam em que tipo de via as distribuições ocorreram, ou seja, em ruas, letra R, ou nas avenidas, letra A. Os números na parte superior e alinhado com cada tipo de via representam os horários de medição em que cada distribuição ocorreu, sendo

que 1, 2, 3, 4, 5, 6 correspondem aos horários 6-7h, 7-8h, 18-19h, 19-20h, 21-22h e 22-23h, respectivamente. As distribuições em moldura espessa representam possíveis distribuições que podem ocorrer nos demais períodos entre aqueles observados. Para maior precisão da conformação destas distribuições, medições complementares devem ser realizadas.

Da análise das distribuições estatísticas, em termos de frequência relativa pôde-se ter uma idéia do comportamento dos níveis sonoros, a partir do conhecimento das condições de tráfego de um determinada via e de suas características geométrica e vice-versa. Amostras de distribuições dos níveis de pressão coletadas num período de uma hora durante seis horas de medição diária e relacionadas com as condições de tráfego e geométricas das vias trouxeram informações válidas para uma melhor compreensão das relações entre o ruído de tráfego veicular e as condições de tráfego e da geometria do local.

TABELA 29. Possíveis configurações dos histogramas das distribuições estatísticas para 24 h



### 5.3 Considerações Finais sobre as Distribuições Estatísticas Acumuladas

Do comportamento das distribuições de frequência relativa acumulada dos níveis de pressão sonora, enfocou-se principalmente os percentis  $L_{A10,1h}$  e  $L_{A90,1h}$ , em termos de:

- (a) sua variação durante as seis horas de levantamento por cada um dos cinco pontos de medição, e
- (b) sua variação entre os pontos de medição para cada hora dos períodos do levantamento de ruído do tráfego veicular.

Do primeiro tipo de variação percebeu-se um aumento e diminuição periódicos dos percentis das curvas de distribuição estatística acumulada, durante o dia, conforme se aproxima e se afasta dos horários de maior e menor volume de tráfego, respectivamente em cada ponto de medição. Quando esta variação foi acompanhada de aumento da declividade das curvas, evidenciou-se que os percentis  $L_{A90,1h}$  variaram mais que os percentis  $L_{A10,1h}$ . Esta amplitude de variação dos percentis  $L_{A90,1h}$  em relação aos percentis  $L_{A10,1h}$  foi maior nos corredores de transporte que penetram em áreas residenciais do que naqueles que margeiam tais áreas.

Do segundo tipo de variação, observou-se que a amplitude de variação entre os percentis  $L_{A90,1h}$  tendem a ser maiores que aquela entre os percentis  $L_{A10,1h}$  entre os corredores de transporte para um mesmo horário de medição e em condições de declividade semelhantes.

### 5.4 Considerações Finais sobre o Nível de Potência Sonora do Tráfego Veicular

A determinação dos níveis de potência sonora do tráfego veicular foi realizada com velocidades do fluxo de veículos em estrada, ou seja, superiores àquelas mais características dos veículos no tráfego urbano. O coeficiente de correlação das equações propostas estiveram 0,078 e 0,073 unidades inferiores aos coeficientes de correlação encontrados por YOSHIHISA e TACHIBANA [1988, p.1165] em relação à equação para veículos leves e pesados respectivamente. Aconselha-se, futuramente, realizar o procedimento de determinação do nível de potência sonora utilizando-se veículos de teste trafegando em velocidades mais características da situação do tráfego urbano, aumentando o número de amostras, e incorporando outras

variáveis como a declividade da pista, e o efeito da aceleração, as quais não foram consideradas no presente trabalho.

Em termos gerais, devido ao fato verificado de que as velocidades dos veículos pesados foram inferiores àsquelas dos veículos leves em torno de 10 km/h, em média, para as condições de tráfego urbano, observa-se que, nesta circunstância, aplicando-se as equações (25) e (26), o nível de potência sonora entre ambas as categorias de veículos pode ser considerado praticamente o mesmo.

### **5.5 Considerações Finais sobre os Procedimentos de Cálculo para Previsão do $L_{Aeq,1h}$**

Da análise dos modelos de previsão apresentados, que estimam valores de  $L_{Aeq,1h}$  a partir de outras grandezas acústicas, de tráfego e geométricas sob as condições meteorológicas presentes na base de dados gerada, nota-se que pela diferença verificada entre os valores preditos e medidos, há necessidade de aperfeiçoamento de ambos os modelos.

No caso do modelo proposto neste trabalho, verificou-se que nem sempre o nível de potência sonora pode ser bem definido pela velocidade quando se está diante de situações geométricas distintas, como em aclave e declive, sendo possível verificar valores diferentes de nível de potência sonora entre uma situação e outra, para uma mesma velocidade do fluxo de veículos. Um estudo mais detalhado será útil para definir uma função que melhor descreva a variação da pressão sonora com o tempo, devido à passagem de veículos em relação à um ponto de observação, para se aprimorar a equação (28), apresentada neste trabalho.

Quanto ao modelo oriundo da análise de regressão desenvolvido por JRAIW [1987] na Inglaterra talvez este necessite de ser ajustado às condições da realidade brasileira, devido às diferenças culturais em termos das características : ( a ) dos veículos; ( b ) de comportamento dos motoristas na condução destes; ( c ) e geométricas do ambiente construído. Porém, o teste com outros modelos estrangeiros devem ser realizados para melhor verificar esta possível influência relativa às diferenças culturais.

### **5.5 Futuros Trabalhos**

Embora a análise aqui desenvolvida tenha sido realizada para uma área específica da cidade de Belo Horizonte, é possível, a partir das informações produzidas neste trabalho, ter-se uma

idéia da situação dos demais corredores de transporte urbano de características semelhantes aos selecionados para o presente estudo, em termos dos níveis de ruído do tráfego veicular e resposta estimada da comunidade local. A extensão do presente trabalho em outras áreas e vias, porém, é importante para melhor verificação dos resultados aqui apresentados, em termos de se estabelecer em que contextos tais resultados podem ser generalizados.

Dando seqüência ao trabalho aqui realizado, o estudo de correlação entre os Níveis de Serviço, LOS, cujo conceito foi definido no Capítulo 2, com a resposta estimada da comunidade exposta ao ruído de tráfego veicular nas vias arteriais consiste numa importante investigação dentro da linha de pesquisas em Capacidade Ambiental.

Modelos de previsão em ruído de tráfego veicular são valiosos instrumentos pelos quais os estudos de Impacto e Capacidade Ambiental podem se tornar mais eficientes, repercutindo até mesmo sobre recomendações sobre a apropriação do solo urbano lindeiro aos corredores de transporte, em termos de seu parcelamento, uso e ocupação pela comunidade. Assim, esforços de pesquisa no desenvolvimento de modelos desta natureza também devem ser incentivados.

Pretende-se, em pesquisas futuras, ampliar a perspectiva da análise aqui desenvolvida para o âmbito da análise espectral, importante, por exemplo, para estudos de isolamento sonoro nos edifícios lindeiros aos corredores de transporte urbano.

Enfim, espera-se que os resultados desta pesquisa sirvam de estímulo para futuros trabalhos sobre ruído ambiental, no sentido de se constituírem em esforços sinérgicos para o resgate e manutenção do conforto acústico no ambiente construído das grandes cidades brasileiras. O ruído ambiental insere-se no conjunto de fatores ambientais essenciais à qualidade de vida das populações nas grandes aglomerações urbanas, devendo, portanto, ser monitorado com empenho pelos órgãos de planejamento responsáveis. Atenção especial deve ser dada ao ruído de tráfego veicular, pois, de maneira geral, a estrutura vigente de transporte urbano e a apropriação do solo das cidades, em termos de seu parcelamento, uso e ocupação, coloca as populações mais vulneráveis à ele.

## BIBLIOGRAFIA

- ALIM, O. A. "A general study for the problem of road traffic noise" in: anais do Congresso internacional de engenharia de controle de ruído - Internoise 80, vol.2 , Miami, FL 8-10 December 1980, New York, Noise Control Foundation 1980, p. 863-866.
- ALVARES, Pedro A. S. e SOUZA, Fernando P. "A poluição sonora em Belo Horizonte." *Rev. Acústica & Vibrações* , 10 , Fevereiro.,1992, p. 23-42.
- ANDRÉS, Maurício. "Notas sobre o corpo urbano de Belo Horizonte." *Revista Fundação João Pinheiro*, v. 5 (4), Abril, 1975, p.13-20.
- ASSOCIAÇÃO Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 10151 - *Norma para Tratamento acústico em recintos fechados* (revisão). ABNT, 1971, 11p.
- ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE MUNICÍPIOS. Constituição. *Proposta de Constituição Municipal*. Belo Horizonte 17/07/1989, 75p.
- BAILLY, Antonie S. *Teorias y modelos*. Madrid, Instituto de Estudios de Administracion Local, 1978.
- BELO HORIZONTE, Prefeitura ( Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte S.A.) *Plano de reestruturação do sistema de transporte coletivo de Belo Horizonte - BHBUS. Síntese dos estudos e proosições*. Belo Horizonte, BHTRANS, 1996, 52 p.
- BELO HORIZONTE, Prefeitura ( Secretaria Municipal do Meio Ambiente ). *Lei Ambiental do Município*. Belo Horizonte , SEMMA, 1993, 89p.
- BELO HORIZONTE, Prefeitura ( Secretaria Municipal do Meio Ambiente ). *Diagnóstico de ruído urbano de Belo Horizonte*. Belo Horizonte , SEMMA, 1988, 52p.
- BELO HORIZONTE, Prefeitura ( Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano). *Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano de Belo Horizonte*. Belo Horizonte, SMDU, 1985.
- BENTO COELHO, J.L. "Ruído no ambiente de trabalho : aspectos técnicos e legislação, na Comunidade Européia ", in Anais do 16<sup>º</sup> Encontro Anual da Sociedade Brasileira de Acústica - SOBRAC, vol.2, Novembro 1995, p.31-34.
- BENTO COELHO, J.L. "Ruído urbano: monitoração e modelação de ruído de tráfego rodoviário" in Anais do 16<sup>º</sup> Encontro Anual da Sociedade Brasileira de Acústica-SOBRAC, vol.2, Novembro 1995, p.35-42.
- BENTO COELHO, J.L; VALADAS, Bertília e GUEDES, Margarida. "Ruído ambiente em Portugal ", *Rev. Acústica & Vibrações* , no. 18 , Dezembro, 1996, p. 17-32.

- BIAGI, J.D. e SILVA, I. J. O. "Software para determinar as propriedades psicrométricas do ar" in Anais do XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola; vol. II, 16 à 20 de Julho Piracicaba-SP, 1990, p. 1161-175.
- BRASIL. Constituição (1988) *Constituição: República Federativa do Brasil*. Brasília : Senado Federal, Centro Gráfico, 1988, 292 p.
- BRASIL. Código Nacional de Trânsito. Nova Coletânea de Legislação de Trânsito / Carlos Flores Lazzari, Ilton Roberto da Rosa Witter comp. - 7a. ed. Sagra - DC Luzzatto, 1993, p.141-46.
- BRASIL, Leis, decretos, etc. Legislação federal: *Controle da poluição ambiental* (atualizado até fev. 1993) - São Paulo, CETESB, 1993.
- BRASIL. Relatório Técnico. *Tráfego e meio ambiente*. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia / Universidade Federal do Rio de Janeiro; Departamento Nacional de Trânsito / Ministério da Justiça. Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ; DENATRAN/MJ (Relatório Preliminar), 1980.
- BRITISH STANDARD BS-7445. *Description and measurement of environmental noise. Part 1, 2 e 3*, 1982/87.
- BROWN, A. L. "Prediction of noise levels from freely-flowing road traffic: an evaluation of current models" *Australian Road Research*, vol.8, no. 4, December 1978, p. 3-14.
- BRUNETTI, F. ; CALABRESE, A. ; DI GIULIO , A. ; MAINARDI P. ; VIZZARDI, A. - "Urban traffic noise: experimental results and previsional models", in: Anais Euro-noise, 1995 p.169-74.
- BRÜEL & KJAER. *Technical documentation.. Precision integration sound level meter type 2236*. Naerum. Brüel & Kjaer, october, 1993.
- BRÜEL & KJAER. *Technical documentation.. dB2XL Microsoft Exel communication Macro type 7692* ( for precision integrating sound level meter 2236). Naerum. Brüel & Kjaer, april, 1994.
- BUILDING RESEARSH ESTABLISHMENT DIGEST, *Prediction of traffic noise: part 1*, BRE, Garston, 1976, 8p.
- BUILDING RESEARSH ESTABLISHMENT DIGEST, *Prediction of traffic noise: part 2*, BRE, Garston, 1976, 4 p.
- BURGESS, M. Relationship between  $L_{10}$  and  $L_{eq}$  for noise from road traffic. Aust. Road Res. 8(3), 15-18 (1978). Ergon. Abstr. 77280 ( No. 3, 1979).

- BURGESS, M. "Trends in traffic noise research over 25 years". in : anais do Congresso internacional de engenharia de controle de ruído - Internoise 96, vol.1 , Liverpool, UK 30 July - 2 August 1996, St. Albans, editado por F. Alison Hill e Roy Lawrence, Institute of Accoustics, 1996, p. 371-76.
- CAMMARATA, G.; FICHERA, A.; GRAZIANI, S.; MARLETTA, L. "Comparison of innovative approaches to noise pollution evaluation". Ft. Lauderdale, Florida, Anais Noise-Con 94, May 01-04, 1994, p. 99-104.
- CHEW, C.H. " Prediction on traffic noise from expressway - part 1 : buildings flanking one side of expressway" *Applied Acoustics* vol.28, no. 3, 1989, p. 203-212.
- CHEW, C.H. " Influence of inclined buildings on road traffic noise" *Applied Acoustics* vol.45, no.1, 1995, p. 29-46.
- CHIQUETTO, Sérgio Luís - *Proposta metodológica para avaliação da capacidade ambiental em áreas urbanas sob a ótica da contaminação atmosférica provocada pela circulação de veículos automotores*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, COPPE / UFRJ, 1991.
- CHOAY, Françoise. *O Urbanismo: utopias e realidade, uma antologia*. São Paulo, Perspectiva S.A., 1979.
- COSTA, Ennio Cruz da. *Física aplicada à construção: conforto térmico*. 4a. ed. São Paulo. Blücher, 1974, 264 p.
- CREMONESI, José Fernando. *Ruído Urbano*. Dissertação de Mestrado, FAU-USP, 1984.
- DEL CARLO, Ualfrido. *Ruído Urbano*. Tese para Livre Docência, FAU-USP, 1979.
- ECO, Umberto. *Como se faz uma Tese*. Tad. por Gilson César Cordoso de Souza. São Paulo, Perspectiva, 1983, p.184.
- FREITAS, Ilse Marília D. P. *Metodologia para determinação da capacidade ambiental de vias urbanas : o caso das interseções semaforizadas*. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro, COPPE / UFRJ, 1990.
- GABILLET, Yannick; VAN MAERCKE, Dirck - "Outdoor noise propagation in urban area: principles and use of the mithra software". in: Anais Euro-noise'95, 1995, p. 137-42.
- GRAY, Larry. "Community noise control" in : anais do Congresso internacional de engenharia de controle de ruído - Internoise 80, vol.2 , Miami, FL 8-10 December 1980, New York, Noise Control Foundation 1980, p. 795-98.
- GERGES, Samir N. Y. *Ruído: fundamentos e controle*. Florianópolis, UFSC, 1992, 600 p.
- HASSALL, J. R. e ZAVERI, K. *Acoustic noise measurements*. Naerum (DK), Brüel & Kjaer, 4th edition, p.185-99.

- HERSKOVITS, J. Melville. *Antropologia Cultural*. Trad. por Maria Jose de Carvalho e Hélio Bichels da 8a. ed. inglesa. São Paulo, Mestre Jou, tomo I, 1963, 287p.
- HEUTSCHI, K. "A simple method to evaluate the increase of traffic noise emission level due to buildings, for a long straight street" *Applied Acoustics* vol.44, no. 3, 1995, p.259-74.
- INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION - ISO 7726 - 85. *Thermal environments - Instruments and methods for measuring physical quantities*. 1985.
- JRAIW, Kadhim S. "A "computer model to asses and predict road transport noise in built-up areas" *Applied Acoustics* vol.21, 1987, p.147-162.
- LANGDON, F. J. "The problem of measuring the effects of traffic noise" in: A. Alexandre et al., *Road Traffic Noise* (Applied Science Publishers), 1975, pp.27-69.
- LAMURE, C. " Noise emitted by road traffic" in : A. Alexandre et al., *Road Traffic Noise* (Applied Science Publishers), 1975, pp.85-129.
- MAKAREWICZ, Rufin "Theoretical foundation of urban noise control" *J. Acoust. Soc. Am.* vol.74, no. 2 August 1983, p.543-58.
- MAKAREWICZ, Rufin e KRASNOWSKA, Ingrid "Traffic noise attenuation in an urban area in terms of A- weighted sound exposure level". *Applied Acoustics* vol.37, no.1, 1992, p.65-74.
- MAKAREWICZ, Rufin "Reflection of noise from a Building's facade" *Applied Acoustics* vol.43, no. 2, 1994, p.149-157.
- MARCONI, Marina de Andrade e LAKATOS, Eva Maria. *Técnicas de pesquisa : planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação de dados*. São Paulo, Atlas, 1986.
- MARIEL, Bernard; GENDRE ,Jean-Claude; JOUIN ,Denis - "VISIGO : un systeme expert pour la gestion du bruit routier en mileu urbain" , in : Anais Euro-noise 1995, p. 175- 78.
- MARTINS, Wagner Clombini, et alli - *Modelo empirico para previsão de ruido de tráfego para cidade de São Paulo*, São Paulo, Comunicação Técnica IPT no. 304, 1984.
- MIGERON, Jaen-Gabriel, et alli "Prediction of outdoor and traffic noise modelisation-examples with the Impact software" in : Anais Euro-noise, 1995 p.131-36.
- MILLARD, Claude; LOZIA, Jean Louis "Microbruit : logiciel de prevision acoustique en exterieur" in : Anais Euro-noise, 1995, p. 155-60.
- MINAS GERAIS, Constituição, 1989 *Contituição do Estado de Minas Gerais*, de 21/09/1989. Belo Horizonte, Assembléia Legislativa, 1989, 195 p.

- MOTA, Suetônio. *Planejamento urbano e preservação ambiental*. Fortaleza, UFCE, 1981, p. 55-60, 159-173.
- ODUM, P. Eugene. *Ecologia*. Rio de Janeiro : Guanabara S.A. , 1988,. 434 p.
- POMPOLI, R. et alli “Intercomparison of traffic noise computer simulations”. AICB Conference, Itália, Bologna, 1994.
- PRODABEL - Mapas planialtimétricos do Município de Belo Horizonte , Esc. 1:200.
- QUERRIEN, Anne “Civilização das cidades e patologias urbanas” in: *Ciência e tecnologia hoje*, Nicolas Witkowski direção e coordenação; [tradução Roberto Leal Ferreira].-São Paulo: Ensaio, 1995, p.61-62.
- REYNOLDS, Douglas D. *Engineering principles of acoustics : noise and vibration control*. Allyn & Bacon inc. Boston, 1981, 641 p..
- ROLLA, Stelamaris. “Avaliação da poluição sonora na Cidade de Campinas - SP” in : Anais do I Congresso Brasil / Argentina e 15<sup>o</sup> Encontro Anual da SOBRAC, Abril, 1994, p. 349-56.
- ROTT, João Antônio Agostini. *Mapa simplificado de ruído para a cidade de Porto Alegre* Dissertação de Mestrado; Porto Alegre; CPGEC / UFRS, 1995.
- SANDBERG, U. “A new vehicle noise measuring method replacing the ISO 362 principle”. in : anais do Congresso internacional de engenharia de controle de ruído - Internoise 96, vol.1 , Liverpool, UK 30 July - 2 August 1996, St. Albans, editado por F. Alison Hill e Roy Lawrence, Institute of Acoustics, 1996, p. 353-58.
- SANTOS, Milton. *A urbanização brasileira*. São Paulo, Huitec, 1993.
- SATTLER, Miguel Aloysio; ROTT João Antônio A.- “Levantamento de ruído urbano orientado para o receptor, com base em ruído de tráfego” in: Anais do I Congresso Brasil/ Argentina e 15<sup>o</sup> Encontro Anual da SOBRAC, Abril 1994, p. 335-38.
- SILVA, P. Martins. *Ruído urbano : modelos de previsão*. Lisboa; Ministério da Habitação e Obras Públicas. LNEC; memória no. 508, 1978, pp. 320.
- SPIEGEL, Murray R. *Estatística* ; tradução e revisão técnica Pedro Consentino-3a. ed-São Paulo: Makron Books, 1993. - ( Coleção Schaum), p. 639.
- TRACZ, Marian; BOHATKIEWIZ, Janusz “Effect of Traffic Conditions on Traffic noise at signalised intersection”. in : Anais Euro-noise’95, 1995, p. 149-54.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. *Highway capacity manual* Special Report 209 National Research Council Washington, D.C. 1985.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. *Highway capacity manual* Special Report 209 3a.ed. National Research Council Washington, D.C. 1994.

VALADARES, Victor. M. e GERGES, Samir.Y. "Ruído de tráfego veicular em áreas urbanas: base de dados preliminar", in Anais do 17º Encontro Anual da Sociedade Brasileira de Acústica - SOBRAC, Dezembro, 1996, p.203-06.

YOSHIHISA, Koichi; TACHIBANA, Hideki. "Sound Power Level Measurements for road vehicles by using the square-integrating technique". in : anais do Congresso internacional de engenharia de controle de ruído Inter-noise vol. 2, 1988, p. 1163-166.

YOSHIHISA, Koichi; TATSUDA, Kenji; TACHIBANA, Hideki. "Sound power levels of road vehicles road by the square-integrating technique". in : anais do Congresso internacional de engenharia de controle de ruído Inter-noise vol. 2, 1991,p. 353-56.

## Anexo

### A.1- Dados Originais Utilizados para Análise do Item 4.1.4

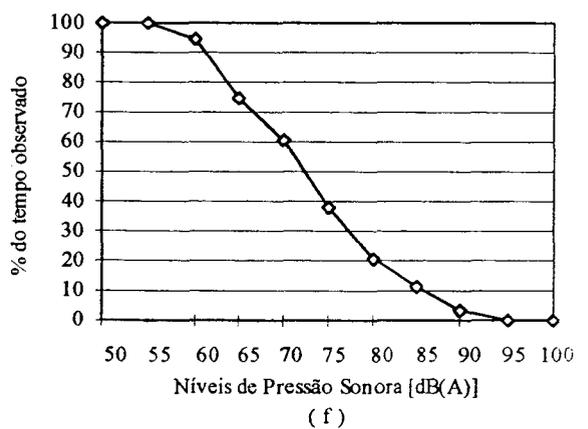
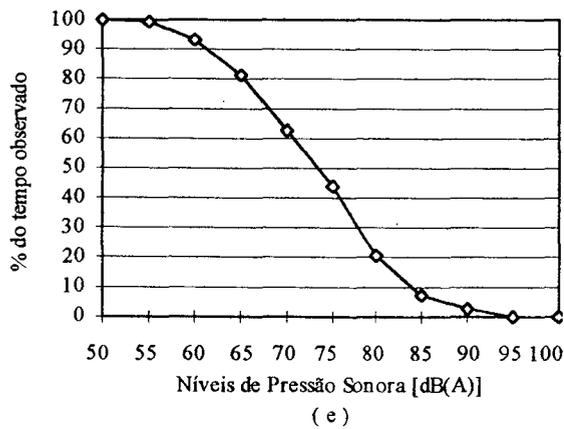
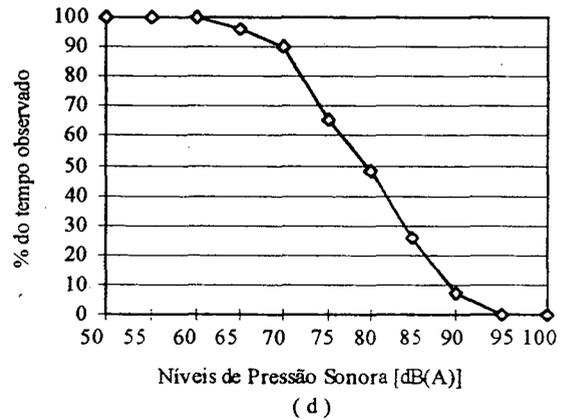
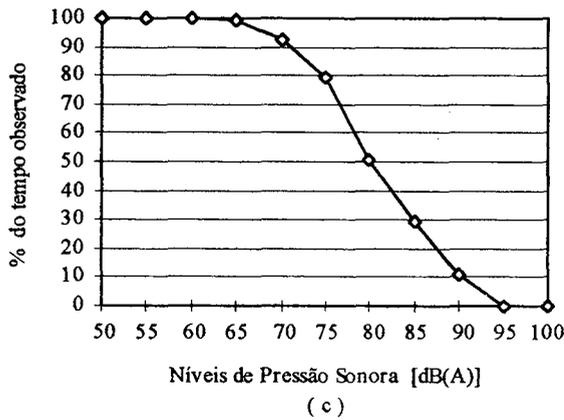
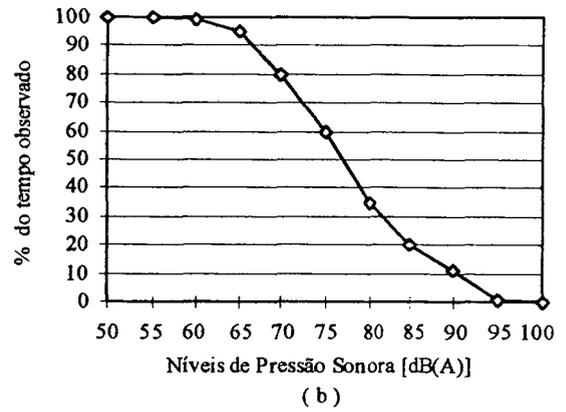
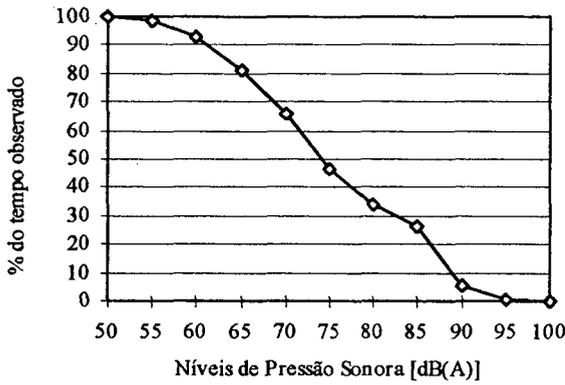
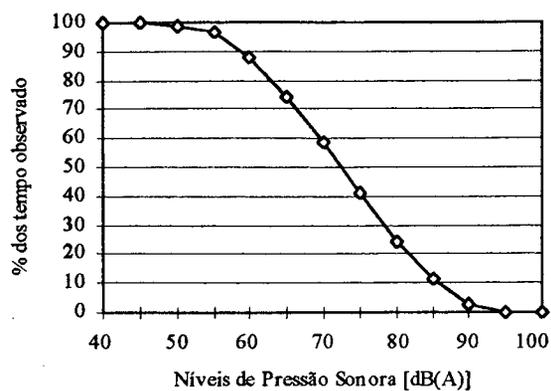
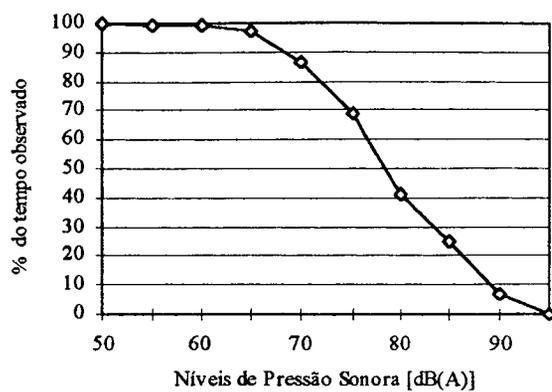


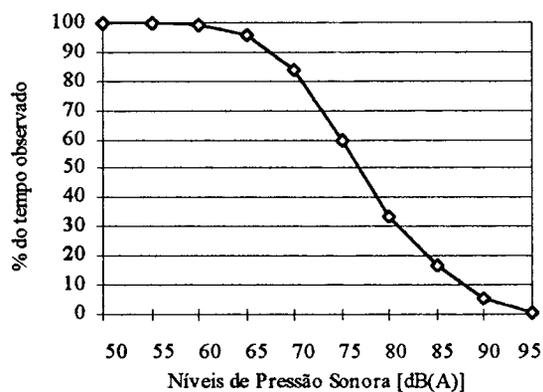
FIGURA A.1.1 - Distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora no ponto P1 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96.



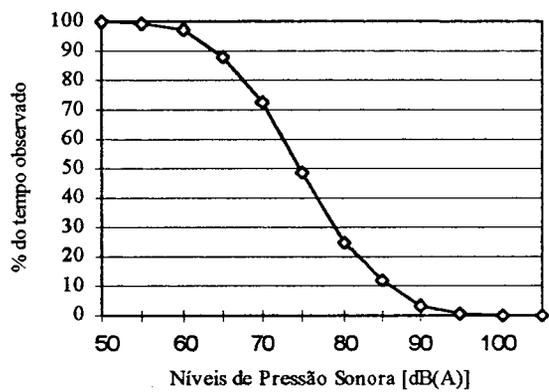
(a)



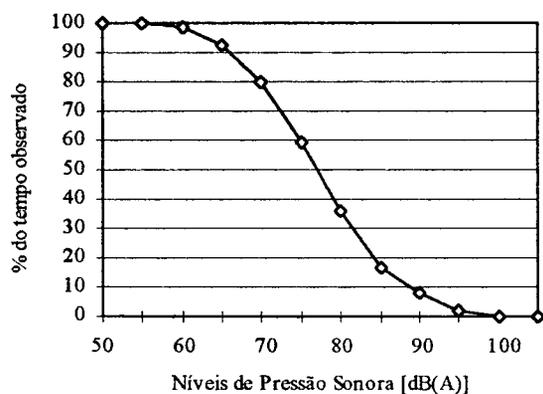
(b)



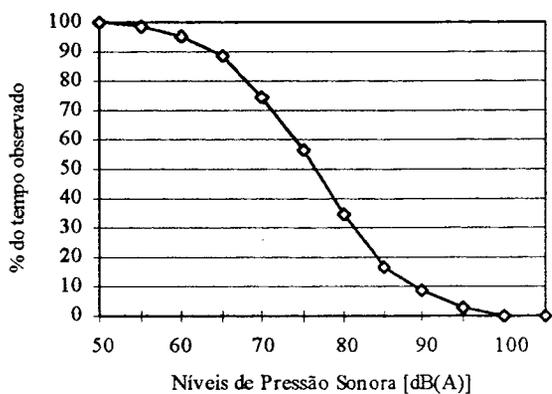
(c)



(d)



(e)



(f)

FIGURA A.1.2 - Distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora no ponto P1 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/9.

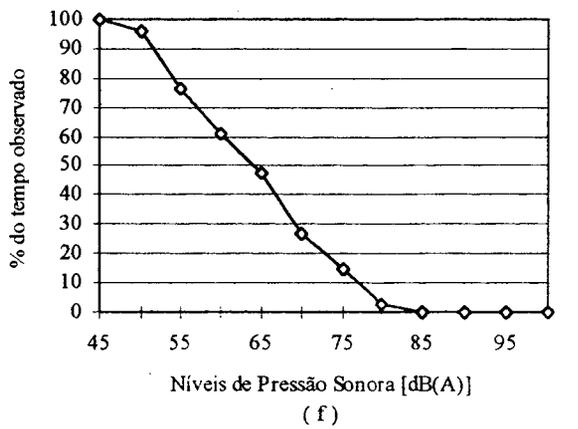
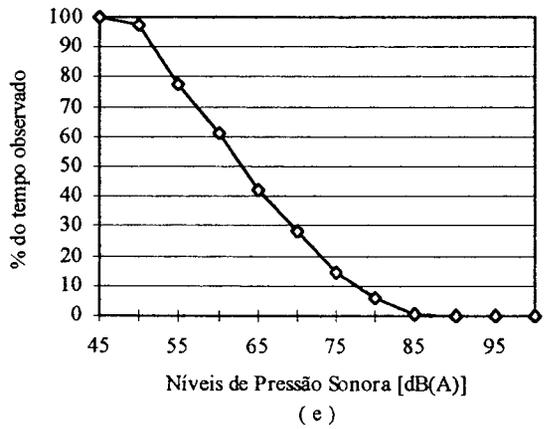
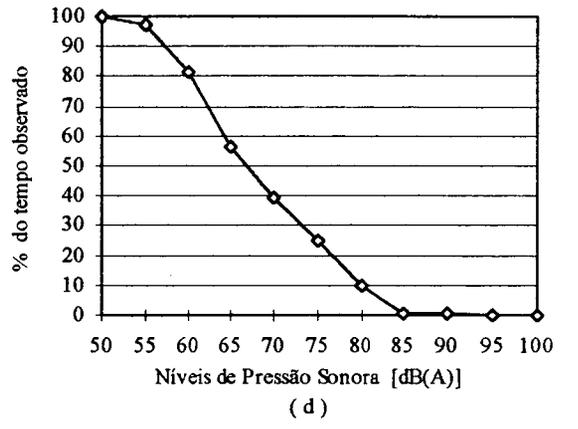
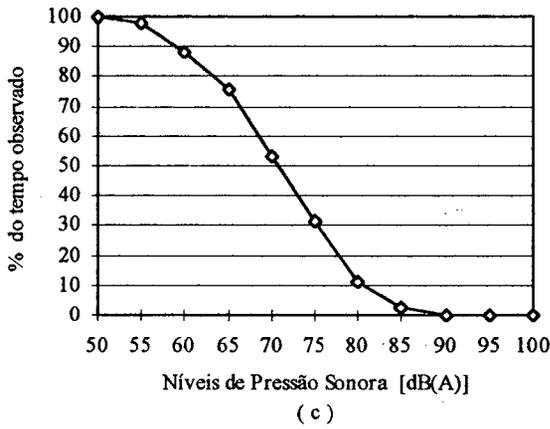
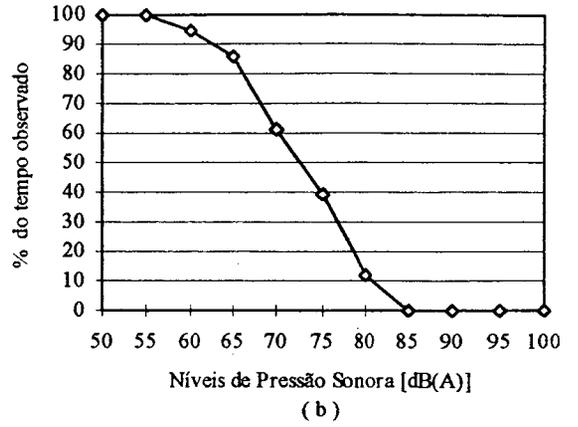
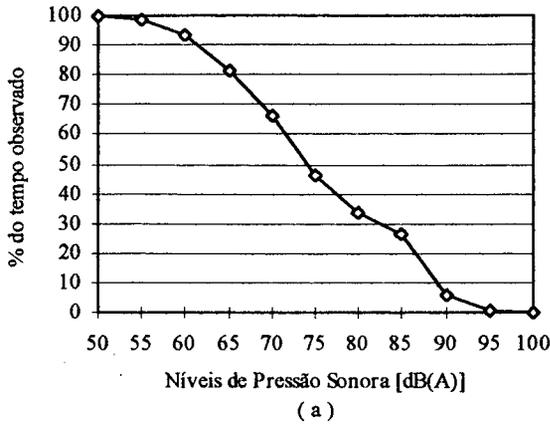


FIGURA A.1.3 - Distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora no ponto P2 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96.

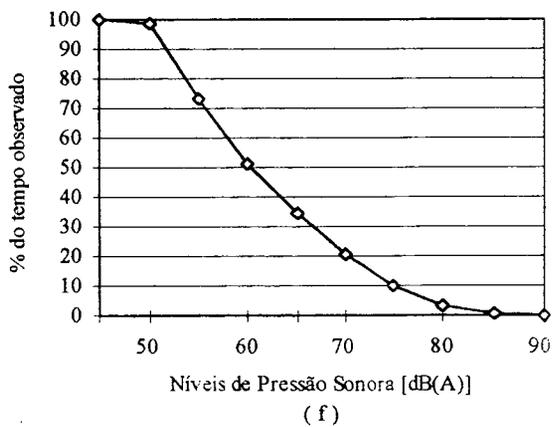
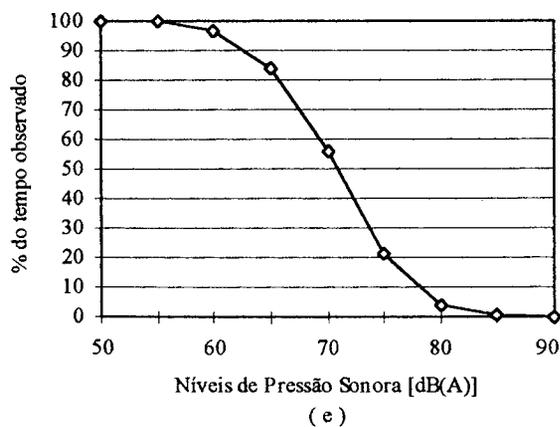
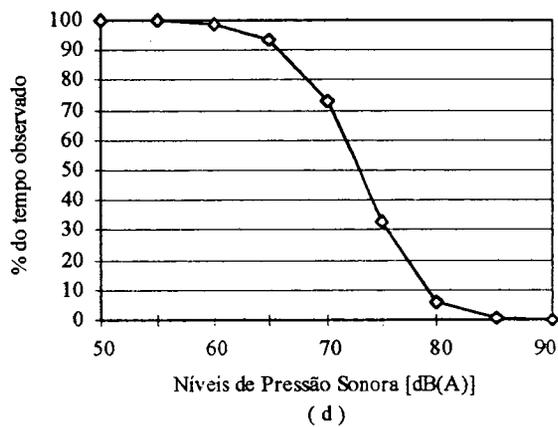
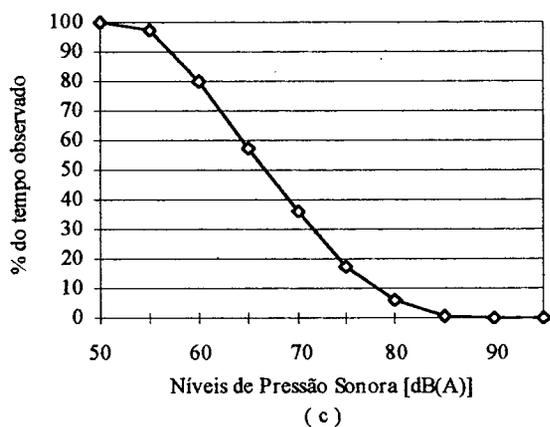
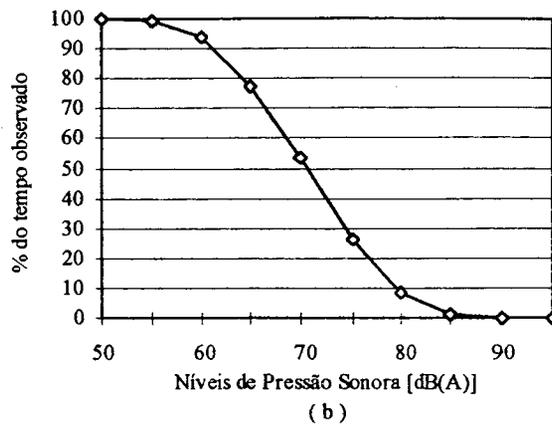
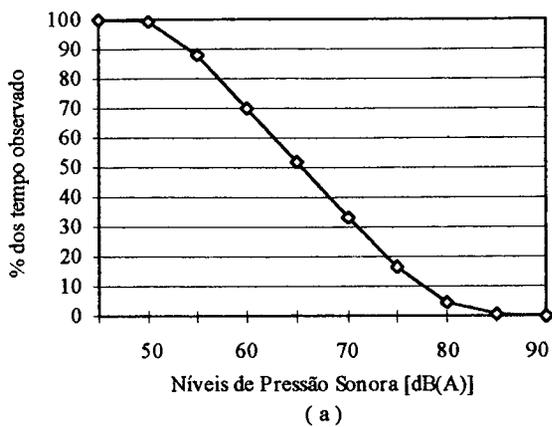


FIGURA A.1.4 - Distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora no ponto P2 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/9.

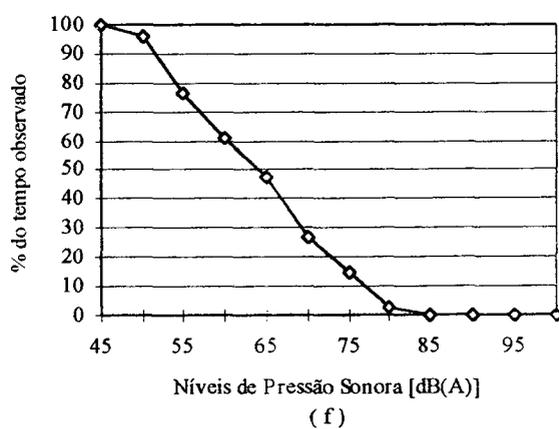
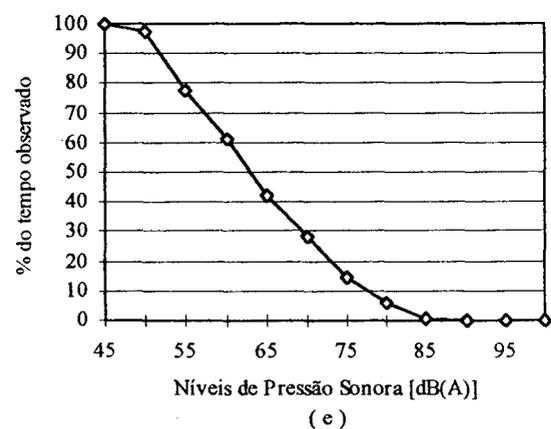
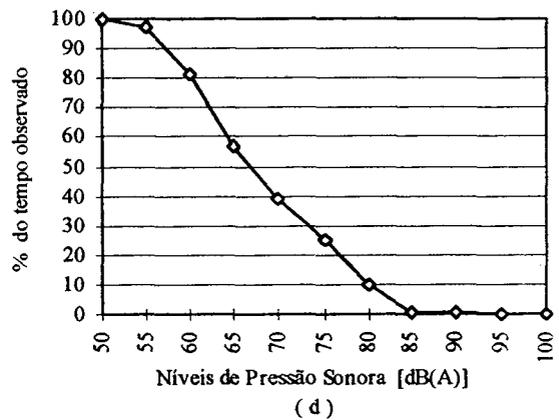
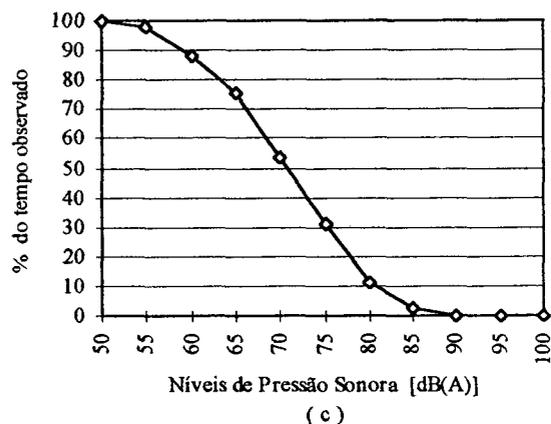
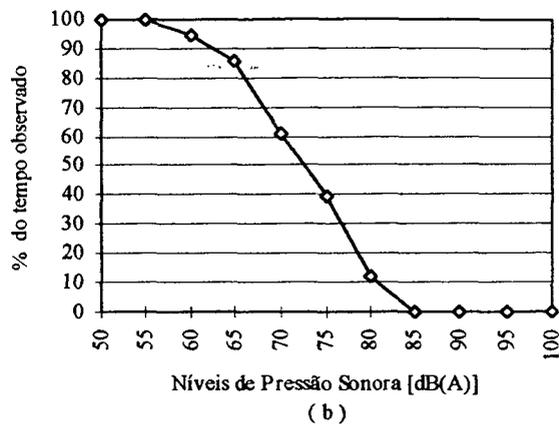
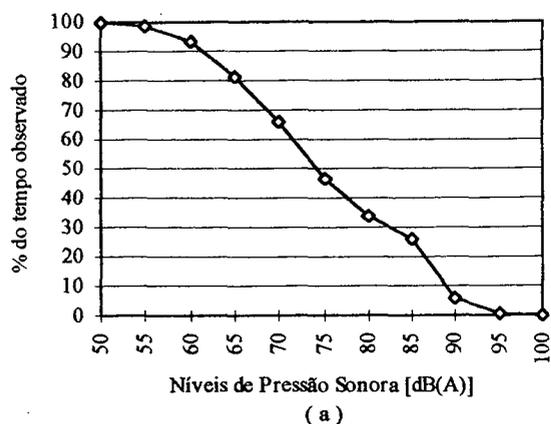


FIGURA A.1.5 - Distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora no ponto P3 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96.

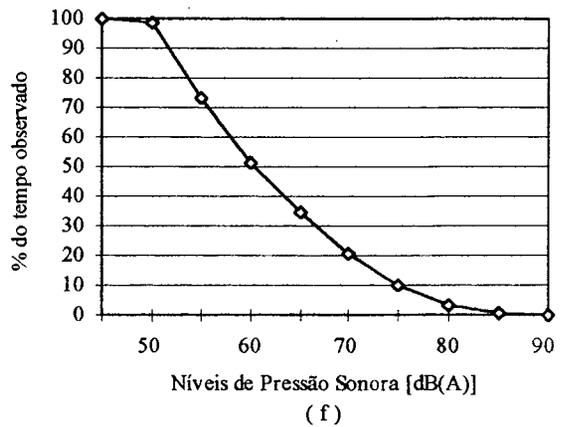
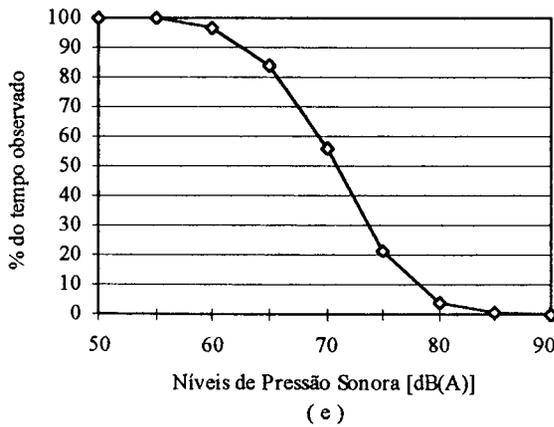
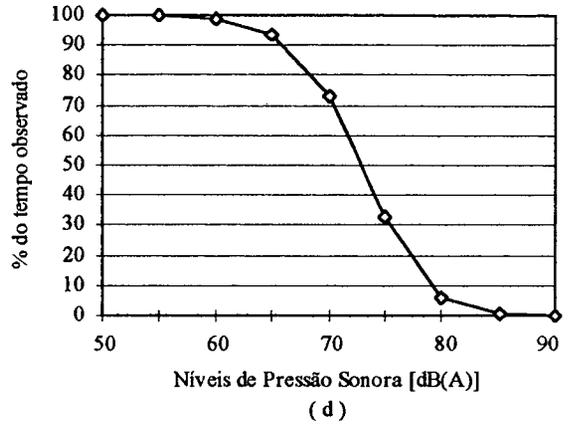
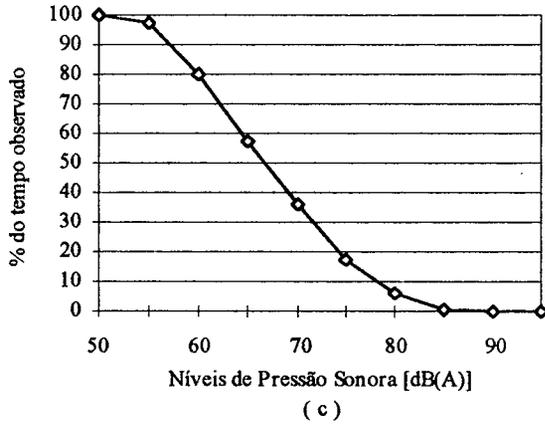
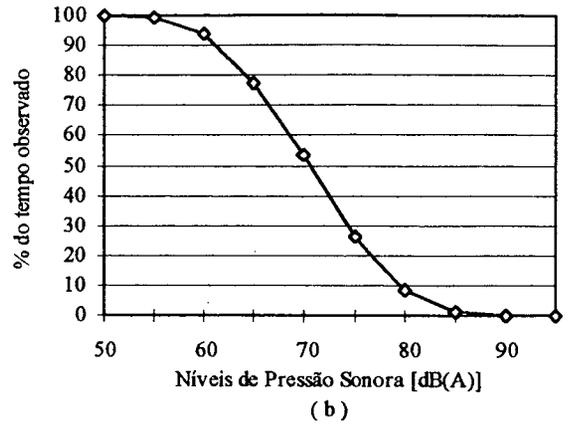
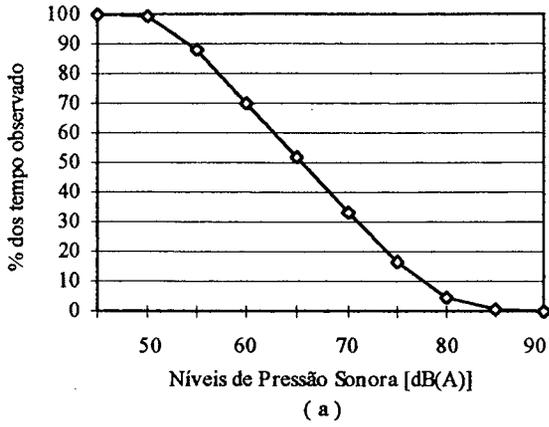


FIGURA A.1.6 - Distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora no ponto P3 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/9.

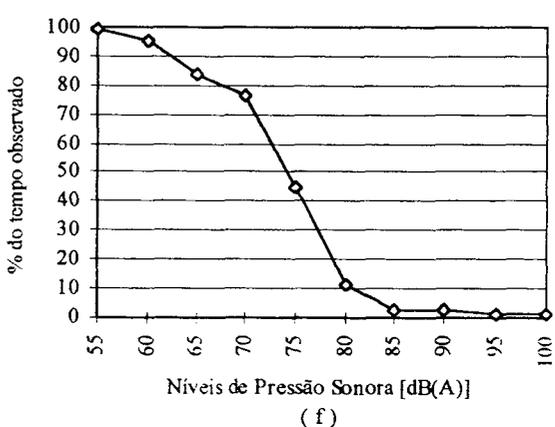
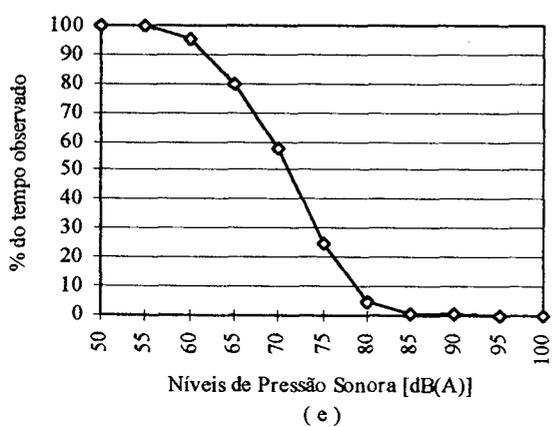
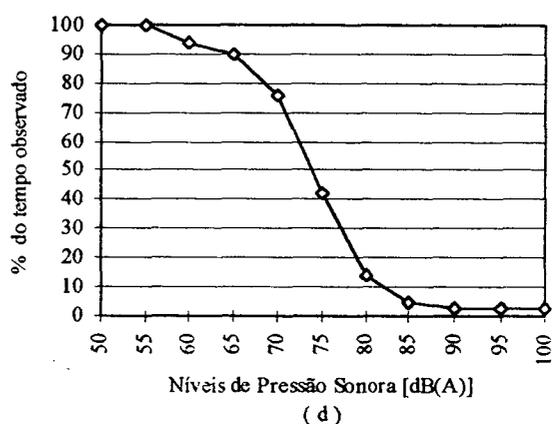
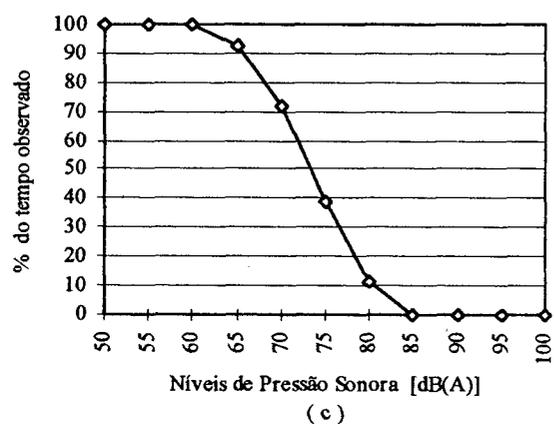
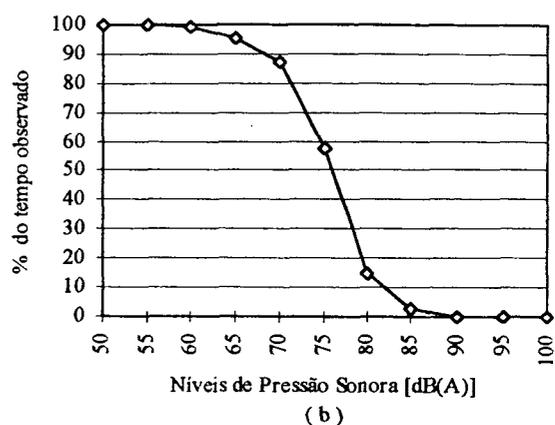
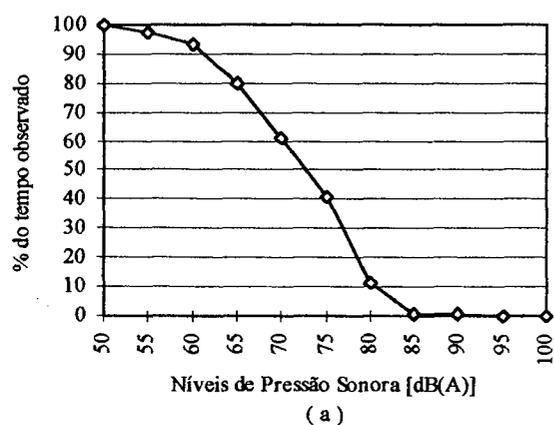


FIGURA A.1.7 - Distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora no ponto P4 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96.

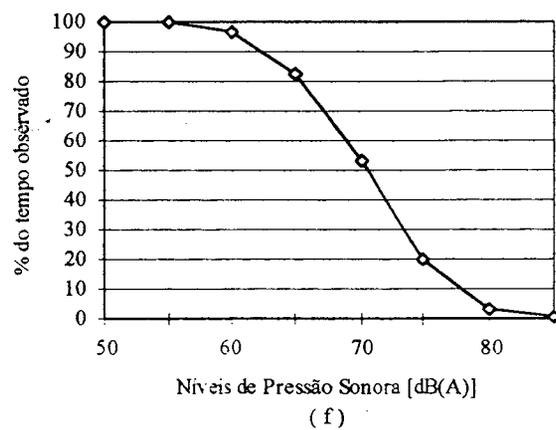
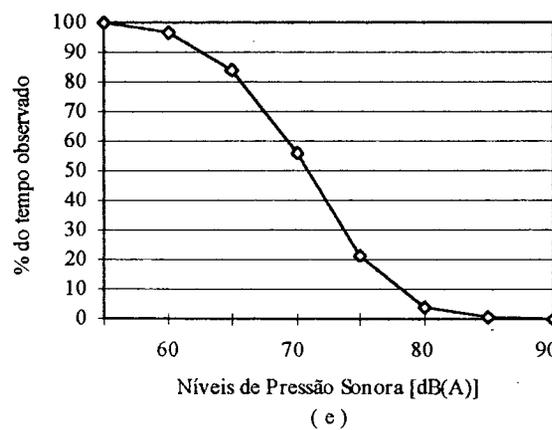
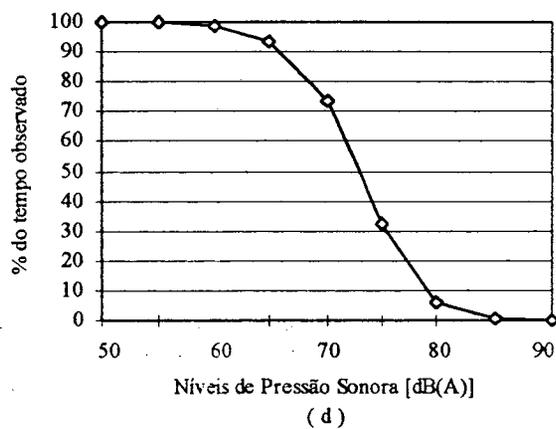
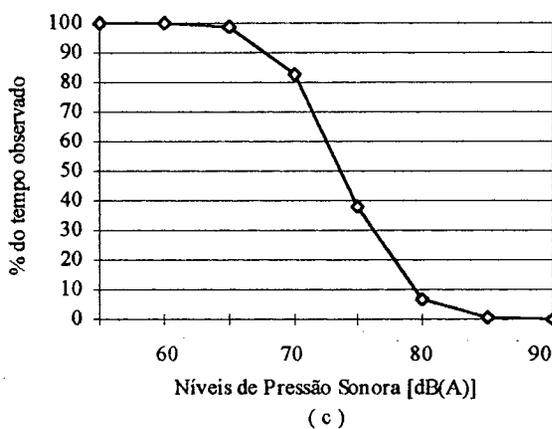
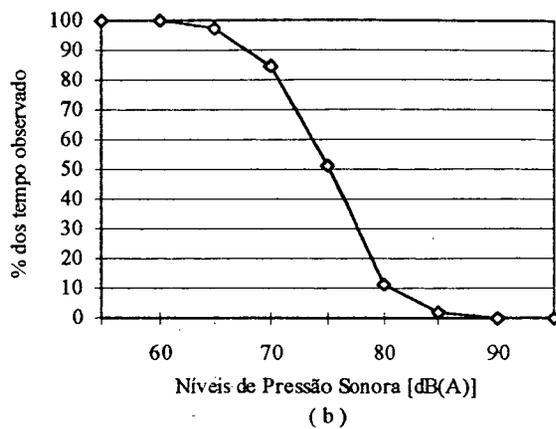
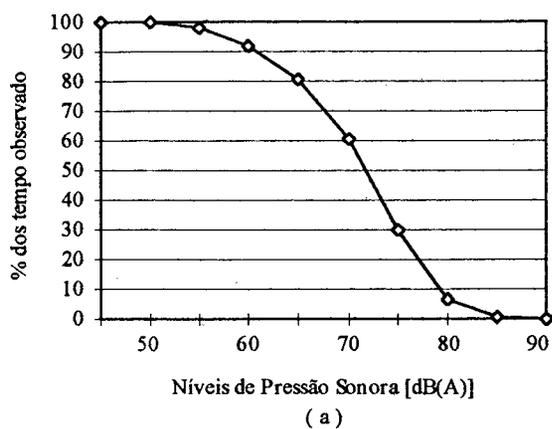


FIGURA A.1.8 - Distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora no ponto P4 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/9.

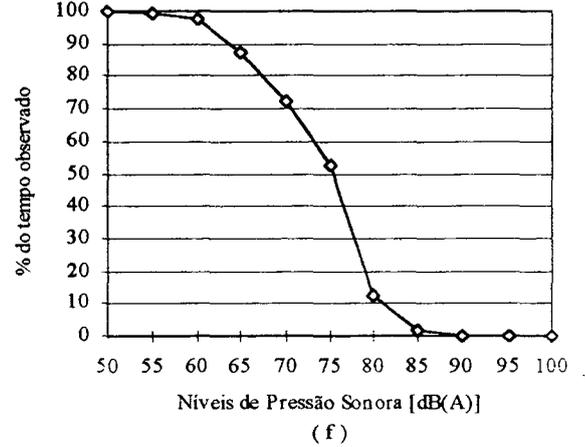
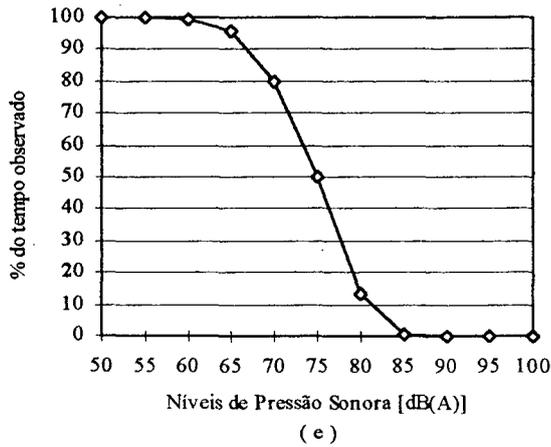
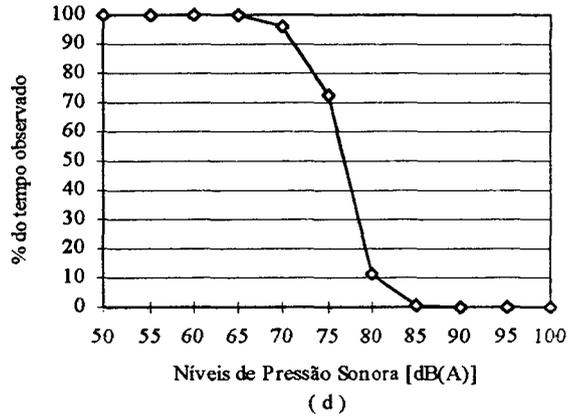
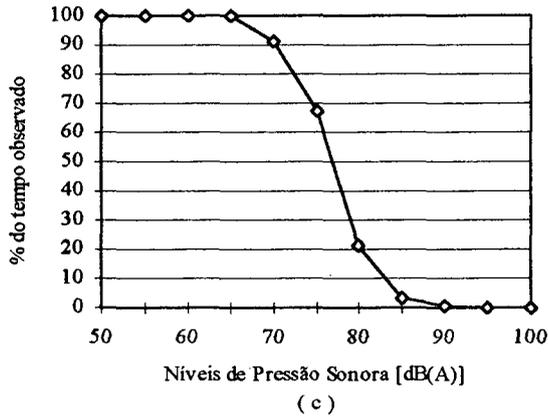
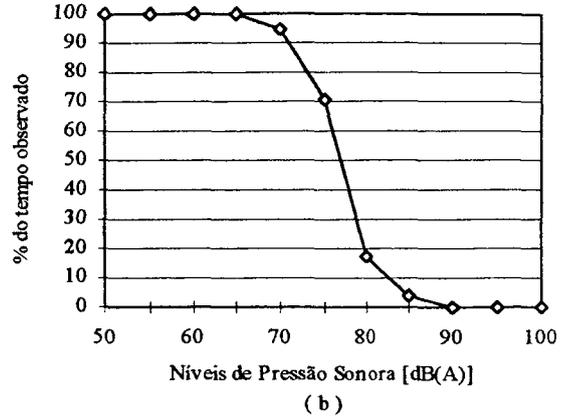
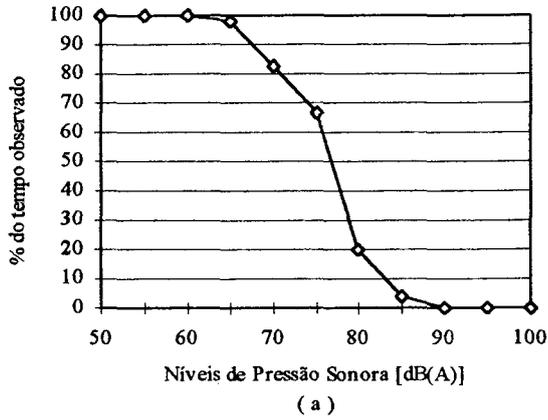


FIGURA A.1.9 - Distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora no ponto P5 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 07/96; ( b ) 7h-8h, 07/96; ( c ) 18h-19h, 07/96; ( d ) 19h-20h, 07/96; ( e ) 20h-21h, 07/96; ( f ) 22h-23h, 07/96.

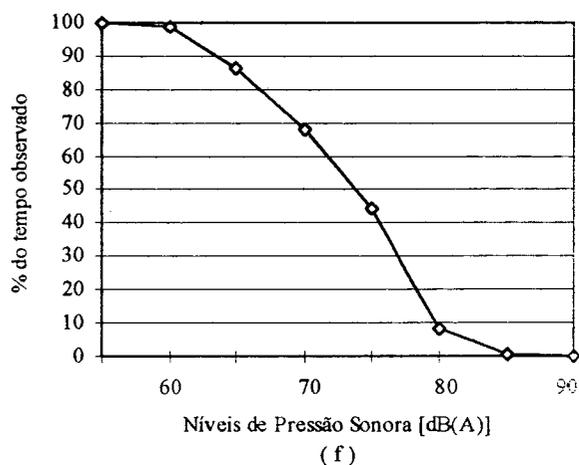
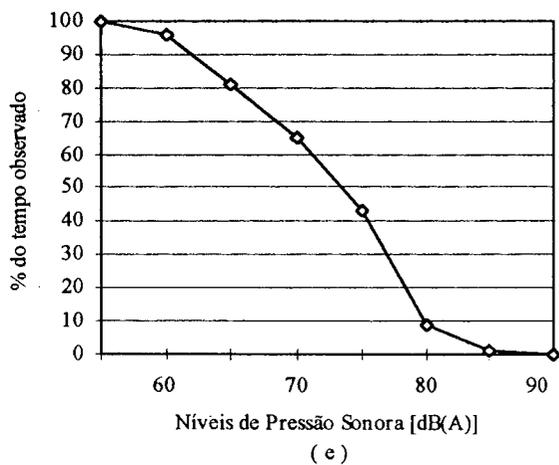
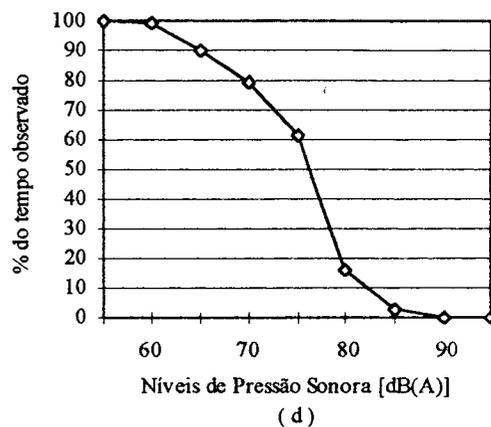
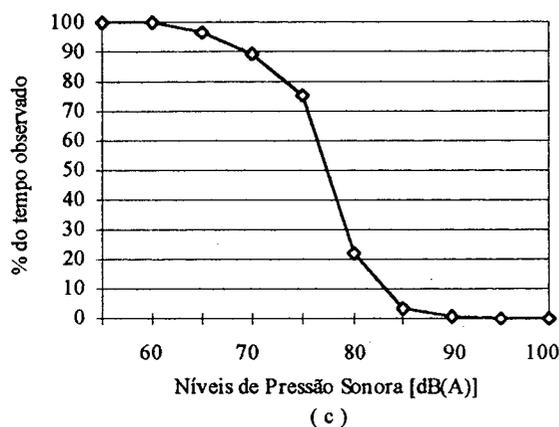
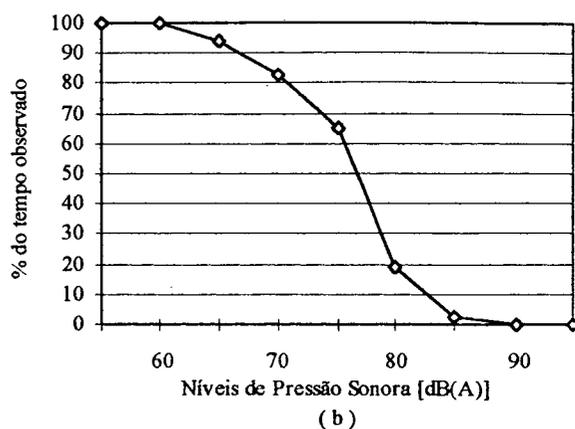
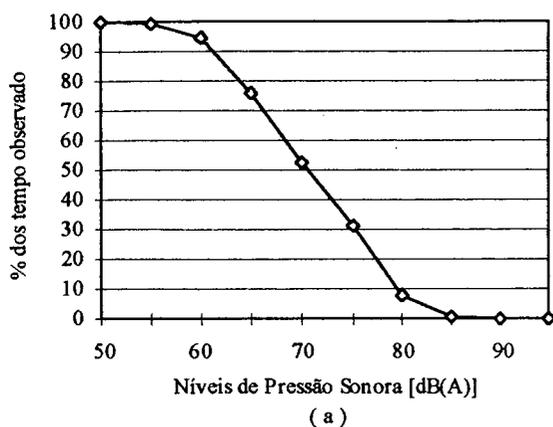


FIGURA A10 - Distribuições estatística acumulada dos níveis de pressão sonora no ponto P5 nos períodos : ( a ) 6h-7h, 10/96; ( b ) 7h-8h, 10/96; ( c ) 18h-19h, 10/96; ( d ) 19h-20h, 10/96; ( e ) 20h-21h, 10/96; ( f ) 22h-23h, 10/9.